



**T.C.  
BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI BOYUT VE MALZEMEYE SAHİP ÇİFT  
TAKVİYELİ YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ  
DAYANIMLARININ ARAŞTIRILMASI VE  
TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU**

**Mehmet Şükrü ADİN  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Aralık-2016  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Şükrü ADİN tarafından hazırlanan “**Farklı Boyut ve Malzemeye Sahip Çift Takviyeli Yapıştırma Bağlantılarının Dayanımlarının Araştırılması ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu**” adlı tez çalışması 23/12/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç.Dr. Erol KILIÇKAP

.....

#### Üye

Yrd.Doç.Dr. Ahmet YARDIMEDEN

.....

#### Üye

Yrd.Doç.Dr. Mehmet Emin DENİZ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

**Prof. Dr. Şule AYDIN TÜKELTÜRK**  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

**Mehmet Şükrü ADİN**

Tarih: 23 / 12 / 2016

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# FARKLI BOYUT VE MALZEMEYE SAHİP ÇİFT TAKVİYELİ YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ DAYANIMLARININ ARAŞTIRILMASI VE TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

**Mehmet Şükrü ADİN**

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç.Dr. Erol KILIÇKAP**

**2016, 63 Sayfa**

**Jüri**

**Doç.Dr. Erol KILIÇKAP  
Yrd.Doç.Dr. Ahmet YARDİMEDEN  
Yrd.Doç.Dr. Mehmet Emin DENİZ**

Yapıştırma bağlantılarının kullanımı cıvata, perçin, kaynak ve lehim gibi geleneksel birleştirme yöntemlerine göre uygulamadaki kolaylığı, düşük maliyeti ve hafifliğinden dolayı malzemelerin birleştirilmesinde özellikle bağlantı güvenilirliğinin gerektirdiği uzay, havacılık, otomotiv, inşaat ve deniz sanayinde yapıştırıcıların kullanımı giderek artmaktadır. Yorulma dayanımının yüksek olması, deniz suyu korozyonuna karşı dayanıklı olması ve hafifliğinden dolayı alüminyum alaşımları ve yüksek tokluk, kırılma dayanımı, hafif olmaları ve aynı zamanda yüksek özgül dayanım ve iyi boyutsal özellikleri koruması vb. özelliklerinden dolayı cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler çok yaygın kullanım alanı bulmaktadır.

Bu tez çalışmasında, 4 mm kalınlığında, 70 mm uzunluğunda ve 25, 30, 35 mm genişliğindeki AA-5083 Alüminyum alaşımının DP-460 yapıştırıcısı kullanılarak AA-5083 ve cam elyaf takviyeli kompozit (EP GC 201) yama malzemesi ile oluşturulan bağlantının çekme kuvvetleri deneysel olarak bulunmuştur. Çekme deneyinden elde edilen veriler daha sonra Taguchi Metodu ve ANOVA analizi kullanılarak maksimum çekme kuvvetini veren yapıştırma parametreleri bulunmuştur. Deneysel sonuçlardan ve ANOVA analizinden yapıştırma bağlantısının çekme kuvveti üzerine en büyük etkiye sahip parametrenin yama bindirme boyu olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapıştırma Bağlantıları, Çift Tesirli Bindirme, Taguchi Metodu, ANOVA Analizi

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF THE RESISTANCE OF DOUBLE REINFORCED ADHESION CONNECTIONS WITH DIFFERENT DIMENSIONS AND MATERIALS, AND OPTIMIZATION OF THEIR RESISTANCE USING TAGUCHI METHOD**

**Mehmet Şükrü ADİN**

**The Graduate School Of Natural And Applied Science of Batman University  
The Degree of Master of Science in Mechanical Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Erol KILIÇKAP**

**2016, 63 Pages**

#### **Jury**

**Assoc. Prof. Erol KILIÇKAP**

**Assist. Prof. Ahmet YARDIMEDEN**

**Assist. Prof. Mehmet Emin DENİZ**

The use of adhesive joints is increasing in aerospace, aviation, automotive, construction and marine industries that necessitates connection reliability in adhering the materials, due to their easy to apply properties, low-costs and lightweights compared to traditional jointing methods such as bolts, rivets, welding and soldering. Due to the high fatigue strength, resistance to seawater corrosion and light weight, aluminum alloys; and with their high satiety, fracture strength, light weight, and high specific strength and good dimensional stability etc. properties glass fiber reinforced composite materials have widespread uses.

In this thesis study, the tensile forces of AA-5083 and glass fiber-reinforced composite (EP GC 201) patch material were experimentally measured using a DP-460 adhesive of AA-5083 Aluminum alloy of 4 mm thickness, 70 mm length and 25, 30, 35 mm width. The data obtained from tensile test were then considered in finding the bonding parameters that yield the maximum tensile strength using Taguchi Method and ANOVA analysis. From the experimental results and the ANOVA analysis it was determined that the parameter having the greatest influence on the pulling force of the bonding link is the patch overlay length.

**Keywords:** Bonding Connections, Double Effective Overlay, Taguchi Method, ANOVA Analysis

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, tez konusunun seçiminden çalışmaların tamamlanmasına ve yazılmasına kadar olan süreçte değerli yardımlarını benden esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç.Dr. Erol KILIÇKAP hocama göstermiş olduğu sabır ve vermiş olduğu desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

**Mehmet Şükrü ADİN**  
BATMAN-2016

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	2
<b>2. GENEL BİLGİLER .....</b>	<b>9</b>
2.1. BAĞLAMA ELEMANLARI .....	9
2.1.1 Şekil Bağlı Bağlantılar .....	9
2.1.2 Kuvvet Bağlı Bağlantılar.....	10
2.1.3 Malzeme Bağlı Bağlantılar.....	10
2.2. YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARI.....	10
2.2.1. Yapışma Teorileri.....	17
2.2.1.1. Mekanik Tutunma Teorisi .....	17
2.2.1.2. Adsorpsiyon Teorisi .....	18
2.2.1.3. Elektrostatik Teorisi .....	18
2.2.1.4. Difüzyon Teorisi.....	19
2.3. YAPIŞTIRMA BAĞLANTI TIPLERİ.....	19
2.3.1 Gerilme Çeşitleri .....	21
2.3.1.1. Çekme.....	22
2.3.1.2. Kesme .....	22
2.3.1.3. Soyulma .....	22
2.3.1.4. Çekme-Makaslama .....	22
2.4. YAPIŞTIRILACAK YÜZEYLERİN HAZIRLANMASI.....	23
2.4.1. Yüzey Hazırlama Metotları .....	24
2.4.2. Primerler.....	25
2.5. TAGUCHİ METODU .....	26
2.5.1. Taguchi Felsefesi.....	26
2.5.2. Taguchi Deneysel Tasarımının Prosedürleri .....	27

2.5.3. Sinyal/Gürültü (S/N) Oranı .....	28
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>29</b>
3.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER .....	29
3.2. KULLANILAN YAPIŞTIRICI.....	31
3.3. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI .....	34
3.4. DENEYSEL HASAR YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ .....	36
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>38</b>
4.1. BAĞLANTININ DENEY ÖNCESİ VE SONRASINDAKİ FİZİKSEL DURUMU .....	38
4.1.1. Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasarlar.....	42
4.2. DENEYSEL SONUÇLAR .....	44
4.3. TAGUCHİ BULGULARI .....	51
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>59</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>62</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>63</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>ANOVA</b>	: Varyans analizi
<b>L<sub>1</sub></b>	: Ana bağlantı parçasının uzunluğu
<b>L</b>	: Yama bağlantı parçasının uzunluğu
<b>M</b>	: Yama Malzemesi
<b>n</b>	: Gözlem sayısı
<b>S/N</b>	: Sinyal Gürültü Oranı
<b>S</b>	: Standart Sapma
<b>S<sup>2</sup></b>	: Örneklem varyansı
<b>W</b>	: Ana ve yama parçasının genişliği
<b>y</b>	: Gözlem değeri
<b><math>\bar{y}</math></b>	: Gözlem değeri ortalaması
<b>y<sub>i</sub></b>	: i.gözlem sayısı

## 1. GİRİŞ

Parçaları birbirine bağlamak, birleştirmek ve bir bütün olarak bağlantıyı etkili oldukları zaman boyunca bir arada tutmak için tarih boyunca birçok malzeme ve bağlama yöntemi kullanılmıştır. Özellikle uzun süreler boyunca bağlantının güvenilirliğine ihtiyaç duyulan uzay, havacılık, otomotiv, elektronik paketleme, tıp, altyapı sistemleri, spor, inşaat ve deniz sanayisinde yapıştırıcılar, artan bir şekilde, geleneksel bağlantı yöntemleri olan cıvata, lehim, kaynak ve perçinin yerini almaktadır(Temiz 2003).

Yapısal, yarı yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarda büyük avantajlara sahip olan yapıştırıcıların kullanımı son yıllarda artmaktadır. Yapıştırıcılar, montaj kolaylığına sahip, sağlam ve çevreyle dost, yeni yeni yapıştırıcıların geliştirilmesini de sağlamıştır. Modern yapılardaki karmaşıklık ve malzeme türlerinin değişiminden dolayı, bilinen birçok teknikle yapılamayan bağlantılarda, yapıştırıcılar başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Yapıştırıcılar, mekanik bağlayıcılar ve kaynak gibi diğer birleştirme yöntemleri ile birlikte kullanılabilir gibi, bunların yerine de tercih edilirler. Hafif olması, sızdırmazlık sağlaması, azaltılmış parça sayısı, yorulma ve korozyonun iyileştirilmesi ile azalan montaj süresi, tasarımcıya özel imkanlar da sağlamaktadır(Budynas ve Nisbett 2015).

Özellikle, uzay ve havacılık endüstrisi uygulamalarında mukavemetin, hafifliğin ve birleştirilecek malzemelerin hasara uğraması istenmediğinden yapıştırma birleştirmelerinin önemi daha da artmaktadır. Yapıştırıcıların kullanım alanının arttığını göstermek için bir örnek verecek olursak, Boeing 747 tipi uçağı oluşturan parçaların birleştirilmesinde kullanılan yapıştırıcıların oranı % 62 dir(Vaidya ve ark. 2006).

Metallerin yapıştırılmasında en fazla kullanılmakta olan yapıştırıcılar epoksi ve akriliklerdir. Epoksi türü yapıştırıcılar, epoksi reçine ve sertleştiriciden meydana gelmekte olup bu yapıştırıcılar ile oldukça mukavemetli yapıştırma bağlantıları elde edilir. Tek bileşenli, iki bileşenli ve film şeklindedir. Katalizör veya sıcaklık, sertleşme süresini hızlandırabilir. Yüksek sıcaklığın etkisiyle sertleşen epoksiler yoğun çapraz bağlar meydana getirmelerinden dolayı mukavemeti daha iyi yapışmalar elde eder. Derinlemesine sertleşme değeri oldukça iyidir. Çok değişik türdeki malzemelerin yapıştırılması için kullanılmalarına uygundur(Solmaz 2008).

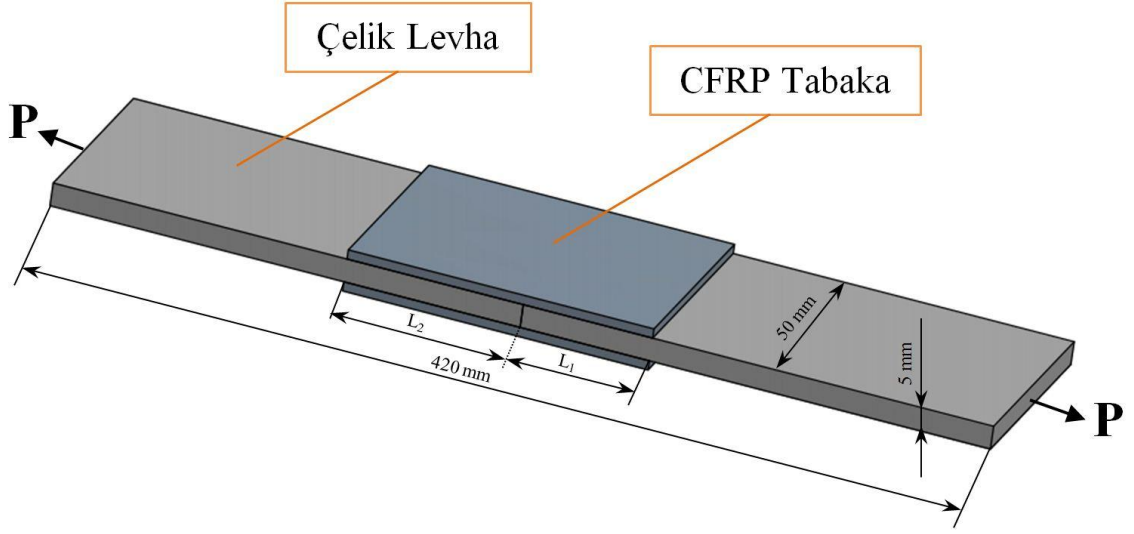
Bu tezin amacı, farklı iki yama malzemesi (AA-5083 ve EP GC 201 cam elyaf kompozit) ve DP-460 yapıştırıcı kullanılarak çift takviyeli birleştirilmiş AA-5083 alüminyum parçalarının çekme kuvveti üzerine takviye parçası malzemesinin, bindirme boyunun ve yama eninin etkisini araştırmak ve daha sonra çekme deneyinden elde edilen veriler Taguchi Metodu ve ANOVA analizi kullanılarak maksimum çekme kuvvetini veren optimum yapıştırma parametrelerini bulmaktır.

## 1.1. Literatür Çalışması

Yapıştırma bağlantıları metalik ve kompozit malzemelerin yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ucuz, hızlı ve sağlam bir birleştirme tekniğidir. Yapıştırma bağlantıları uzay ve havacılık, otomotiv, elektrik-elektronik, biyomedikal, deniz araçları, spor ekipmanları ve benzeri mühendislik uygulamalarında son derece yaygın bir kullanım alanı olmasına rağmen, yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, güvenilirliği ve yinelenabilirliğinde yaşanan zorluklar, bu teknolojinin benimsenmesinde güçlüklerle karşılaşılmasına neden olmaktadır(Aydın ve ark. 2004).

Özel ve ark. (2004), iki boyutlu sonlu elamanlar analizini kullanarak farklı mekanik özelliklere sahip yapıştırma bağlantısında farklı eğilme momentine maruz bir basit bindirme bağlantısının elasto-plastik gerilme analizini incelemişlerdir. Basit bindirme bağlantısının performansı üzerine geometrik değişkenlerin etkilerini tespit edebilmek için 4 farklı yapıştırıcı kalınlığı ve her bir yapıştırıcı için 4 bindirme uzunluğu kullanmışlardır. Elde ettikleri analiz sonuçlarını doğrulamak için sonlu elamanlar analiz sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlar. Yapıştırıcı malzeme kalınlığının ve bindirme uzunluğunun bağlantı mukavemeti üzerine önemli etkileri olduğunu gözlemlemişlerdir.

Fawzia ve ark. (2006), köprü ve inşaat yapılarındaki çelik malzemeleri güçlendirmek amacıyla çelik levhalar üzerine CFRP kompozit malzemelerini kaplayarak (Şekil 1.1) çift takviyeli olarak yapıştırmış ve elde ettikleri bu bağlantıları deneysel ve nümerik(sonlu elemanlar analizi) olarak incelemiş olup çalışmalarında, bindirme uzunluklarını arttırdıkça taşınan hasar yükünün arttığını tespit etmişlerdir.



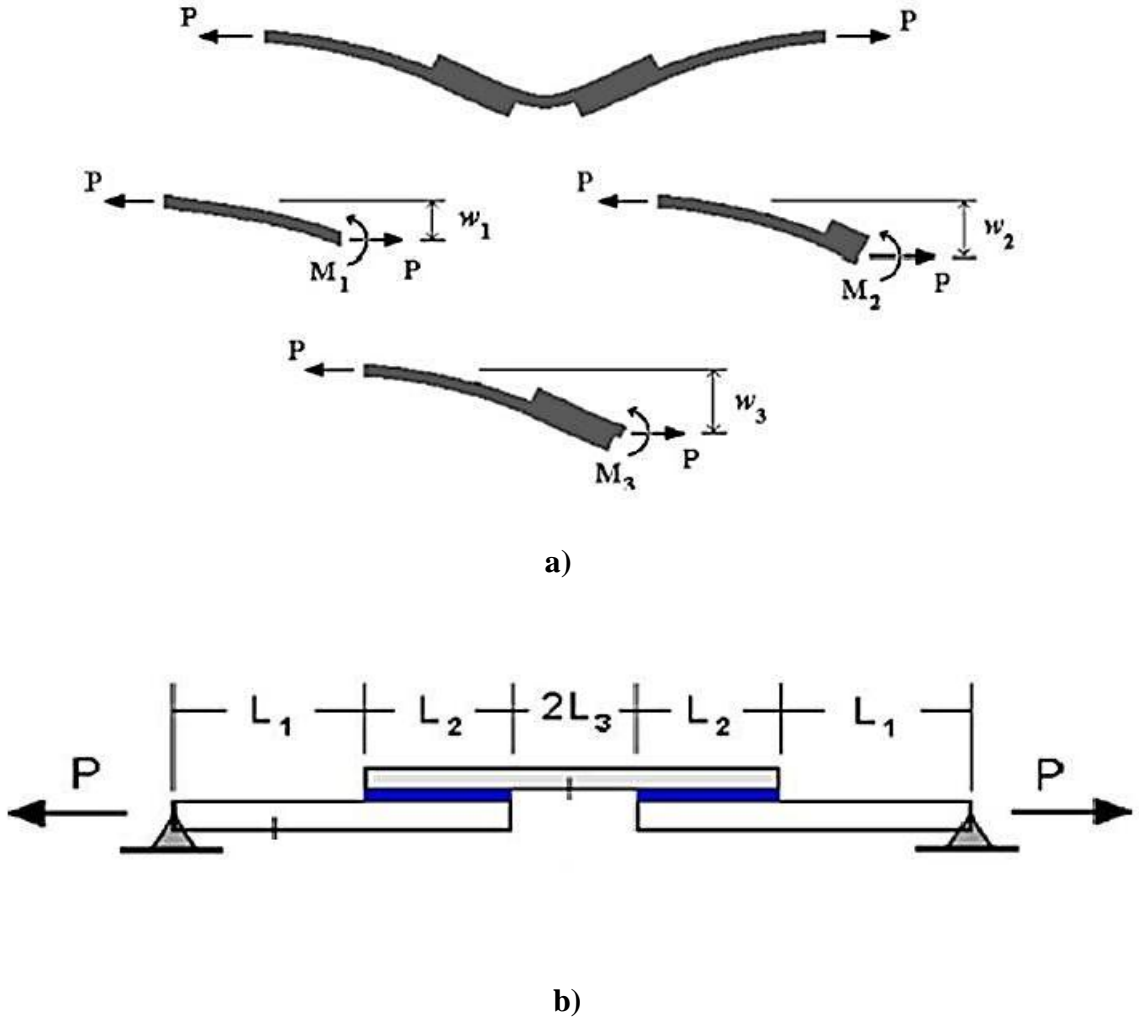
Şekil 1.1. Numunenin taslak görüntüsü (Fawzia ve ark. 2006)

Fekirini ve ark. (2007), bir levhanın üzerindeki çatlakın tamiri için, birbirinden farklı kayma modüllerine sahip iki farklı türdeki yapıştırıcıyı kullanarak sonlu elemanlar analizi yöntemiyle araştırma yapmışlardır. Yaptıkları araştırmada, birinci yapıştırıcı ile çatlak olan bölgede gerilme transferinin sağlanması hedeflenmiş, ikinci yapıştırıcıyla ise, birinci yapıştırıcının hasara uğramasını engellemek için çatlak olan alanın dışına uygulamışlardır. Sonlu elemanlar yöntemiyle yaptıkları analizde, çatlak ucunda ve çatlak alanında yorulma ömrünün önemli ölçüde iyileştiğini gözlemlemişlerdir.

Aydın ve ark. (2007), tek etkili bindirme bağlantılarında yapıştırma bağlantısının kürleşmesi sırasında basınç değerlerinin değişimine bağlı olarak etkilerini incelemişlerdir. Bu etkileri incelemek için esnek ve basınç hassasiyeti olan yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek etkili bindirme bağlantı numuneleri hazırlanmış ve hazırlanan numunelere kürleşme süresi boyunca farklı basınçlar uygulamışlardır. Kürleşme süresi boyunca uygulanan farklı değerlerdeki basıncın esnek yapıdaki yapıştırıcılar yönünden bağlantı elemanı üzerinde olumlu etkilerin oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Shahin ve Taheri (2007), bindirme uzunluğunun uç kısımlarında dengede ve dengede olmayan, kesme yüküne ve eğilme momentine maruz kalan tek takviyeli yapıştırma bağlantısında (Şekil1.2) biçimsizleşmelerin belirlenmesi için çözümleme ve sonlu elemanlar modeli oluşturarak araştırma yapmışlardır. Sonlu elemanlarla çözümleme

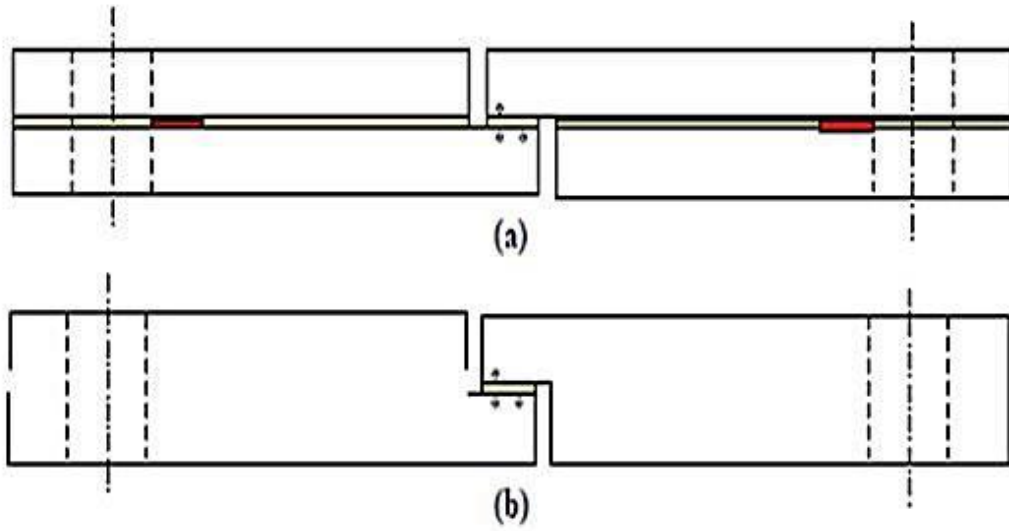
uyumlu olduğunu göstermişlerdir. Çözümlemeli modeldeki tahmini yer değiştirmelerin kesme yükü ve momentin büyüklüğüne bağlı olarak sayısal sonuçlarla da uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir. Çözümlemeli modelde iç bölgede meydana gelen eğilme momentinin büyüklüğü göstermiştir ki, en yüksek soyulma gerilimi oluşan yerlerin, biçimsizleşmeye izin vererek büyük ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir.



**Şekil 1.2.** Tek takviyeli bindirme bağlantısı (Shahin ve Taheri 2007)

Akpınar (2008), sert yapıştırıcı olan FM 73 ve yumuşak yapıştırıcı olan SBT 9244'ün mekanik özelliklerini araştırmak için deneysel ve nümerik incelemeler yapmıştır. Bu araştırması için TAST geometrisinde numuneler (Şekil1.3) hazırlamıştır. Araştırması

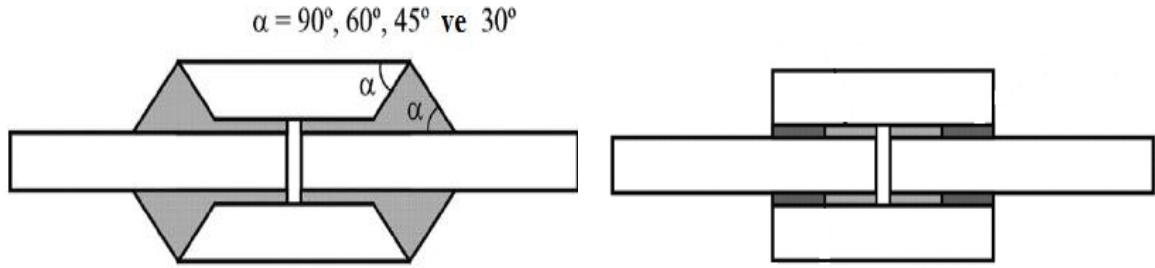
sonucunda, kullandığı yapıştırıcıların bilhassa kısa bindirme uzunluklarında tamamen kaymaya maruz kaldığını ve sert yapıştırıcıyla yaptığı yapıştırma bağlantılarında, bindirme uzunluğunun artışına bağlı olarak soyulma ve normal gerilmelerinin ortaya çıktığını gözlemlemiştir. Bununla birlikte, kısa bindirmeli bağlantılarda soyulma ve normal gerilmelerin oluşmaması nedeniyle eşdeğer ve kayma gerilmelerinin aynı özellikli olarak çıktığını gözlemlemiştir. Sonlu elemanlar analizi yönteminde kullanılan von-mises ölçütü yumuşak yapıştırıcılar için iyi bir sonuç vermemesine rağmen, araştırmasında, sert yapıştırıcılar için doğruya yakın sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.



**Şekil 1.3.** TAST deney numunesi a) ASTM D5656 , b) ISO 11003-2 (Akpınar 2008)

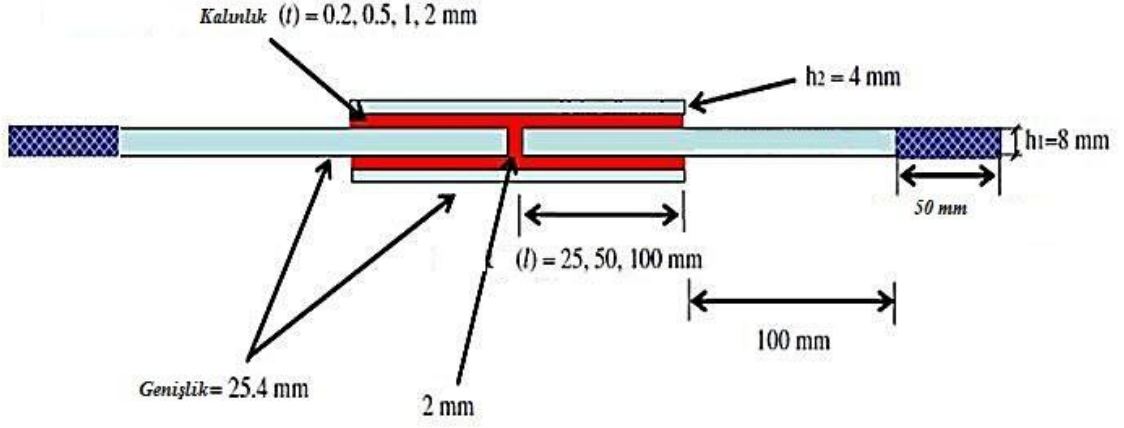
Da Silva ve Marques (2008), çift takviyeli yapıştırma bağlantısında, yama malzemelerinin uç kısımlarında oluşan gerilmeleri azaltmak amacıyla, yapıştırıcı uç kısımlarına ve yama iç kısmına 30, 45, 60 ve 90° açılar vermişlerdir. Yaptıkları araştırmada, farklı türdeki yapıştırıcıları kullanarak (Şekil 1.4) numerik yöntemle bağlantı parçalarını inceleyip doğrulama deneyleri yapmışlardır. Yama malzemelerinin uçlarında, 45°'lik açı olduğunda uç kısımlardaki gerilmelerin azalmakta olduğunu ve daha fazla yük çektiklerini tespit etmişlerdir. Uç kısımlarına açı verilerek hazırlanan bağlantı yamalarının özelliği sert olan yapıştırıcılarla daha iyi uyum sağladıklarını tespit etmişlerdir. Parça ve

yama arasına farklı özellikteki iki yapıştırıcının kullanılmasının gerilmeleri önemli ölçüde düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

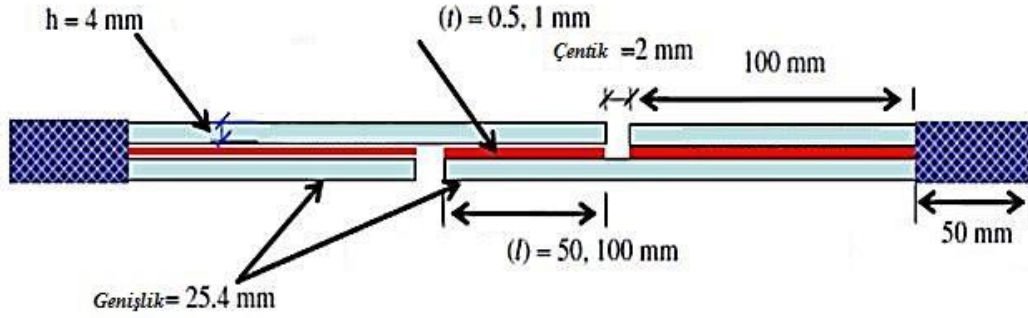


**Şekil 1.4.** Farklı şekildedeki çift destekli yapıştırma bağlantı konfigürasyonları (Da Silva ve Marques 2008)

Lee ve ark. (2009), tek tesirli destekli çift takviyeli yapıştırma bağlantısı elemanını deneysel yönden incelemişlerdir. Malzeme bağlantısı olarak tek tesirli köprü ayaklarında kullanılmakta olan FRP (fiber-polimer) kompozit malzemesi ile sertlik yönünden aynı olan GFRP (fiber-glass) parçaları araştırmalarında kullanmışlardır (Şekil 1.5). Araştırmalarında, yapıştırıcı türü, bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığı gibi parametrelerin etkilerini incelemişlerdir. Çift takviyeli yapıştırma bağlantısının mukavemetini, gerilme şekil değiştirme etkilerini, tek tesirli desteklenmiş yapıştırma bağlantısı ile mukayese etmişlerdir. Araştırmaları sonucunda tek tesirli destekli çift takviyeli yapıştırma bağlantısının çok iyi bir dayanım gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Buna ek olarak yaptıkları tetkiklerden bindirme uzunluğunun, yapıştırıcının özelliğine göre yapıştırıcı kalınlığının, yapıştırma bağlantısındaki mukavemeti farklı şekilde etkilediğini saptamışlardır. Soyulma gerilmeleri yapıştırma bağlantılarında hasarın türüne göre değişmektedir. Yaptıkları çalışmada, gerilme şekil değiştirmenin, yapıştırıcı türünden bağımsız olmasının yanında çift takviyeli yapıştırma bağlantısındaki yapıştırıcı kalınlığı artışının, bağlantının mukavemetini azalttığı, yapıştırıcı bindirme uzunluğunun artışına bağlı olarak bağlantının mukavemetini artırmakta olduğunu gözlemlemişlerdir. Çift takviyeli yapıştırma bağlantısının FRP köprü uygulamalarına çok uygun olduğunu tespit etmişlerdir.



a)



b)

**Şekil 1.5.** GFRP yapıştırma bağlantıları a) çift takviyeli yapıştırma bağlantısı b) tek tesirli destekli yapıştırma bağlantısı (Lee ve ark. 2009)

Turan ve Kaman (2010), tek tesirli yapıştırma bağlantılarında ilerlemeli hasar analizi isimli çalışmalarında, kompozit iki levhayı birleştirmek amacıyla yapıştırıcı kullanılarak elde edilmiş olan tek tesirli yapıştırma bağlantısının hasar analizini deneysel ve sayısal yöntemler kullanarak araştırmışlardır. Yapıştırıcı kalınlığı, bindirme uzunluğu ve plaka genişliğinin bağlantı mukavemeti üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Bağlantı elemanın yapılması esnasında yapıştırıcı olarak epoksi reçine ve yapışan olarak ta karbon fiber takviyeli epoksi reçine matriksli dört tabakadan oluşan kompozit levhalar



kullanmışlardır. Çalışmalarındaki hasar analizinde kompozit levhalar için Hashin Hasar Teorisini, yapıştırıcı için ise Maksimum Asal Gerilme Hasar Teorisini kullanılmış ve sonuç olarak yüzey alanı değişiminin hasar yükleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Nemes ve Lachaud (2010), çift bindirmeli yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların modellenmesi isimli çalışmalarında, birleştirilmiş bağlantıların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Onlar, bindirme mesafesinin artmasının yapıştırıcıda oluşan maksimum kayma gerilmesinin şiddetine etkisinin bulunmadığını, bindirme mesafesinin ortasına yaklaştıkça kayma gerilmesi değerinin azaldığını ve bağlantının uç noktalarında kayma gerilmesi maksimum değer aldığını belirlemişlerdir.

Campilho ve ark. (2010), üç boyutlu Karbon–epoxy kompozitlerin tek ve çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının gerilme davranışlarını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, farklı bindirme uzunlukları ve kapak kalınlıklarının hasar modu, rijitlik ve hasar yüküne etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında en iyi sonuçların 15 mm bindirme uzunluğundaki çift takviyeli kapaklar üzerinde olduğunu ve kapak kalınlığının dayanım üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığını tespit etmişlerdir.

Aydın ve ark. (2011), epoksi ve akrilik bazlı yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi isimli çalışmalarında, bu yapıştırıcıların gerilme-şekil değiştirme davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları Akfix E300, Devcon A, ve Erde GTS isimli yapıştırıcıların gerilme-şekil değiştirme davranışları doğrusal(lineer) özellik gösterirken, Erde GTR adlı yapıştırıcı türünün ise doğrusal olmayan bir özellik gösterdiğini belirtmişlerdir. Erde GTR isimli akrilik bazlı yapıştırıcı türünün şekil değiştirme oranı yaklaşık olarak % 0.085 değerinde diğer yapıştırıcı türlerinden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Bağlama Elemanları

Bağlama elemanları, makineyi meydana getiren parçaları gövdeye, birbirine ya da makinenin kendisini sabit bir yere bağlayan elemanlardır. Diğer bir ifadeyle; birden fazla makine parçası veya elemanını, malzemenin fonksiyon ve özelliğine zarar vermeden birbirine bağlayan makine elemanlarına denmektedir. Pratikte, bağlantıların yapılma şekli, kullanılan bağlama elemanı ve bağlama yöntemi birbirlerinden farklı olabildiği gibi farklı kurallara dayalı da olabilmektedir. Bağlama elemanları genel olarak belli standartlara göre seri olarak imal edilmektedirler. Seri olarak üretilen bu elemanlar, ihtiyaç duyulan fonksiyon ve ebatlara göre seçilerek kullanılırlar(Koç 2013).

Bağlama elemanları;

- Şekil bağlı bağlantılar (uygu kaması, pim, perno, emniyet halkaları, profilli mil, perçin)
- Kuvvet bağlı bağlantılar (ön yüklemeli kamalar, sıkma bağlantıları, sıkı geçmeler, konik geçmeler, cıvata-somun bağlantıları)
- Malzeme bağlı bağlantılar (kaynak, lehim, yapıştırma)

olarak üç grupta incelenebilmektedir(Koç 2013).

#### 2.1.1 Şekil Bağlı Bağlantılar

Şekil bağlı bağlantı türünde, birbirine bağlanan elemanlar arasında şekil bağı oluşturulmakta ve elemanlar arasında kuvvet iletimi, bağlama elemanlarının şekli veya geometrisi tarafından sağlanmaktadır. Hareket ve kuvvetin iletilmesi bağlantı elemanının şekli ile sağlanmakta ve bağlanma elemanın kırılması, kesilmesi gibi durumlarda birleşme, kuvvet ya da moment iletimi sonlanmaktadır. Uygu kaması, pim, perno, emniyet halkaları, profilli mil gibi elemanlar bu gruba dahil edilir. Bu bağlantı elemanları temas veya şekil bağlama elemanları olup bağlama işlemi bağlantı elemanının temasının yardımıyla veya perçin bağlantılarında olduğu gibi plastik şekil değiştirme yoluyla gerçekleşmektedir(Koç 2013).

### **2.1.2 Kuvvet Bağlı Bağlantılar**

Bu bağlantı türünün ana kuralı parçalar arasında meydana gelen sürtünme kuvveti ile kuvvet bağının oluşmasıdır. Diğer bir ifadeyle, bağlantı elemanları düzgün bir şekilde sıkılarak, temas yüzeylerinde bir ön gerilme oluşturulup, temas yüzeylerindeki görece kayma doğan sürtünme kuvveti bağı ile engellenmektedir. Hareket ve kuvvet iletilmesi durumunda harekette zıt yönde etkiyen sürtünme kuvvetleri bağlantının devamını sağlamaktadır. Kuvvet bağlı bağlantılarda, kuvvet iletiminde, bağlantı elemanının şeklinden faydalanılmamaktadır. Bu gruba; ön yüklemeli kamalar, sıkma geçme, sıkı ve konik geçmeler ve civata-somun bağlantıları dahil edilmektedir(Koç 2013).

### **2.1.3 Malzeme Bağlı Bağlantılar**

Malzeme bağlı bağlantılarda parçalar, bağlantı yerindeki malzemenin çözülemeyecek şekilde birleşmesiyle bağlanmaktadır. Bağlantı yerindeki bağlanan parçaların ve var ise ara/ilave malzemenin moleküllerinin birbirine karışıp, bağ kuvvetlerinin oluşması ile bağlantı meydana gelmektedir. Bu tür bağlantılarda esas bağlama, malzeme veya madde arasında oluşmaktadır. Lehim, kaynak ve yapıştırma bağlantıları bu gruba dahil edilmektedir(Koç 2013).

## **2.2. Yapıştırma Bağlantıları**

Aynı veya farklı türdeki iki malzemenin metalik olmayan bir ara malzeme(zamk) ile birbirinden çözülemeyecek bir şekilde birleştirilmesi ile yapıştırma bağlantısı elde edilir. Yapıştırılacak parçaların yüzeylerine 0,1 ile 0,3mm arasında ince bir tabaka şeklinde sürülen yapıştırıcının kimyasal reaksiyonlar sonucu makro müküllerin oluşması sonucu sertleşme oluşmaktadır. Böylece, esas malzeme-yapıştırıcı arasındaki yüzeye yapışma kuvveti(adezyon) ve yapıştırıcının kendi molekülleri arasındaki iç mukavemet bağı(kohezyon)'nın oluşması ile etki eden dış kuvvetler karşılanabilmektedir. Adezyon kuvvetinin büyük olması bağlantının dayanıklılığını artırır. Bu işlemin sağlanması için yapıştırıcının esas malzemenin yüzeyine iyice yayılmasının sağlanması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı, yapıştırma işleminin öncesinde bir ön hazırlığa tabi tutulması gerekmektedir(Koç 2013).

Geçmişten günümüze kadar, kağıt, deri(kösele), ahşap, porselen lastik ve seramik malzemelerin birbirine bağlanmasında yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Günümüzde, teknolojinin ilerlemesine paralel olarak, yeni yapıştırıcıların geliştirilmesi ile madeni parçaların birleştirilmesinde, hafif metal yapılarda, mil-göbek bağlantıları gibi endüstriyel alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmış olup geniş uygulama alanları mevcuttur. Uygun yapıştırıcı kullanımı durumunda, farklı malzemelerin de başarılı olarak birleştirilmeleri mümkün olabilmektedir(Koç 2013).

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların diğer birbirinden çözülemez birleştirmelere göre bazı üstünlükleri ve sakıncaları bulunmaktadır. Bu üstünlükleri ve sakıncaları şunlardır(Koç 2013);

#### Üstünlükleri

- Farklı türdeki malzemelerin birleştirilmeleri mümkündür.
- Uygulanışı kolay ve ucuz maliyetlidir.
- Kaynakla yapılan bağlantılarda olduğu gibi ergime sonucu oluşan kristal yapıdaki değişikliğe sebep olmaz, ısıl gerilmeler ve gevrekleşmeler meydana getirmez. Gerilme dağılımı her noktada yaklaşık olarak eşit olduğundan sürekli mukavemette kopma tehlikesi azdır.
- Ana malzemede herhangi bir delik, çentik vb. açılmadığından kesit zayıflaması söz konusu değildir. Mukavemet kaybı yoktur.
- Korozyona karşı korunma görevi yapar. Çatlak korozyonu tehlikesi yoktur.
- Sönümlenme ve izolasyon özelliklerine sahip olup istenirse iletken ve yalıtkan olarak faydalanılabilir.
- Diğer bağlantı elemanlarının etkili olamadığı veya uygulanamadığı durumlarda kullanılabilir.

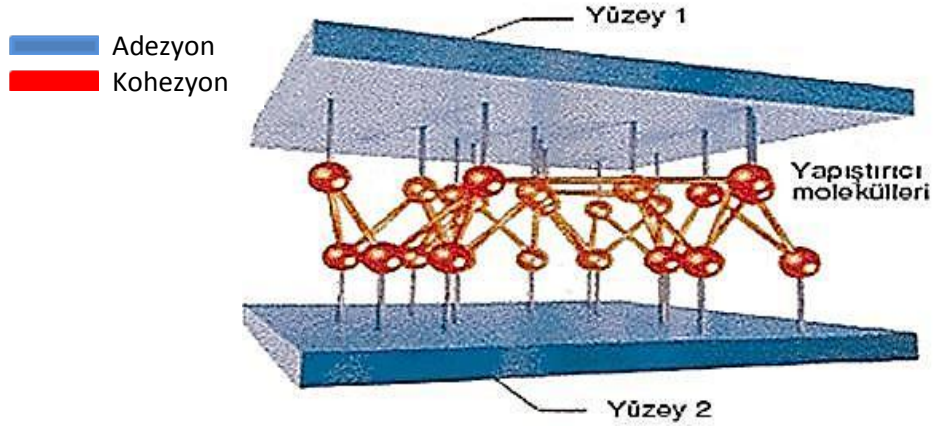
### Sakıncaları

- Yapıştırıcının birleştirilmesi için basınç ve/veya ısı gerekir.
- Diğer bağlantı şekillerine göre dayanımları genel olarak sınırlı ve ömürleri kısadır. Çalışma sıcaklığının artması durumunda dayanımı daha da düşer.
- Yapıştırılacak malzemelerin yüzeylerinin hazırlanması hassasiyet gerektirir ve zaman alır.
- Yapıştırıcıların dayanımlarının düşük olması yapışacak malzemelerin yüzeyinin büyük olmasını gerektirir.
- Yapıştırıcılar ısı(termik) ve kimyasal etkilere karşı çok hassastır.
- Malzemelerin yapıştırma işlemi için özel aparatlar ve ısı kaynakları gerekebilir. Bu sebepten dolayı işlemin uygulanışı maliyeti arttırır.

Yapışma olayı, yapıştırıcı ile yapıştırılacak olan malzeme arasında oluşan adezyon ve yapıştırıcının kendi içindeki molekülleri düzeyinde meydana gelen kohezyon kuvvetleri sonucunda meydana gelen fiziksel ve kimyasal bir olaydır. Yapışma olayını tam olarak anlayabilmek için adezyon ve kohezyon kuvvetlerinin daha iyi anlaşılması gerekmektedir(Solmaz 2008).

#### **a) Adezyon Kuvveti**

Adezyon, iki maddenin temas ettiği yüzeylerdeki yapışma kuvvetidir. Moleküller arası çekim kuvvetleri (Van der Waals kuvvetleri) olarak ta isimlendirilen ve yüzeye tutunmanın fiziksel olarak kuvvetleri(Şekil 2.1) yapışma olayının en önemli faktörleridir. Şayet yapıştırıcı, mekanik şekilde işlem görmüş yüzeylerde bulunan pürüzlere tam olarak temas edememesi durumunda, moleküller arasındaki kuvvetlerin oldukça zayıflamasına sebep olur. Bu nedenden dolayı yapıştırıcı malzemenin yüzey pürüzlerine tam olarak nüfuz etmesinin sağlanması ve bütün yüzeyin ıslatılması gerekmektedir. Bundan dolayı, yapışmanın kuvveti hem yüzeyin iyi şekilde ıslatılmasına hem de yüzeyin yapışma niteliğine bağlıdır. Yüzeyde kirlerin bulunması da yapışma olayı için gerekli olan ıslatmayı olumsuz etkilemektedir (Cowardrey ve ark. 1998).



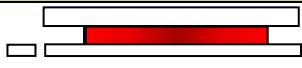



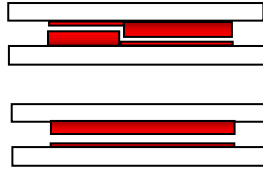
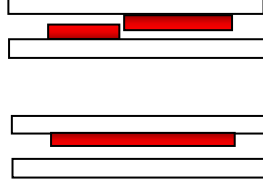
Şekil 2.1. Adezyon ve Kohezyon kuvvetleri (Cowdrey ve ark. 1998)

### b) Kohezyon Kuvveti

Yapıştırıcıyı meydana getiren kütle bileşenlerinin, yapıştırıcının birleşmesi esnasında oluşan kimyasal (bağ kuvvetleri) ve fiziksel (Van der Waals kuvvetleri) kuvvetler tarafından bir arada tutulması durumudur. Kohezyon, yapıştırıcı molekülleri arasında mevcut olan ve yapıştırıcıyı bir arada tutmakta olan kuvvettir(Solmaz 2008).

### c) Temel Hasar Tipleri

Temel hasar modellerinin belirlenmesi bir yapıştırma bağlantısına uygulanan herhangi bir mekanik deneyin sonuçlarının daha iyi anlaşılmasını ve hasar çeşitlerinin sınıflandırılmasını sağlar. Temel hasar tipleri Şekil 2.2'de gösterilmiş olup birden fazla hasar modeli oluşmuşsa her bir hasar modelinin yaklaşık yüzde oranı her bir tanımlama sonunda verilmelidir. Değişik yükleme şartları altında, yapıştırılan mazleme bağlantılarının veya yapıştırıcının mekanik özelliklerinin iyi bir şekilde anlaşılabilmesi için hasar tiplerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bir grup malzeme veya parçanın yapıştırıcı ile bir araya getirildiği yapıştırma bağlantılarında genel olarak iki tip hasar modeliyle (adezyon ve kohezyon) karşılaşılır(ISO 10365, 1992).

	Hasar Tipleri	Tanımlanma Şekli
Yapıştırılan malzemede meydana gelen hasarlar	 Yapıştırılan malzemelerin biri veya ikisinde de hasarın oluşması	<b>YH</b>
	 Kohesiv yapıştırılan malzeme hasarı	<b>KYH</b>
	 Kalkma (Deleminasyon) yoluyla hasar	<b>DH</b>
Yapıştırıcıda meydana gelen hasarlar	 Kohezyon hasarı	<b>KH</b>
	 Özel kohezyon hasarı	<b>ÖKH</b>
	 Adezyon hasarı	<b>AH</b>

**Şekil 2.2.** Temel hasar tipleri (ISO 10365, 1992)

Yapıştırıcı malzemelerin(zamkların) esasını genel olarak “yapay reçineler” oluşturur. Bu reçineler içinde Fenol, Epoksit Polyester ve Akril en çok kullanılır ve piyasada Araldid, Redux, Epilox, Metallon, Agomed gibi isimlerle veya 404 gibi sembollerle satılırlar. Çizelge 2.1 çeşitli yapıştırıcı malzemelerin, özellikleri ve kullanım alanlarını göstermektedir. Yapıştırıcılar bileşen sayılarına göre ve sertleşme sıcaklıklarına göre sınıflandırılır. Tutkal gibi oda sıcaklığında sertleşen yapıştırıcılar “soğuk yapıştırıcılar”, 200°C ’ye kadar yüksek sıcaklıkta sertleşen yapıştırıcılar ise “sıcak yapıştırıcılar” olarak adlandırılır. Bileşimlerine göre ise bir veya iki bileşenli yapıştırıcılar söz konusudur. Tek bileşenli yapıştırıcılar yapıştırma ve sertleşme için gerekli tüm malzemeleri içerirler(karışmış). Sıcak yapıştırıcılar bu gruba dahil olup birleştirme için gerektiğinde kuvvet uygulanabilir. İki bileşenli yapıştırıcılarda asıl yapışmayı sağlayan

reçine ile katılaşmayı sağlayan ikinci bileşen yapıştırma işleminden önce uygun oranda ve şekilde karıştırılır. Bu yapıştırıcılar yapıştırma işleminde genellikle basınç veya kuvvet gerektirmez. Sertleşme süresi genelde uzundur. Soğuk yapıştırıcılar genellikle iki bileşenlidirler(Koç 2013).

Yapıştırıcılar toz, pasta, sıvı veya katı halde olurlar. Sıcak yapıştırıcılar(zamklar) katı halde bulunur ve tek bileşenlidir. Yapıştırma işlemi yapıştırıcının cinsine balı olarak soğukta veya sıcakta bir baskı kuvveti uygulanarak veya uygulanmadan gerçekleştirilir. Yapıştırma bağlantısının istenilen şekilde oluşması için;

- Yüzeyin hazırlanması(ön hazırlık),
- Yapıştırıcının hazırlanması,
- Parçaların hazırlanması,
- Yapıştırıcının parça yüzeylerine sürülmesi,
- Parçaların belirli bir süre bekletilmesi,
- Yapıştırıcının türüne göre parçaların basınçlı ve basınçsız olarak birbirine temas ettirilmesi gibi temel işlemler uygulanır(Koç 2013).

Ön hazırlıkta yapıştırılacak yüzeyler işlenir ve temizlenir. Yüzey pürüzlüğü ve temizliği mukavemeti önemli ölçüde etkiler. Yüzey hazırlanması; yüzeyde yağ, kir, pas, boya vb. giderilmesi, yüzeyin pürüzlendirilmesi(zımpara vb. ile), yüzeyin yıkanması ve kurutulması işlemlerinden ibarettir. Yağ giderici olarak aseton, benzol, benzin ve mazot gibi malzemeler kullanılır. Yüzeylerin pürüzlendirilmesiyle, yapıştırıcının pürüzler arasına girip sertleşmesi ile bir şekil bağı oluşturulması hedeflenmektedir. Bu amaçla zımparalama ve kum püskürtme metodu uygulanabilir. Yapıştırıcı(zamk) hazırlanması, iki bileşenli zamkların yapıştırıcı ve sertleştirici bileşenlerin yapıştırma işleminden önce birbirleriyle karıştırılmasından ibaret olup hazırlanan yapıştırıcı bir süre bekletilir veya hemen yüzeylere sürülür. Parçaların amaca uygun olarak düzgün ve ince bir yapıştırıcı tabakası oluşturacak şekilde hazırlanması da zorunludur. Bunun için yapıştırılacak parçaların birbirine iyi bir şekilde uyması ve yeterli düzgünlükte olması gereklidir. Birbiri içine geçen parçalarda(boru ve geçme bağlantıları) yeterli boşluk bırakmalıdır(0,1...0,3mm). Yapıştırıcının sertleşmesi sırasında parçaların birbirine bastırılması gerekiyorsa üniform bir basma temini için gerekli düzenlemeler yapılmalı, tertibatlar kullanılmalıdır. Çizelge 2.2 seçilmiş yapıştırıcıların kullanım sıcaklığı, sertleşme sıcaklığı ve süresi ile mukavemet değerini vermektedir(Koç 2013).



Kimyasal Yapı (Reçine Tipi)	Ticari Adı	Sertleşme			Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları
		Sıcaklık (°C)	Zaman Saat (h)	Baskı (N/cm <sup>2</sup> )	
Epoksi Reçinesi	Epilox Araldit Epoxy	150	3,5	50	İki bileşenli. Uzun sertleşme süresi. Madenlerin, plastiklerin, keramiklerin yapıştırılması. Levhalar önceden ısıtılmalı.
Poliester Reçinesi	Akemi Mökodur Vestopal				İki bileşenli. Uzun sertleşme süresi. Madenlerin, plastiklerin(duroplast) keramiklerin yapıştırılması.
Fenol Reçinesi	Redux Plastaphenal	150	0,33	100	İki bileşenli, madenlerin, yapıştırılması.
Akril Reçinesi	Agomet	20	48	100	Madenlerin ve plastiklerin yapıştırılması.
Polisosiyyamat	Desmocoll W -Desmadur	20	168	100	% 120 Desmadur H ilave edilir. Üç gün baskı basıncı uygulanır. İki bileşenli, madenlerin ve plastiklerin birleştirilmesi.
Siyonokrilat-Monomer	Eastmant 910 Tiox KI				Tek bileşen. Çabuk sertleşir. Maden, plastik ve elastomerlerin yapıştırılması.
Epoksit + Thiokol	Polisülfid-likit polimer				İki bileşenli, çeşitli malzemelerin yapıştırılması ve sızdırmazlık için.
Epoksit + poliamid	Versamid Leifa-met				İki bileşenli, madenler ve plastikler için.
	Metallon 130	150	15	50	%30 sertleştirici ilavesi, yapıştırmadan önce parçalar 80° ısıtılır.
	Metallon K	20	48	100	%50 sertleştirici ilavesi. Bir gün baskı altında tutulur.
	Bostik 476	165	4	100	Yüzeye iki kez sürülür.
Keramik Karışımlar	Ceramic UJ 1067	Yüksek Sıcaklık			Madenlerin yapıştırılması.

**Çizelge 2.1** Yapıştırıcı malzemeler ve özellikleri(Koç 2013)

Yapıştırıcı Adı	Kullanım Sıcaklığı (°C)	Karışım Oranı *	Sertleşme			Kayma Muk. (daN/cm <sup>2</sup> )	Kalkma Muk. (daN/cm <sup>2</sup> )
			Sıcaklık (°C)	Zaman Saat (h)	Baskı (N/cm <sup>2</sup> )		
Epilox Ek 10	100	Tek Bileşenli	180	2	1...3	260	1
Epilox Ek 26	100	100 : 40	180	2	1...3	240	4
Epilox EGK 19	60	100 : 9	20	24	0...1	180	0,5
Epilox EKS 11	70	100 : 3	20	24	0...1	160	0,5
Mökoder L 5001	60	1 : 1	20	48	0...1	160	0,5
Plastephenal	80	Tek Bileşenli	135-165	0,7-0,5	10...20	300	5
Hartgummi, beyaz (Ser kauçuk esaslı)	100	Tek Bileşenli	140	1	0,1...3	130	2,5

(\*: Yapıştırıcı / Sertleştirici)

**Çizelge 2.2** Seçilmiş yapıştırıcıların özellikleri(Koç 2013)

### 2.2.1. Yapışma Teorileri

Geçmişten günümüze kadar yapışma mekanizmasını açıklamak amacıyla bilim insanları kırk civarında yöntem önermişlerdir. Bu yöntemler, mikroskobik, moleküler ve makroskobik seviyelerdeki kavramları baz almıştır. Önerilen bu yöntemlerden hiçbirisi yapışma mekanizmasını tam anlamıyla izah edememiştir. Ancak bağlantının bir özelliğini açıklamak için bir ya da birden fazla yöntemden faydalanılabilir(Temiz 2003).

#### 2.2.1.1. Mekanik Tutunma Teorisi

McBain ve Hopkins (1925), katı bir malzemenin yüzeyi üzerine sıvı bir yapıştırıcı sürüldüğü zaman, yapıştırıcının boş olan gözeneklere gireceğini, mekanik olarak tutunma meydana geleceğini ve bu sebepten dolayı iyi bir yapışma olayının gerçekleşeceğini belirtmiştir. Mekanik tutunma, yapıştırıcının, malzemenin yüzeyinden kalkmasına engel olmaktadır. Venables ve ark. (1979), yapıştırıcının mekanik tutunmayla yapışmasını artıran birtakım alüminyum malzemelerin yüzeysel olarak işlemlerinin, gerçekte, malzemenin yüzeyindeki gözenekleri arttırdığını bulmuşlardır. Esasında malzeme yüzeylerinin pürüzlendirilmesi ve yüzeydeki pas, yağ ve benzeri kirlerin temizlenmesi yüzey alanını

arttırmakta ve yapıştırıcının yüzeye daha iyi nüfuz ederek iyi ıslanmasını sağlamaktadır(Jennings 1972). Buna ek olarak, Mittal (1976)'ın çalışmalarında ve benzer yapılan diğer çalışmalarda da farkedilmiştir ki, iyi yapışma için, pürüzsüz malzeme yüzeyleride kullanılabilmiştir.

### **2.2.1.2. Adsorpsiyon Teorisi**

Adsorpsiyon teorisi, ana malzemeye yapıştırıcı arasında iyi bir temas elde edilmesi koşuluyla, ara yüzey arasında atomlar ve moleküller arasındaki kuvvetlerin meydana gelmesi neticesinde yapışma durumunun oluştuğunu öne sürmektedir. Bu teori halen, yapıştırıcı biliminin en fazla kabul gören uygulanabilir bir teorisidir(Kinloch 1980). Ve Sharpe ile Schornhorn aracılığıyla geliştirilmiştir(Sharpe ve Schornhorn 1963). Yapıştırıcı-ana malzeme arasındaki yüzeyde bulunan kuvvetler genel olarak iki ayrı sınıfta gruplanabilir. Bunlar, a) İyonik, metalik ve kovalent bağlardan oluşan birincil kuvvetler. b) Van der Waals kuvvetleri, dipole-dipole, induced dipole dipole, hidrojen bağları ve asit-baz iç etkileşimlerini içine alan ikincil kuvvetlerdir(Kinloch 1980). Birincil kuvvetlerin bağ enerjileri 60–1050 KJ/mol arasında bulunurken, ikincil kuvvetlerin bağ enerjileri 0.08–40 KJ/mol arasında değişmektedir. Birbirlerinden bir nanometrelik bir mesafe kadar ayrılan iki katı yüzey arasında meydana gelen çekim kuvveti hemen hemen 100 MPa olarak bulunmuş olan bu değer yapıştırma bağlantısı mukavemetinden daha fazladır (Kinloch 1980). Oluşan fark, bağlantı sırasında meydana gelen boşluk ve diğer noksanlıklardan kaynaklanmaktadır. Bağlantı mukavemetinin deneysel ve teorik değerleri arasında meydana gelen bu büyük farka karşın bağlantı mukavemetinin böyle yüksek değerlerde mukavemete sahip olmasının nedeni ikincil bağ kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır(Kinloch 1980).

### **2.2.1.3. Elektrostatik Teorisi**

Skinner ve ark. (1953), hesapladıkları elektrostatik kuvvetlerini Van der Waals kuvvetleri ile kıyaslamış ve metal-yapıştırma bağlantısında meydana gelen yapışma işlemini deneysel olarak ölçmüşlerdir. Elektrostatik yapışma işlemine yaptığı katkının, Van der Waals kuvvetleriyle kıyaslandığında çok küçük bir değerde olduğunu ve ölçtüğü yapışma işinin ise elektrostatik ve Van der Waals kuvvetlerinin toplamından daha büyük olduğunu bulmuştur.

#### 2.2.1.4. Difüzyon Teorisi

Difüzyon teorisi, kimi yönlerden mekanik tutunma teorisine benzemesine rağmen difüzyon teorisinin farkı moleküler seviyede olmasıdır. Voyutski (1963) sayesinde bulunan difüzyon teorisi, iki polimer birleşme malzemesinin birbirleri içine difüze olmasını sağlamasıyla yapışma olayının meydana geleceğini ifade etmiştir.

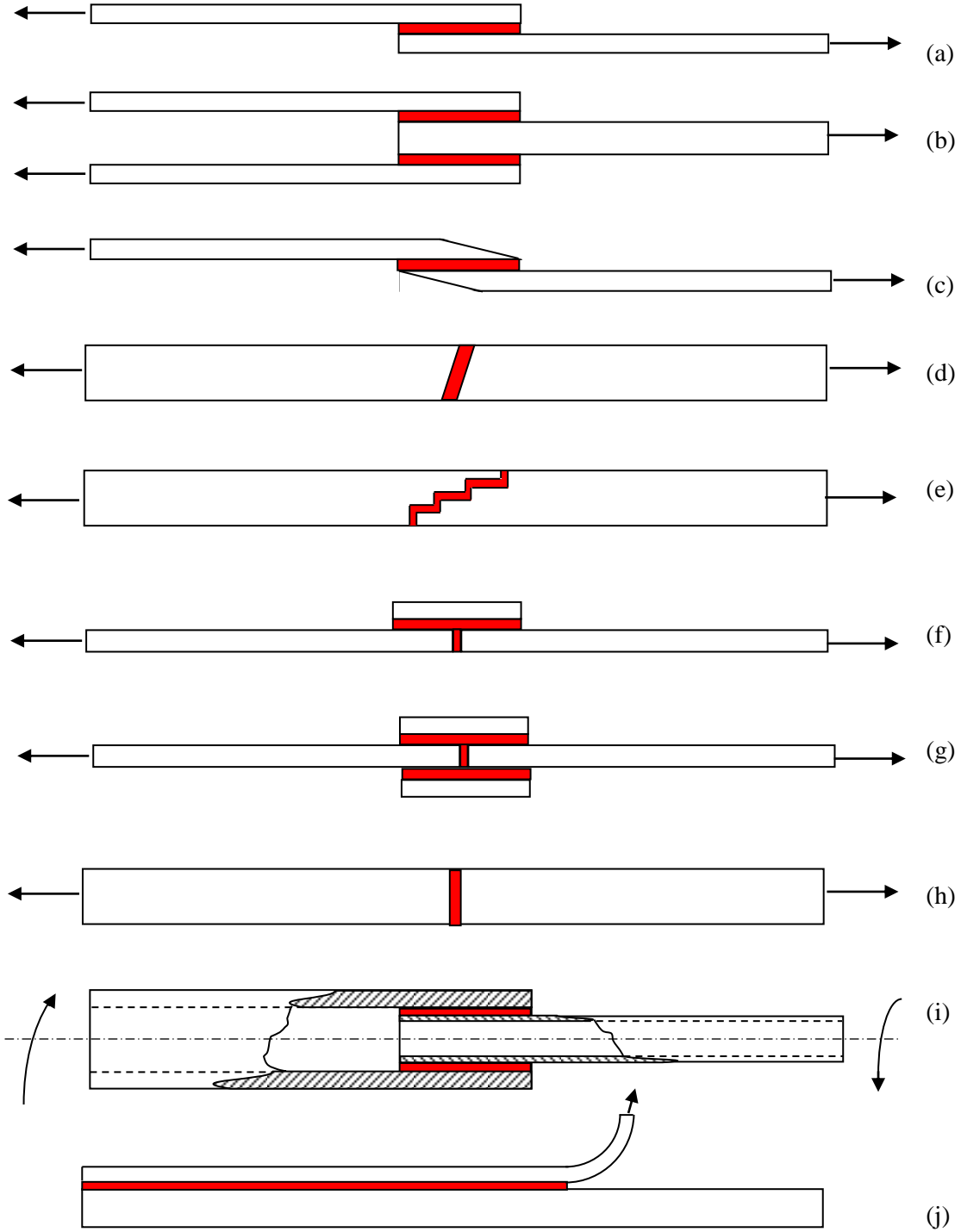
#### 2.3. Yapıştırma Bağlantı Tipleri

Yapıştırma bağlantısı vasıtasıyla meydana gelen bir bağlantının mukavemeti,

- Çalışma yapılacak ortama,
- Yapıştırılacak olan malzemeye,
- Yapıştırıcı türüne,
- Ek yerinin tasarımına ve
- Yük gibi değişkenlere bağlı olmaktadır(Cowdrey ve ark. 1998).

Bir yapıştırıcı türünün fiziksel ve kimyasal özellikleri, o yapıştırıcının adezyon ve kohezyon kuvvetini belirlemektedir. Yapıştırma bağlantısının mukavemeti ise yapıştırıcı türünün özelliklerine bağlıdır. Değişik yapıştırıcı teknolojileri, yüzeye tutunma özellikleri, kuvvet ve esneklik (Young modülü) yönünden değişik seçenekler sunmaktadır. Yapıştırılacak malzeme ve yüzeylerin son-kat işlemleri genel olarak uygun özellikteki yapıştırıcı ve ek yeri dizaynında birinci seçim şartı olmasına rağmen en uygun yapıştırıcı türünün belirlenmesi esnasında malzemelerin mekanik özellikleri ve parçaların sertliği de çok önem arz etmektedir. Birleştirme bağlantısının çalışma şartları (nem, sıcaklık, vb.) yapıştırıcı türünün seçimini doğrudan etkileyebilmektedir. Çalışma şartları ve uygulanan kuvvetler, birleştirme bağlantısının mukavemetini belirleyen en önemli ölçütlerdir. Ek yerinin dizaynı, seçilen yapıştırıcıdan en yüksek verimi almak için en önemli ölçüttür. Bağlantı elemanı yapıştırıcının özelliklerine göre düzenlenmeli (hacimsel küreleşme, boşluk doldurma gibi.), ve en zor yük şartlarından (soyulma, yarıma) etkilenmeyecek şekilde iyileştirilmelidir(Cowdrey ve ark. 1998).

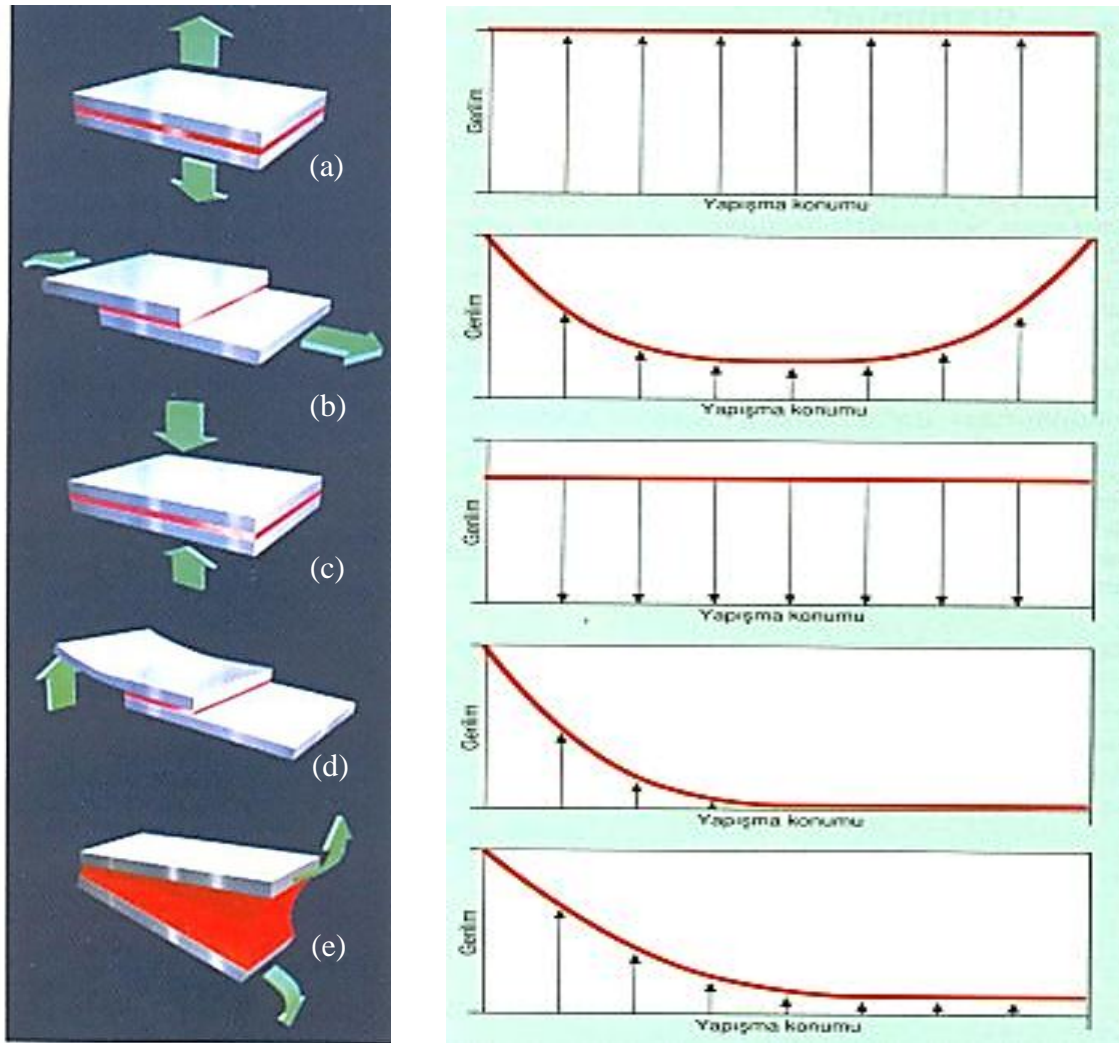
Mühendislik alanında kullanılan yapıştırma bağlantı tiplerinin en önemli olanları Şekil 2.3’de gösterilmiştir(Adams ve Wake 1984).



**Şekil 2.3.** Bazı yaygın yapıştırma bağlantı tipleri, (a) tek tesirli bindirme, (b) çift tesirli bindirme, (c) boyun bindirme, (d) açılı bindirme, (e) teraslama, (f) tek takviyeli bindirme, (g) çift takviyeli bindirme, (h) alın bağlantı, (i) silindirik bindirme, (j) soyulma (Adams ve Wake 1984)

### 2.3.1 Gerilme Çeşitleri

Yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantılarda dört önemli gerilme durumu etkili olmaktadır(Şekil 2.4). Bu önemli gerilmeler; çekme, soyulma(peel), kesme, ve çekme-makaslama durumudur. Yapıştırma bağlantısının mukavemetinden en yüksek randımanı elde etmek amacıyla, bu gerilme türlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Temiz 2003).



**Şekil 2.4.** Genel yük çeşitleri ve gerilme dağılımları (a) Çekme, (b) Kesme, (c) Basma, (d) Soyulma, (e) Çekme-makaslama (Cowdrey ve ark. 1998)

### **2.3.1.1. Çekme**

Şekil 2.4.a'da gösterildiği gibi, bu çeşit yükler altında, kuvvetler yapıştırıcı tabakasına dik şekilde etki etmektedir. Bu tür kuvvetler nedeniyle meydana gelen gerilme, yapışmanın olduğu alana eşit biçimde yayılmaktadır. Ancak, yapışma bağlantısına yalnızca bu çeşit bir gerilmenin tesir ettiğinden emin olmak sürekli olarak mümkün değildir. Eğer uygulanan kuvvetler eksenin dışında etki etmekte ise bu durumda yapışma alanının olduğu yere gerilmenin eşit bir biçimde yayılma avantajı ortadan kalkmış olacak ve yapışma bağlantısının bozulma olasılığı daha fazla artmış olacaktır. Bir başka önemli olan durum ise, yapıştırılmış olan malzemenin kalın olmasının gerekliliğidir. Maruz bırakılan yükün etkisi altında, fark edilebilir miktarda bir eğilme meydana gelmemelidir. Aksi takdirde, gerilme dağılımı eşit miktarda ortaya çıkmayacaktır(Akpınar 2008).

### **2.3.1.2. Kesme**

Kesme yükleri, yapıştırılan bölgenin tümüne düzgün olarak tesir etmektedir(Şekil 2.4.b). Bu çeşit bir yükleme durumunda yapışma bölgesinin tümünün tesir altında olması, yapışma bağlantısının ömrünü arttırmakta olup ekonomik olmasına katkı sağlamaktadır. Yapılması mümkün olan yapışma bağlantılarında, etkiyen yükün büyük bir bölümünün kesme yükü olarak iletilebilecek biçimde oluşturulması uygun olacaktır(Akpınar 2008).

### **2.3.1.3. Soyulma**

Böyle bir durumun meydana gelmesi için birbirine yapıştırılan parçalardan biri veya her ikisinin de esnek özellikte olması gerekmektedir(Şekil 2.4.d). Bu çeşit bir yükleme durumunda, bağlantı sınırında meydana gelen gerilme çok yüksek değerde olmaktadır. Yapıştırma bağlantısının alanının çok geniş olması veya yük miktarının düşük olmaması durumunda yapıştırma bağlantısı çabuk bozulabilecektir. Bu çeşit bir yükleme durumundan mümkün olduğu kadar kaçınılması gerekmektedir(Akpınar 2008).

### **2.3.1.4. Çekme-Makaslama**

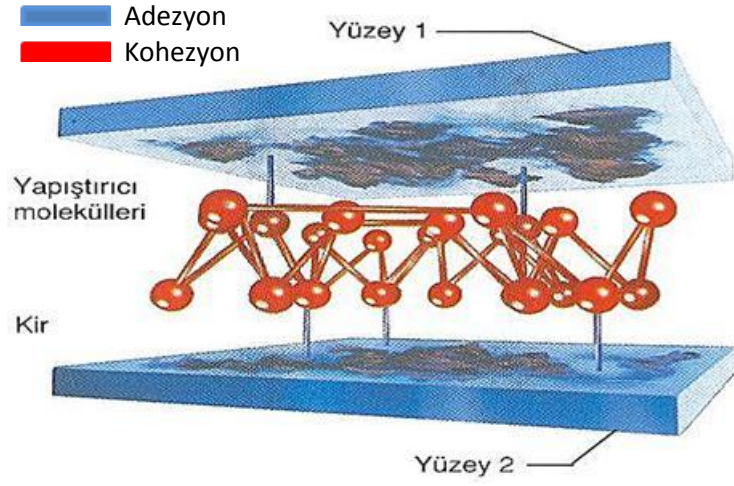
Böyle bir yükleme(Şekil 2.4.e) çeşidi genellikle eksenin dışındaki çekme kuvveti veya momentten meydana gelmektedir. Önceki gerilme çeşitlerinden farklı şekilde bu gerilme çeşidinde, yapışma alanına düzgün olmayan bir şekilde etki etmekte ve yapışma bağlantısının bir yanında konsantre olmaktadır. Oluşan gerilmeyi karşılamak amacıyla

yeterli olacak büyüklükte bir yapışma alanı gerekmektedir. Çekme veya kesme gerilmelerine göre bu yapışma alanı daha fazla büyüklükte olduğundan bu çeşit bir bağlantı önerilmez, çünkü; maliyetin artışına sebep olur(Kayacan 1988).

#### **2.4. Yapıştırılacak Yüzeylerin Hazırlanması**

Yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantılarda, yapıştırıcı ile malzeme yüzeyleri arasında düzgün bir temasın olmaması yapışma bağlantısını olumsuz etkiler. İstenilen bir yapıştırma bağlantısı işlemi için tasarım esnasında, birleştirilecek malzemelere uygun bir ön-işlem ve uygun bir yapıştırıcı türü seçilmesi gerekmektedir. Basit olarak yapılan mekanik temizleme ve kimyasal olarak yağ alımından, karmaşık şekilde yapılan fiziksel yüzey hazırlamalarına kadar birden fazla ön-işlem yöntemi bulunmaktadır. Yapıştırılacak malzemelerin yüzeylerinin hazırlanması, yapıştırıcı yardımıyla birleştirme işleminde en önemli aşamadır. Yeterli bir malzeme yüzeyi hazırlığı yapılmadığı durumda, yapıştırma bağlantısı, yapıştırıcı ile malzeme yüzeyinin temas ettiği yerde ve tahmin edilemez bir şekilde kopmalar olacaktır. Yapıştırma bağlantısı için yeterli yüzey hazırlama yapılması durumunda ise, yapıştırıcı ve/veya astardan beklenen kuvvet elde edilmiş olacak ve kopmalar, yapıştırıcının moleküler düzeydeki kohezyon kuvvetinin aşılması ve yapıştırıcı tabakasının ikiye bölünmesi şeklinde oluşacaktır. Malzeme yüzeylerinin hazırlanması, sadece yapıştırma bağlantısının ilk önceki kuvveti amacıyla değil, uzun süredeki dayanımı amacıyla da çok önemlidir. Malzeme yüzeylerini hazırlama yöntemlerinin amacı, malzeme yüzeyindeki gres, yağ ve yüzeye tutunma kuvvetleri yapıştırıcıdan az olabilen dış kaplamaları temizlemesi olmalıdır. Plastik ve metal olan malzemelerde basit zımparalama ya da solventle temizleme çokça kullanılır. Buna rağmen, bazı metal malzemelerde, iyi bir yapışma ya da uzun süreli ortam şartlarına mukavemet elde etmek amacıyla basit yüzey hazırlama yöntemleri yeterli değildir. Yapışma olayının en iyi şekilde olması amacıyla iyi bir ön-işlem yapılması şarttır. Yapıştırıcı bağlantısındaki yapışma kuvveti büyük oranda yapıştırılacak malzeme yüzeyleri ile yapıştırıcı arasında meydana gelen adezyon kuvveti tarafından belirlenir. Malzeme yüzeylerinin iyi temizlenmesi ve ön-işlemin yapılması ölçüsünde yapışma kuvvetinin artış göstereceği iyi bilinmelidir. Şekil 2.5'te yapıştırılacak olan yüzeylerdeki kirlerin adezyonu düşürdüğü gösterilmiştir(Cowdrey ve ark. 1998).





Şekil 2.5. Bağlantı yüzeyindeki kirlerin adezyonu düşürmesi (Cowardrey ve ark. 1998)

#### 2.4.1. Yüzey Hazırlama Metotları

Yaygın olarak kullanılan yüzey hazırlama yöntemleri şunlardır:

- Kimyasal çözelti kullanılarak temizleme işlemi,
- Çözücü kullanılarak silme işlemi,
- Aşındırma işlemi,
- Buharla yağ temizleme işlemi,
- Buharla honlama işlemi,
- Ultrasonik temizleme işlemi(Çitil 2010).

En iyi yapışma bağlantısını elde etmek amacıyla, yapıştırılacak yüzeylerdeki toz, yağ, gres ve diğer kalıntıların temizlenmesi çok önemlidir. Geride kalıntı bırakmayan ve buharlaşabilen solventler, bu işlemin yapılabilmesi amacıyla uygundur. En önemli solventlerin isimleri ve temizleme kapasiteleri Çizelge 2.3'te belirtilmiştir(Cowardrey ve ark. 1998).

<b>Solvent</b>	<b>Temizleme Kapasitesi</b>	<b>Yanıcı veya Parlayıcı</b>
<b>Hidrokarbonlar</b> (Ör: izoparafinler)	İyi	Evet
<b>Ketonlar</b> (Ör: Aseton)	İyi	Evet
<b>Alkoller</b> (Ör: İzopropanol)	Orta	Evet
<b>Su bazlı</b>	İyi	Hayır

**Çizelge 2.3** En önemli Solventler ve özellikleri(Cowdrey ve ark. 1998)

Asit veya alkalın bazlı su içerikli temizleyiciler genel olarak korozyon önleyici maddeler içerirler. Bu temizleyiciler, temizleme işlemi sonrası eğer yüzeyde kalırlarsa, yapışma kuvvetini düşürmeye sebep olabilir ya da yapıştırıcı malzemenin kürlenmesine engel teşkil edebilmektedir. Bu çeşit temizlik malzemelerinin kullanılması durumunda, işlem öncesi mutlaka testler yapılmalıdır. Her şartta bütün uygulanan malzeme yüzeyleri iyice durulanmalı ya da silinmesi gerekmektedir(Demirgen 2007).

#### **2.4.2. Primerler**

Yüzey hazırlamada primerlerin önemi zaman geçtikçe artış göstermektedir. Primerler, genel olarak solvent içerisinde ve seyreltilmiş reaktif kimyasallardan oluşmaktadır. Malzemeye ise, sprey ya da fırça aracılığıyla, sürülmek suretiyle tatbik edilmektedir. Bağlantı sisteminde bir primerin işlevi, aşağıda belirtilmekte olanlardan bir ya da birden fazla olabilmektedir. Bu işlevler,

- Yüzey temizliğinin bitiminden sonra yüzeyi korumak,
- Malzeme yüzeyindeki serbest yüzey enerjilerini ayarlamak,
- Ara yüzeyin reolojik niteliklerini ayarlamak,
- Ana malzeme ile yapıştırıcı arasında bulunan yüzeyin iç etkileşimini ve çözünürlüğünü geliştirmek,
- Ana malzeme ile yapıştırıcı arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonu iletme.

Bazı uygulamalarda koruyucu olması amacıyla primerlerin kullanımı uygun olmasına

rağmen üretim maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Ancak, bazı uygulamalarda ise gerekli kimyasal reaksiyonları oluşturacak doğru primeri seçmek çok önemlidir(Temiz 2003).

## **2.5. Taguchi Metodu**

Japon bilim adamı Genichi Taguchi, 1920'lerde İngiliz istatistikçi Ronald Fisher tarafından öne sürülen ve bir sürecin sonucunu geliştirmeye odaklanan deneysel tasarımın üzerinde çalışmalar yaparak yöntemi geliştirmiştir. Fisher'ın çalışmaları tarımsal üretimde geniş hareket alanı sağlamıştır. Ancak Taguchi, 1980'lerin başında yönetime yeni bir yaklaşım getirerek, endüstriyel imalatlarda hedef olarak çıktılarının ele alınması gerektiğinin farkına varmıştır. Ayrıca kalitede mevcut olan üst ve alt kalite sınırlarının imalatın üretkenliğinde ters etki yarattığını gözlemlemiştir. Taguchi, öncelikle farklı durumlarda kalitenin maliyetini hesaplamayı öğrenmeleri gerektiğini savunmuştur. Genel olarak kalite maliyetleri, belirli özellikler dışında olan ürünlerin sayısı ile yeniden işleme veya hurda maliyetleri ile çarpılarak bulunmaktaydı. Taguchi bunun yerine, kalitenin topluma olan maliyetini daha önemli görmekteydi. Taguchi, çevre koşullarından etkilenmeyen, düşük çeşitliliğe sahip, sağlam ürün ve işleme tasarımı olarak kabul gören bu yöntemi geliştirmiş olup yeni ürünlerin tasarımı ile araştırma ve geliştirme çalışmalarında yoğun biçimde kullanılmıştır(Öztop 2007).

### **2.5.1. Taguchi Felsefesi**

Ürün veya hizmetin sahip olduğu yüksek kalite, müşteri memnuniyeti ile yakından ilişkili olmakla birlikte, işletme için de çok önem taşımaktadır. Diğer taraftan, ön imalat deneyimleri de düzgün bir inceleme ve dizayn aşamasından sonra, ürünün kalite geliştirme çalışmalarına ciddi katkılar sunmaktadır. Rekabetin olduğu bir ekonomide kaliteyi sürekli olarak geliştirmek ve maliyetleri en aza indirmeye çalışmak işletmeler için zorunlu bir durumdur. Süreklilik halinde kaliteyi geliştirmek, ürün hedef değerlerinden sapmaları azaltmayı sağlayacaktır. Bir ürünün kalitesini gösteren en önemli göstergelerden birisi de ürünün toplumun bütününde meydana getirdiği kayıptır. Bir ürünün performansındaki bir kötüleşme sebebiyle tüketicide meydana getirdiği kayıp sapmanın karesi ile orantılıdır. Bir ürünün kalitesi ve maliyeti, ürünün tasarımı ve üretim süreçleriyle belirlenmektedir. Ürünün imalat öncesini(pazar araştırma, tasarım ve işleme süreçlerini geliştirme) ve

imalatı esnasında yapılan işlemleri ile sonrasını Taguchi, kendi içlerinde sistem, parametre ve tolerans tasarımı safhalarına bölmüştür. İstatiksel olarak tasarlanan deneyler, ürün veya işlem süreçlerine ait uygulama sapmalarını azaltmak amacıyla kullanılmıştır. Taguchi yönteminin belirgin esaslarından birisi de matematikçi Jacques Hadamard'ın geliştirmiş olduğu Ortogonal Dizimler ile yapılmasına dayanmasıdır. Uygun ortogonal dizimin öngördüğü şekilde yapılan deneysel çalışmalar, varyans analizi ya da Faktör etkilerinin grafiksel gösterim metoduyla değerlendirip yorumlanmasıdır(Öztop 2007).

### **2.5.2. Taguchi Deneysel Tasarımının Prosedürleri**

Taguchi metodunun deney tasarımında uygulanması için gereken bazı temel prosedürler belirlenmiştir. Deneyin tam olarak Taguchi metoduna göre gerçekleştirilmesi amacıyla aşağıdaki prosedürlerin uygulanması gerekmektedir(Ross 1995, Gökçe ve Taşgetiren 2009).

1. Problemin tanımının yapılması
2. Gürültü oranının seçimi ve ölçüm sisteminin belirlenmesi
3. Deney parametrelerinin ve parametrelere ait seviyelerin belirlenmesi
4. Parametrelerin kontrol edilebilir ve kontrol edilemez olarak ayrılması
5. Parametreler arasındaki etkileşim durumunun kontrol edilmesi
6. Deneye uygun olan ortogonal dizinin seçilmesi
7. Tüm parametrelerin ortogonal sütuna atanması
8. Kalite kayıp fonksiyonları ve performans istatistiklerinin belirlenmesi
9. Deneylerin belirli tekrarlarla yapılması ve sonuçlarının kaydedilmesi
10. Varyans analizinin yapılması ve etkin parametrenin belirlenmesi
11. İstenilen sonuca göre en iyi parametre seviye kombinasyonunun belirlenmesi
12. Gerçekleme deneyinin yapılması ve deney işleminin sonuçlandırılması

### 2.5.3. Sinyal/Gürültü (S/N) Oranı

Taguchi deney tasarımı yönteminde kalite karakteristiklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi için kullanılan kriter, ölçülmek istenen sinyalin (S) gürültü faktörüne (N) oranıdır. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmesi istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil etmektedir. Sinyal/gürültü oranının hesaplamasında deneyler sonucunda ulaşılması hedeflenmekte olan kalite değerinin özelliği de önemlidir (Savaşkan ve ark. 2004). Taguchi, kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı (S/N - Signal/Noise) fonksiyonu olarak da ifade edilen ve aşağıda verilmekte olan üç farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır.

-“En düşük değer en iyi (Smaller is better)” durumu için,

$$S/N_S = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad 3.1$$

-“Nominal değer değer en iyi (Nominal is better)” durumu için,

$$S/N_N = 10 \log \left( \frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad 3.2$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

- “En büyük değer en iyi (Higher is better)” durumu için,

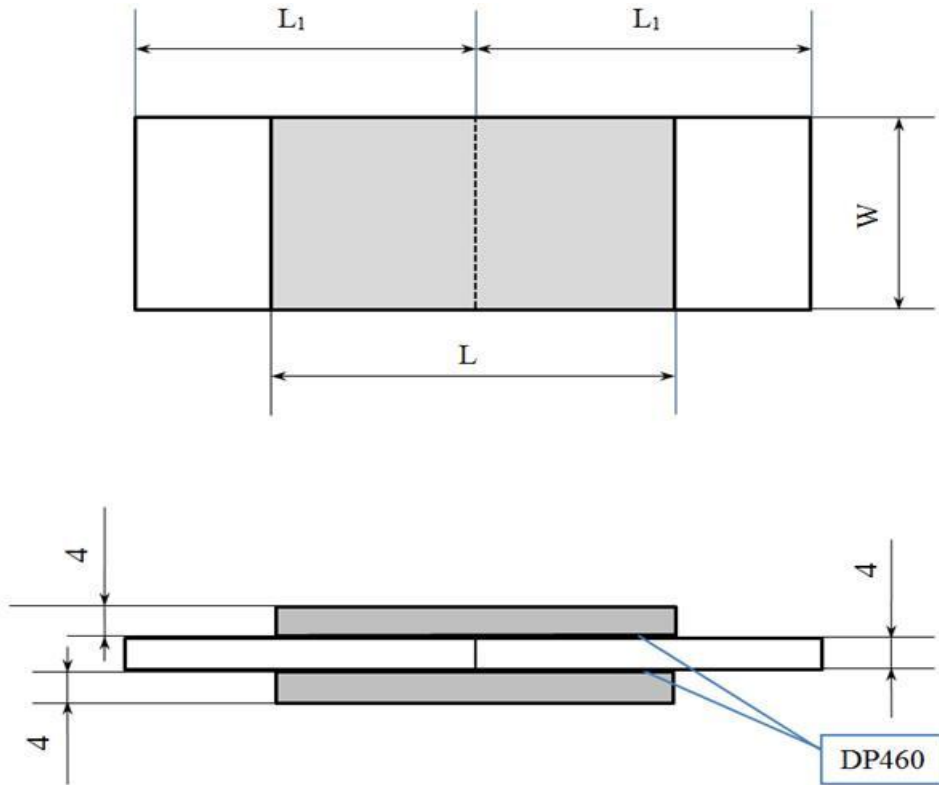
$$S/N_H = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad 3.3$$

**n:** Gözlem sayısı, **S/N:** Sinyal Gürültü Oranı, **S:** Standart Sapma,  
**S<sup>2</sup>:** Örneklem varyansı, **y:** Gözlem değeri,  **$\bar{y}$ :** Gözlem değeri ortalaması, **y<sub>i</sub>:** i.gözlem sayısı

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

AA-5083 alüminyum alaşımı, yorulma mukavemetinin yüksek oluşu, deniz suyu korozyonuna karşı dayanıklı ve yumuşak temper biçiminde soğuk işlenebilirliğinin iyi oluşu ve kaynak edilebilme yeteneği gibi özellikleri sebebiyle basınçlı kaplarda, depolama tanklarında, kimyasal cihazlarda, katlanabilir köprülerde, gemi inşaat sektöründe, askeri araçların gövde ve zırh korumalarında kullanımı yaygındır(Ergün 2014). Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme (EP GC 201) ise hafiflik, yüksek korozyon direnci ve yüksek mukavemet değerleri ile öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, AA-5083 alüminyum ana parçasıyla oluşturulan yapıştırma bağlantısında farklı genişlik(W) ve uzunluğa(L) sahip AA5083 ve İzoreel firmasından temin edilen cam elyaf takviyeli kompozit malzeme (EP GC 201) yama malzemesi olarak kullanıldı(Şekil 3.1).

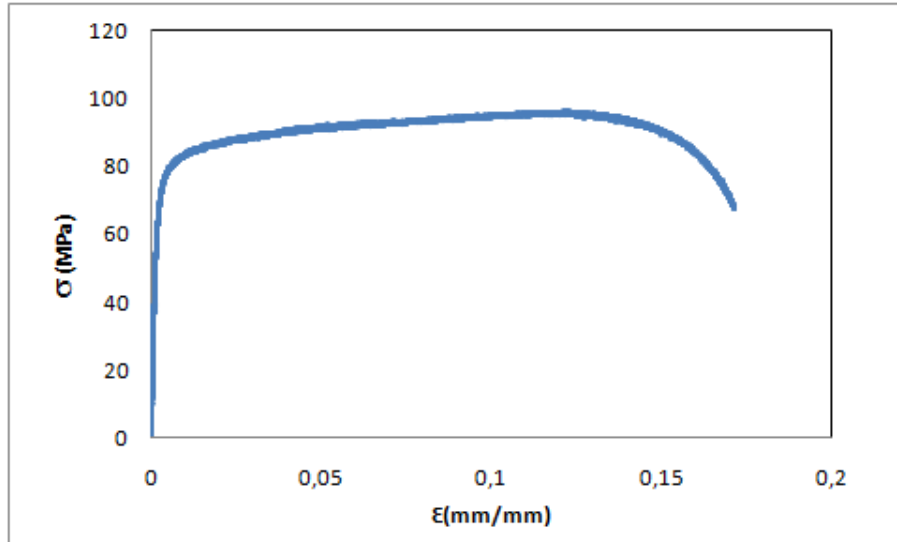


Şekil 3.1. Yapıştırma bağlantısının teknik resmi

Birleştirilecek malzemenin ana ve yama parçalarından AA-5083 alüminyum alaşım malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.1, gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 3.2, ve mekanik özellikleri ise çizelge 3.2’de verilmiştir.

AA-5083 Alüminyum									
Ağırlık(%)	Al	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Cr	Zn	Ti
<b>Minimum</b>	92,55	-	-	-	7	0,1	0,05	-	-
<b>Maximum</b>	95,85	0,4	0,4	0,1	4,9	1	0,25	0,25	0,15

**Çizelge 3.1.** AA-5083 Alüminyumun kimyasal bileşimi(Mısırlı 2011)

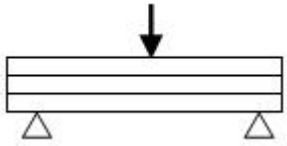
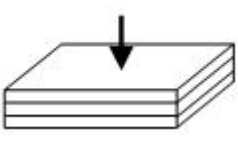
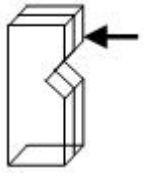




**Şekil 3.2.** AA-5083 Alüminyum gerilme-şekil değiştirme diyagramı(Ergün 2014)

	AA-5083 Alüminyum
Elastisite Modülü	71GPa
Kayma Modülü	26,4GPa
Poisson Oranı	0,33
Akma Dayanımı	78,232MPa
Çekme Dayanımı	95,687MPa

**Çizelge 3.2.** AA-5083Alüminyumun mekanik özellikleri(Ergün 2014)

Yama malzemesi olarak kullanılacak olan cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin (EP GC 201) yoğunluğu  $1,80\text{g/cm}^3$  olup mekaniksel özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

	Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme (EP GC 201)						
	Eğilme Mukavemeti		Elastisite Modülü	Basma Mukavemeti	İzod Darbe Mukavemeti	Kesme Mukavemeti	Çekme Mukavemeti
	<i>Oda Sic.</i>	<i>Yüksek Sic.</i>					
TSEN60893	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	kJ/m <sup>2</sup>	Mpa	Mpa
EP GC 201	400	300	20.000	500	60	55	320
							

**Çizelge 3.3.** Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme (EP GC 201)'in mekaniksel özellikleri (<http://www.izoreel.com.tr>)

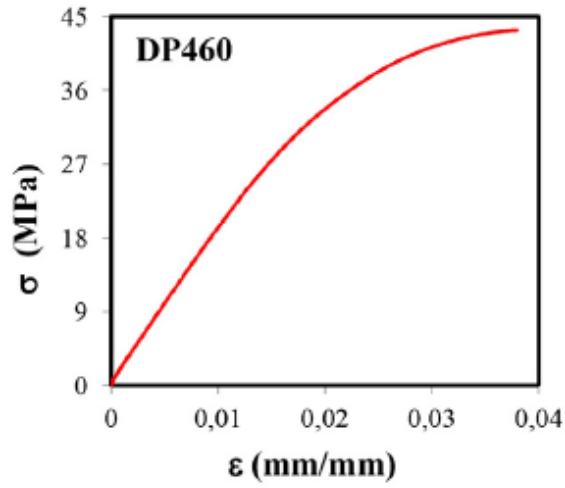
### 3.2. Kullanılan Yapıştırıcı

Sıvı haldeki yapıştırıcılar, bağlantı mukavemetlerinin yüksek oluşu, gerilme dayanımlarının düzgün ve malzeme yüzeyindeki boşlukları doldurma özelliklerinin iyi oluşları nedeniyle yapısal bağlantılarda sıklıkla tercih edilmektedirler. 3M<sup>TM</sup> DP-460 sıvı yapıştırıcısının epoksi ve hızlandırıcı olmak üzere iki adet bileşeni bulunmaktadır. Hacimsel olarak epoksi/hızlandırıcı oranı 2/1 olduğunda yapıştırıcı yüksek mukavemet gösterir. Bu oranın sağlanması amacıyla özel helozoik uçlar kullanılmaktadır (Akpınar 2012). DP-460 yapıştırıcısının kürleşme koşulları, gerilme-şekil değiştirme davranışı ve mekanik özellikleri (Akpınar 2012) sırasıyla Çizelge 3.4, Şekil 3.3, ve Çizelge 3.5'te verilmiştir.



	<b>DP460</b>
Sıcaklık	120 °C
Süre	60 Dakika
Basınç	-

**Çizelge 3.4.** DP-460 yapıştırıcısının kürleşmesi için gerekli sıcaklık, zaman ve basınç değerleri(Akpınar 2012)



**Şekil 3.3.** DP-460'ın gerilme-şekil değiştirme diyagramı(Akpınar 2012)

	<b>DP460</b>
Çekme Dayanımı	44,616 MPa
Elastisite Modülü	2077.1 MPa
Poisson Oranı	0,38

**Çizelge 3.5.** DP-460'ın mekanik özellikleri(Akpınar 2012)

DP-460 yapıştırıcı Şekil 3.4'te ve DP-460 yapıştırıcı malzemesi takılmış sıkma aparatı Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



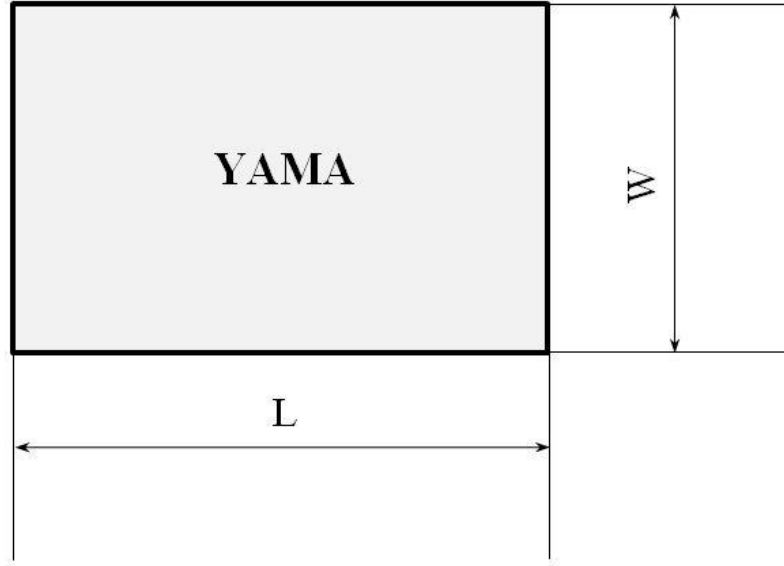
Şekil 3.4. DP-460 yapıştırıcı



Şekil 3.5. DP-460 yapıştırıcı takılmış sıkma aparatı

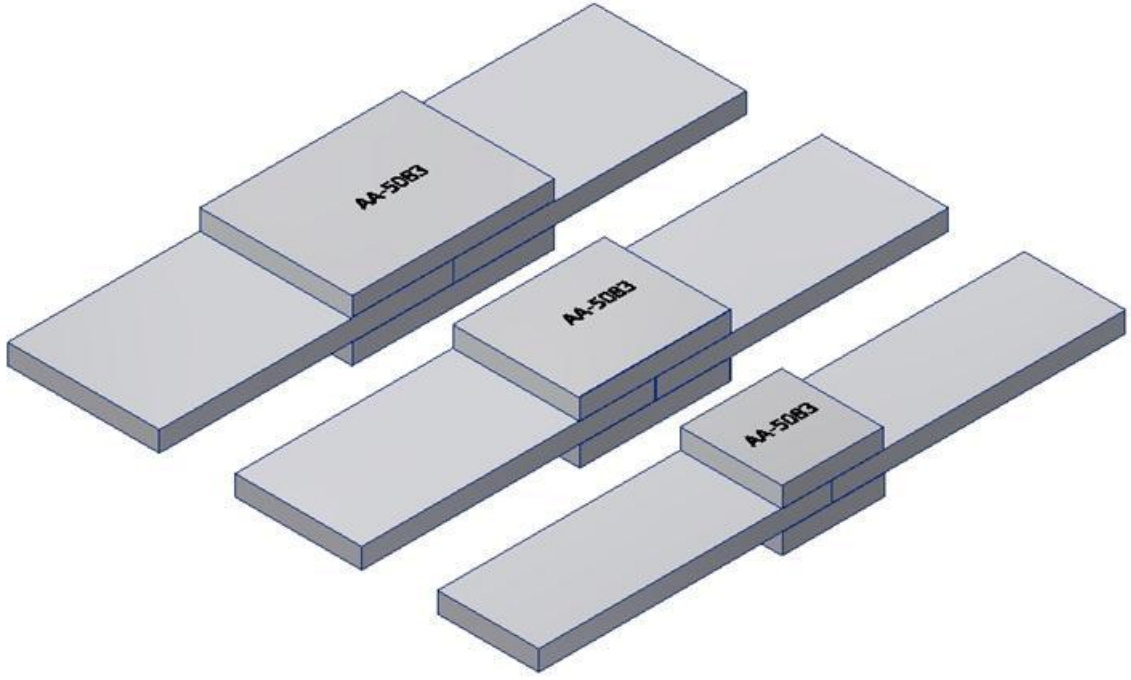
### 3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

İlk önce 4mm kalınlığındaki AA-5083 alüminyum ana parçaları, 25, 30 ve 35 mm genişlik ile 70 mm( $L_1$ ) uzunluğunda kesilmiştir. Daha sonra yama parçalar olarak kullanılacak olan 4 mm kalınlığındaki AA-5083 alüminyum ile Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme(EP GC 201), uzunluğu(L) 20, 30, 40 mm ve genişliği(W) 25, 30, 35 mm olan ebatlarda kesilmişlerdir(Şekil 3.6).

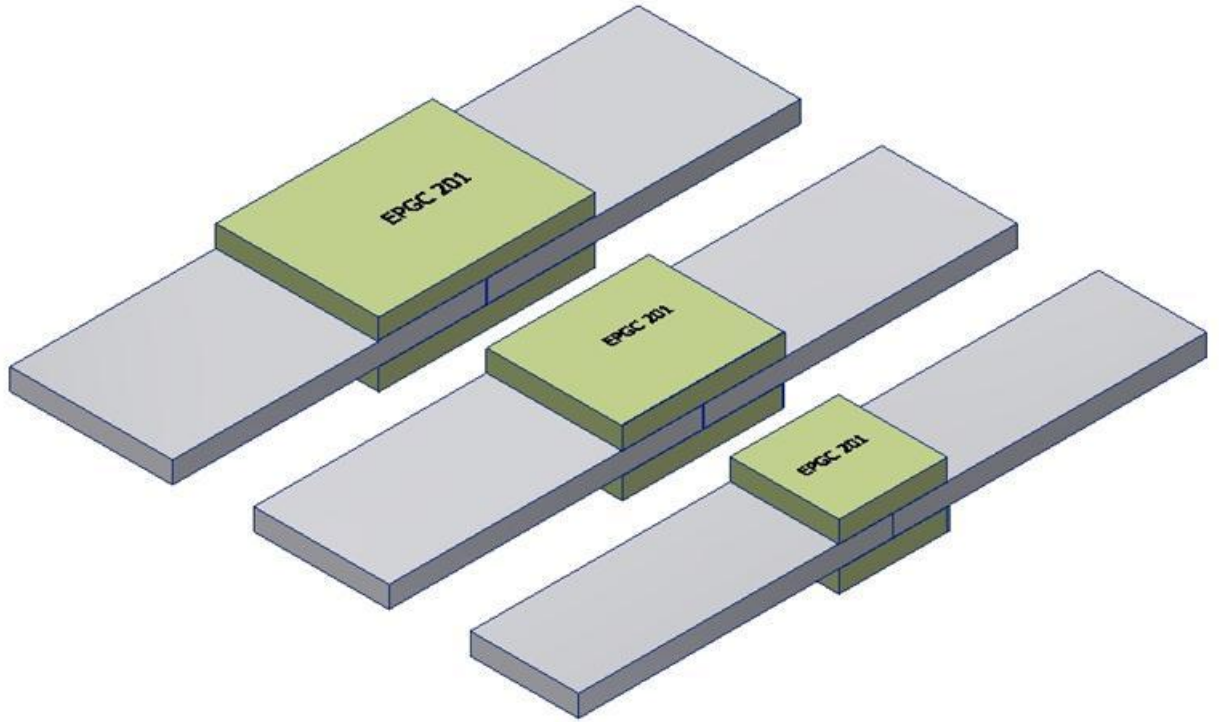


Şekil 3.6. Yama parçalarının boyutlarını gösteren teknik resmi

Yapıştırma bağlantısını yapma işlemine başlanılmadan önce yapıştırılacak malzemeler saf aseton içinde belli bir süre bekletilmiş ve daha sonra çıplak el ile temas edilmeden eldiven vasıtasıyla aseton içinden malzemeler çıkartılmıştır. Daha sonra ilk olarak farklı uzunluk ve genişlikteki AA-5083 alüminyum parçalar ile Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler(EP GC 201), DP-460 yapıştırıcı kullanılarak ince bir tabaka olacak şekilde ıslatıldıktan sonra Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterildiği gibi birleştirilmiştir. Yapıştırılan malzemelerin yüzeylerinin kaymasını engellemek amacıyla bu parçalar (yapıştırıcı belli bir süre içinde kurluşene kadar) düz bir zemin üzerinde bekletilmiş olup daha sonra deney numunelerinin üzerine ağırlıklar konulmuştur. Bu şekilde üç gün boyunca oda sıcaklığında bekletilerek DP-460 yapıştırıcının kurluşmesi sağlanmış ve böylece daha sağlam bağlantılar elde edilmesi amaçlanmıştır.



**Şekil 3.7.** AA-5083 alüminyum ana parçası ile AA-5083 alüminyum yamalı bağlantının katı model resmi



**Şekil 3.8.** AA-5083 alüminyum ana parçası ile cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler(EP GC 201) yamalı bağlantının katı model resmi

### 3.4. Deneysel Hasar Yüklerinin Belirlenmesi

AA-5083 Alüminyum ile Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme (EP GC 201) yamalardan oluşturulan AA-5083 alüminyum bağlantıların çekme deneyleri Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarındaki Bilgisayar Kontrollü SHIMADZU marka niversal test cihazı (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10) kullanılarak yapılmıştır. Her numuneden ikişer adet hazırlanıp testler gerçekleştirilmiş olup numunelerin taşıdıkları maksimum yükler belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Shimadzu marka çekme deneyi test cihazı



**Şekil 3.10.** Shimadzu marka çekme cihazına bağlı deney numunesi



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Bağlantının Deney Öncesi ve Sonrasındaki Fiziksel Durumu

SHIMADZU marka test cihazının kullanıldığı çekme deneyleri oda sıcaklığında ve 1 mm/dk sabit çekme hızında yapılmıştır. Deney sonuçlarının daha doğru elde edilebilmesi amacıyla her bir oryantasyon için ikişer numune test edilip ortalama hasar yükleri bulunmuştur. Şekil 4.1-4.8 arasındaki resimlerde, bazı deney numunelerinin deney öncesi ve deney sonrası durumlarını gösteren resimler verilmiştir.



(a) L=20 mm, W=25 mm



(b) L=30 mm, W=25 mm



(c) L=40 mm, W=25 mm

**Şekil 4.1.** AA-5083 Alüminyum yama ile yamalanmış çekme numunesinin üstten görüşleri (a) L=20 mm, W=25 mm, (b) L=30 mm, W=25 mm, (c) L=40 mm, W=25 mm



(a) L=40 mm



(b) L=30 mm



(c) L=20 mm

**Şekil 4.2.** AA-5083 Alüminyum yama ile yamalanmış çekme numunesinin yandan görünüşleri (a) L=40 mm, (b) L=30 mm, (c) L=20 mm



(a) L=40 mm, W=25 mm



(b) L=30 mm, W=25 mm



(c) L=20 mm, W=25 mm

**Şekil 4.3.** Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme(EP GC 201) yama ile yamalanmış çekme numunesinin üstten görünüşleri (a) L=40 mm, W=25 mm, (b) L=30 mm, W=25mm, (c) L=20 mm, W=25 mm





(a) L=40 mm



(b) L=30 mm



(c) L=20 mm

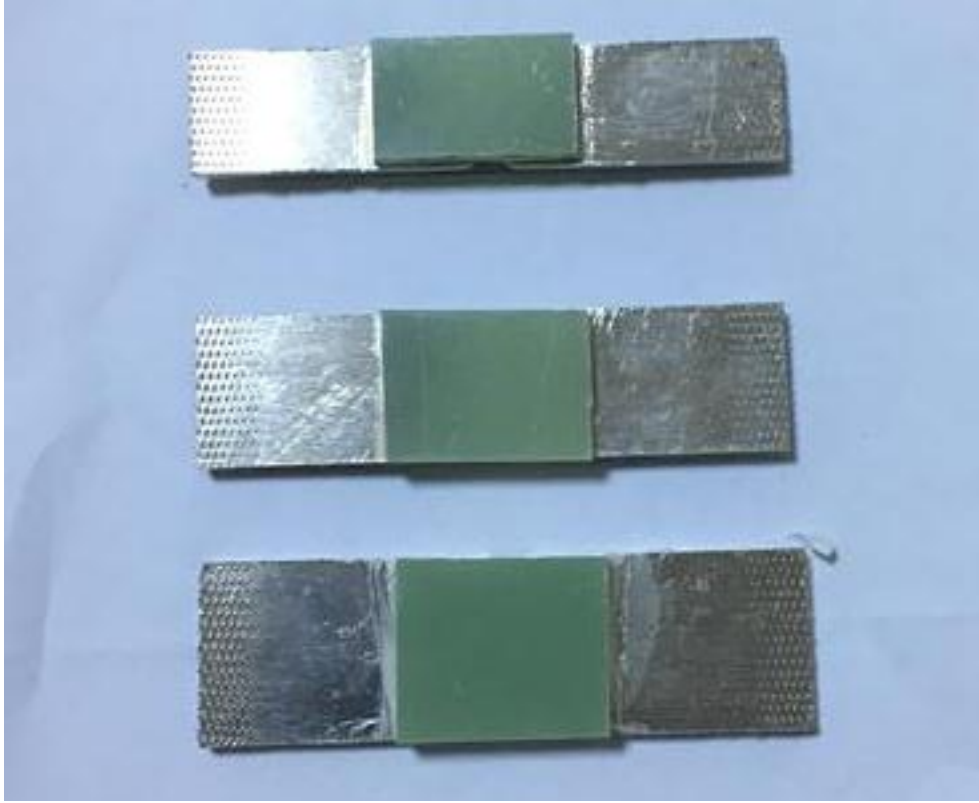
**Şekil 4.4.** Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme(EP GC 201) yama ile yamalanmış çekme numunesinin yandan görüşleri (a) L=40 mm, (b) L=30 mm, (c) L=20 mm



**Şekil 4.5.** AA-5083 Alüminyum yama ile yamalanmış çekme numunesinin çekme deneyi sonrası üstten görüşleri



**Şekil 4.6.** AA-5083 Alüminyum yama ile yamalanmış çekme numunesinin çekme deneyi sonrası yandan görünüşü



**Şekil 4.7.** Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme(EP GC 201) yama ile yamalanmış çekme numunesinin çekme deneyi sonrası üstten görünüşleri



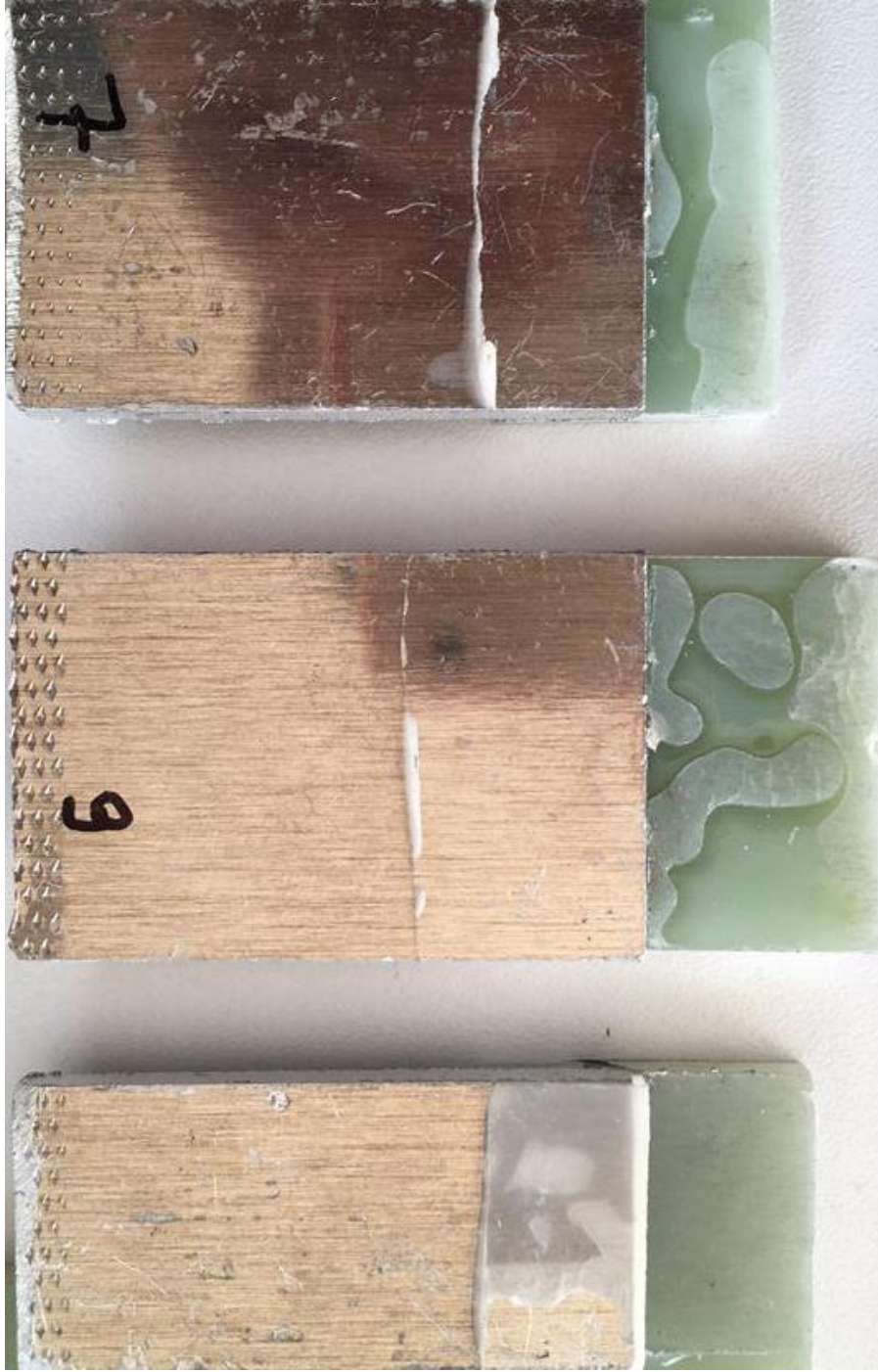
**Şekil 4.8.** Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme(EP GC 201) yama ile yamalanmış çekme numunesinin çekme deneyi sonrası yandan görünüşü

#### 4.1.1. Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasarlar

Yapıştırıcı ile yapıştırılan parçaların ara yüzeyinde gözle görülen bir ayrılmanın olduğu kopma olayına Adezyon Hasarı, bir yapıştırma bağlantısında yapıştırıcı veya yapıştırılan malzemenin gözle görülebilir şekilde hasarın olduğu kopma şekline ise Kohezyon Hasarı denmektedir(ISO 10365, 1992). Bu tanımlamalara göre yapıştırma bağlantılarımızın bazılarında Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterildiği gibi bu hasarların hem AA-5083 Alüminyum ana ve yama parçalarında hem de Kompozit (EP GC 201) yama parçalarında meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.9. AA-5083 Alüminyum ana ve yama numunelerinde oluşan hasarlar



**Şekil 4.10.** Kompozit (EP GC 201) yama numunelerinde oluşan hasarlar

## 4.2. Deneysel Sonuçlar

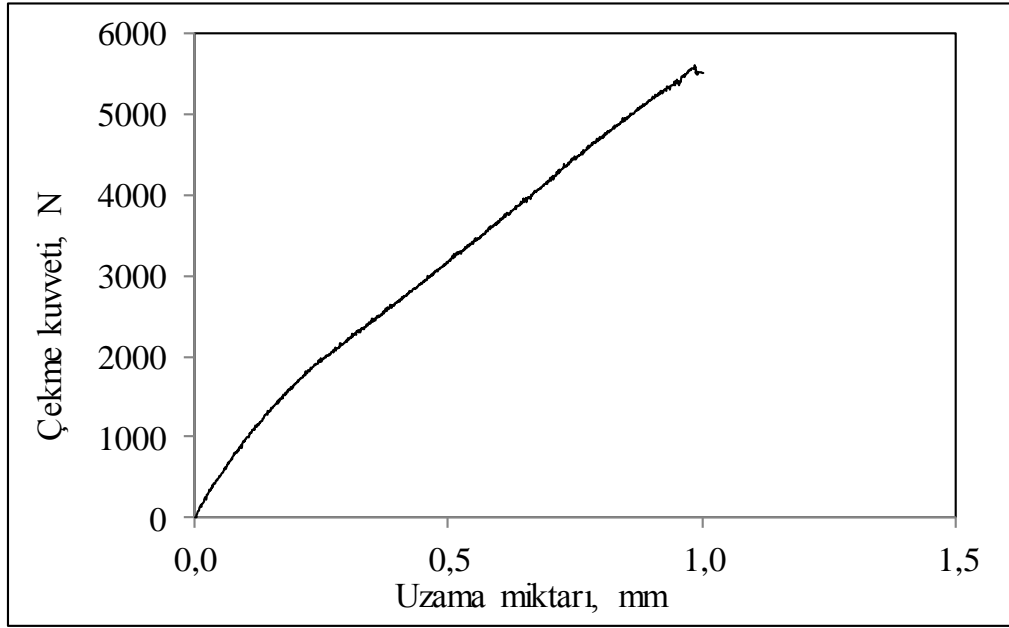
Kalınlığı 4 mm, genişliği(W) 25, 30, 35 mm ve uzunluğu(L<sub>1</sub>) 70 mm olan AA-5083 Alüminyum ana parçalarının, kalınlığı 4 mm, uzunluğu(L) 20, 30, 40 mm ve genişliği(W) 25, 30, 35 mm olan AA-5083 Alüminyum yaması ile Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme(EP GC 201) yamasından, DP-460 yapıştırıcısı yardımıyla oluşan bağlantıların, çekme yükünü belirlemek için L18 ortogonal deney tasarımı kullanılmış ve deney sonuçları izelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** L18 ortogonal deney tasarımı ve deney sonuçları

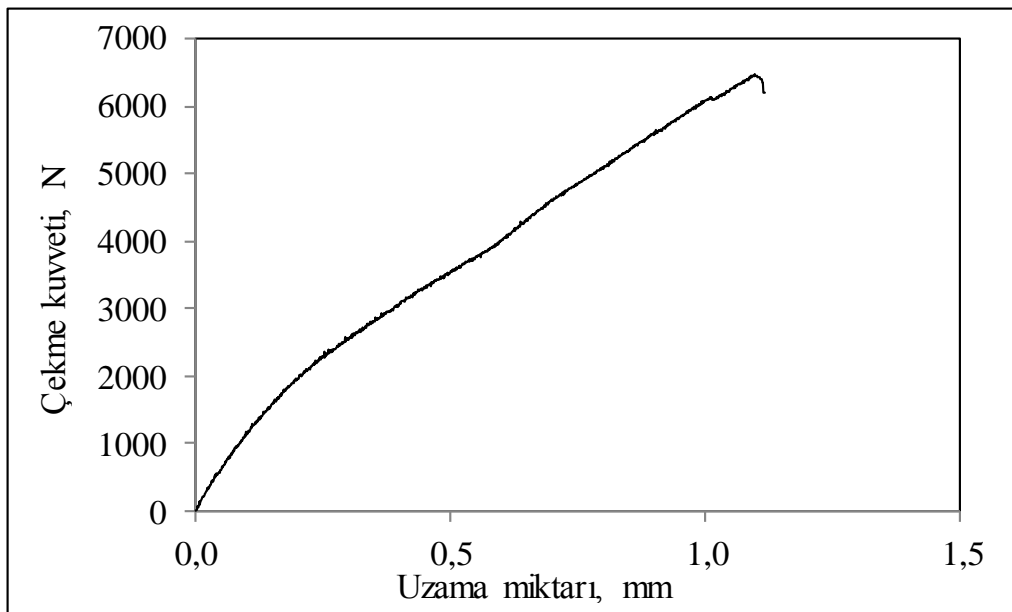
Deney No	Levha Malzemesi	Ek levha Genişliği, W(mm)	Ek levha Boyu, L(mm)	ekme Kuvveti (N)
1	Alüminyum	25	20	5789
2	Alüminyum	25	30	6797
3	Alüminyum	25	40	8278
4	Alüminyum	30	20	6484
5	Alüminyum	30	30	7302
6	Alüminyum	30	40	9437
7	Alüminyum	35	20	7464
8	Alüminyum	35	30	8340
9	Alüminyum	35	40	10613
10	EP GC 201	25	20	6882
11	EP GC 201	25	30	9125
12	EP GC 201	25	40	11820
13	EP GC 201	30	20	7585
14	EP GC 201	30	30	10242
15	EP GC 201	30	40	12398
16	EP GC 201	35	20	8875
17	EP GC 201	35	30	10703
18	EP GC 201	35	40	13687



25 mm genişliğinde ve 20 mm uzunluğundaki AA-5083 Alüminyum yama bağlantısının çekme kuvvetinin uzama miktarı ile değişimi Şekil 4.11’de, 30 mm genişliğinde ve 20 mm uzunluğundaki AA-5083 yama bağlantısının çekme kuvvetinin uzama miktarı ile değişimi Şekil 4.12’de verilmiştir. 20 mm uzunluğunda, 25 mm genişliğindeki numunenin çekme kuvveti 5789 N ve 30 mm genişliğinde, 20 mm uzunluğundaki numunenin çekme kuvveti ise 6484 N olduğu görülmüştür. Bu durum, uzunluğu 20 mm olan yama bağlantılarının, genişlik değeri arttıkça, bağlantı yüzeyindeki yapıştırma alanının artışına bağlı olarak çekme kuvvetinin artışı göstermiştir.

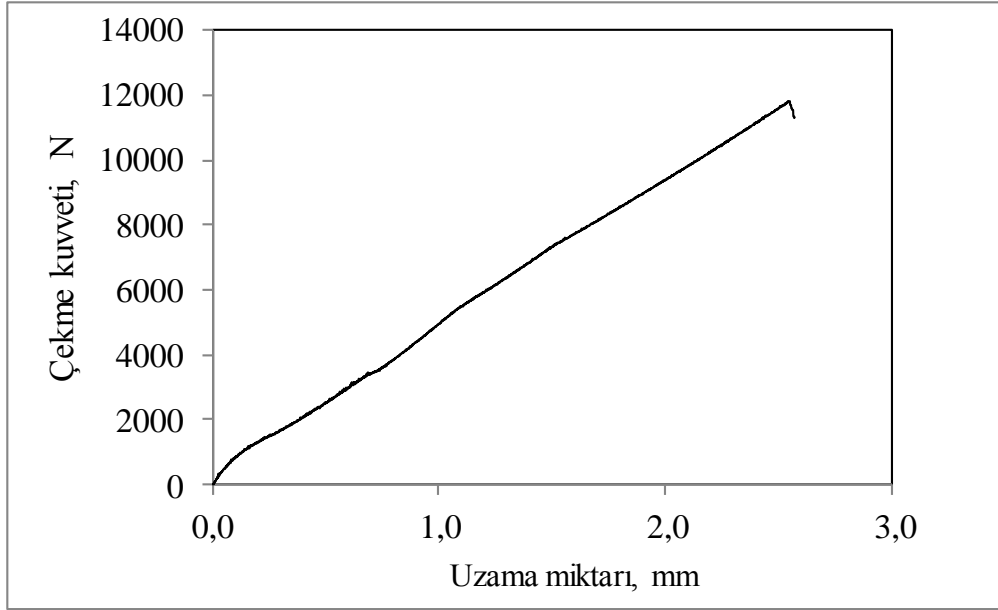


Şekil 4.11. Yama bağlantısının çekme kuvveti diyagramı (W=25 mm, L= 20 mm, Al )

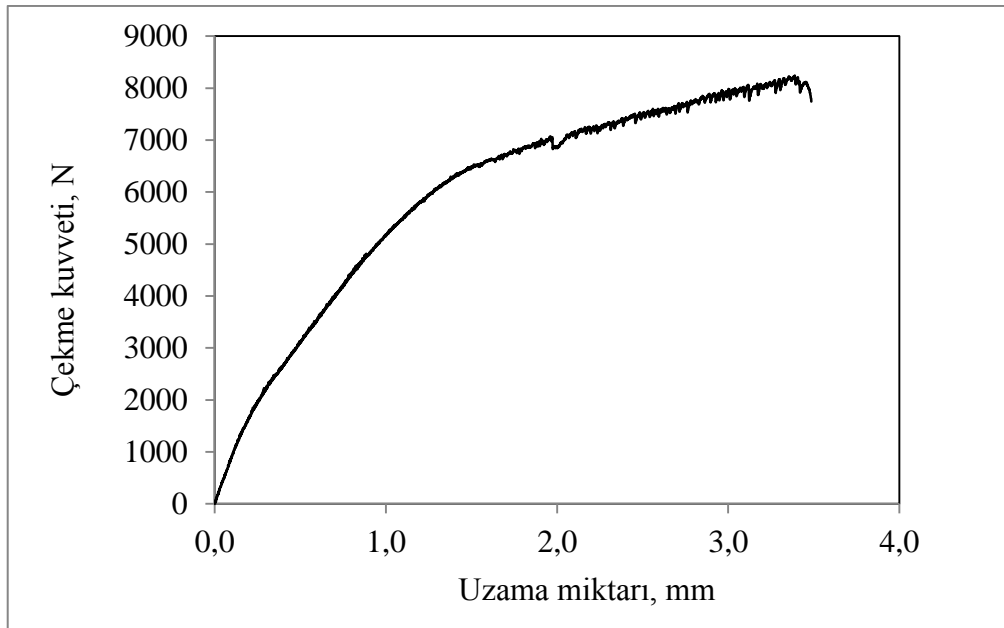


Şekil 4.12. Yama bağlantısının çekme kuvveti diyagramı (W=30 mm, L= 20 mm, Al )

Kompozit (EP GC 201) yama bağlantısının, Şekil 4.13'te, genişliği 25 mm ve uzunluğu 40 mm ile Şekil 4.14'te, genişliği 35 mm ve uzunluğu 20 mm olan numunelerin çekme kuvvet diyagramları verilmiştir. Kompozit (EP GC 201) yamanın genişlik ve uzunluğunun değişimine bağlı olarak, genişlik değeri 25 mm, uzunluğu 40 mm iken çekme kuvvetinin 11820 N ve genişlik değeri 35 mm, uzunluğu 20 mm iken çekme kuvvetinin, yapışma alanının azalmasına bağlı olarak 8875 N'a indiği görülmüştür.

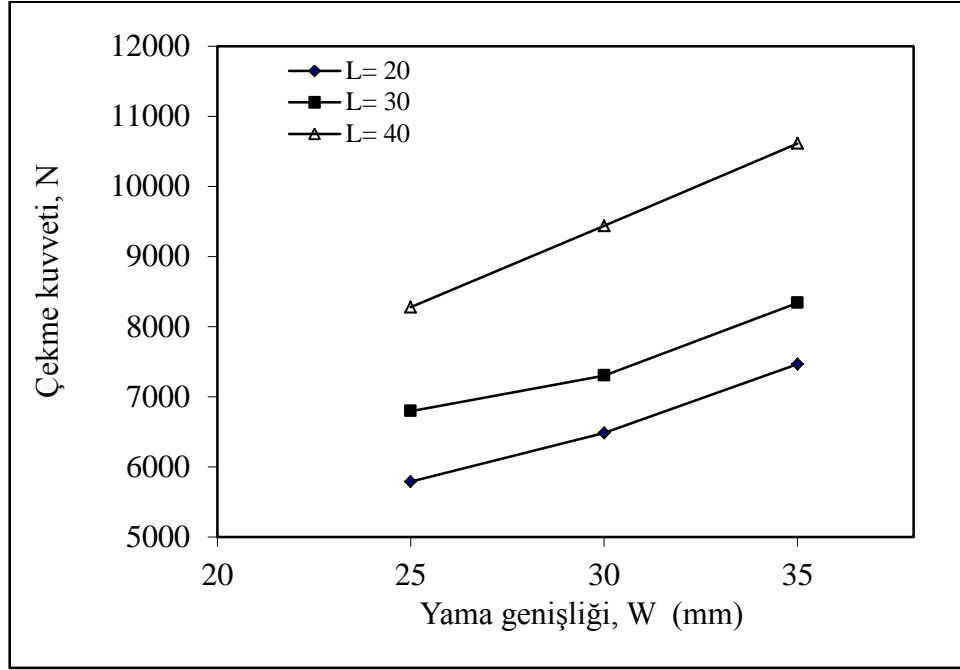


Şekil 4.13. Yama bağlantısının çekme kuvveti diyagramı (W=25 mm, L= 40 mm, EP GC 201)

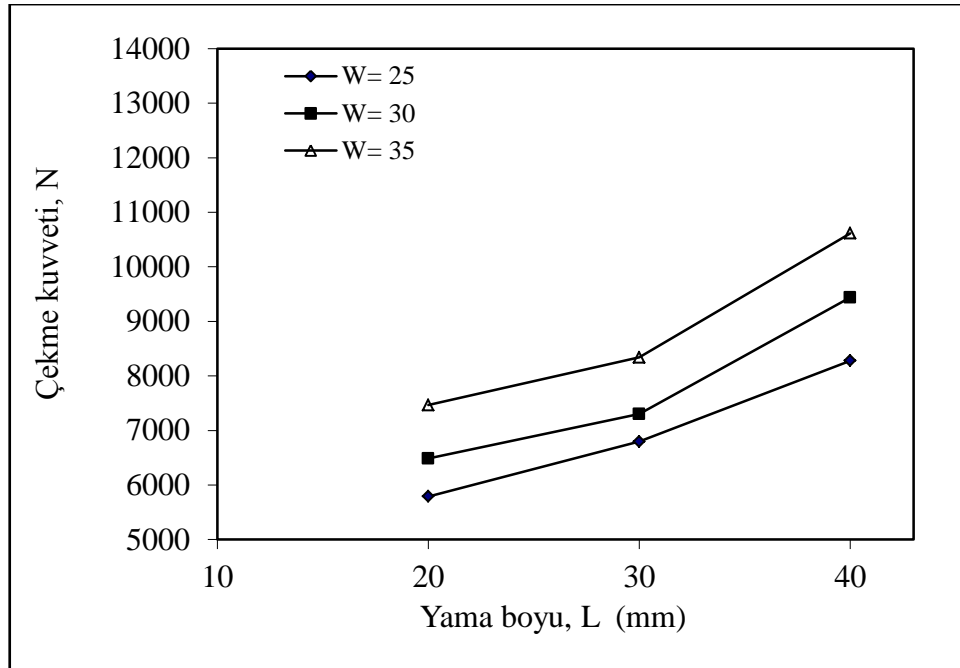


Şekil 4.14. Yama bağlantısının çekme kuvveti diyagramı (W=35 mm, L= 20 mm, EP GC 201)

AA-5083 Alüminyum yama bağlantısının, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da görüldüğü gibi, yama genişliğine ve yama boyuna bağlı olarak, uygulanan çekme kuvveti değerlerinin, uzunluk ve genişlik değerlerinin artışına bağlı olarak daha sağlam bir bağlantı oluşturduğunu göstermektedir.



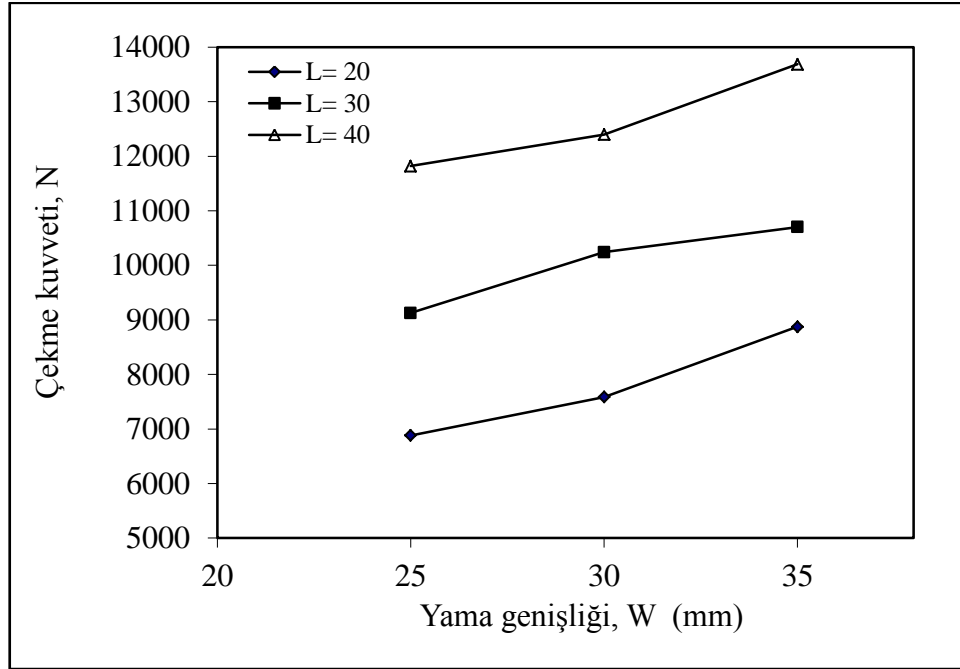
Şekil 4.15. Çekme kuvvetinin yama genişliği ile değişimi grafiği (Alüminyum yama)



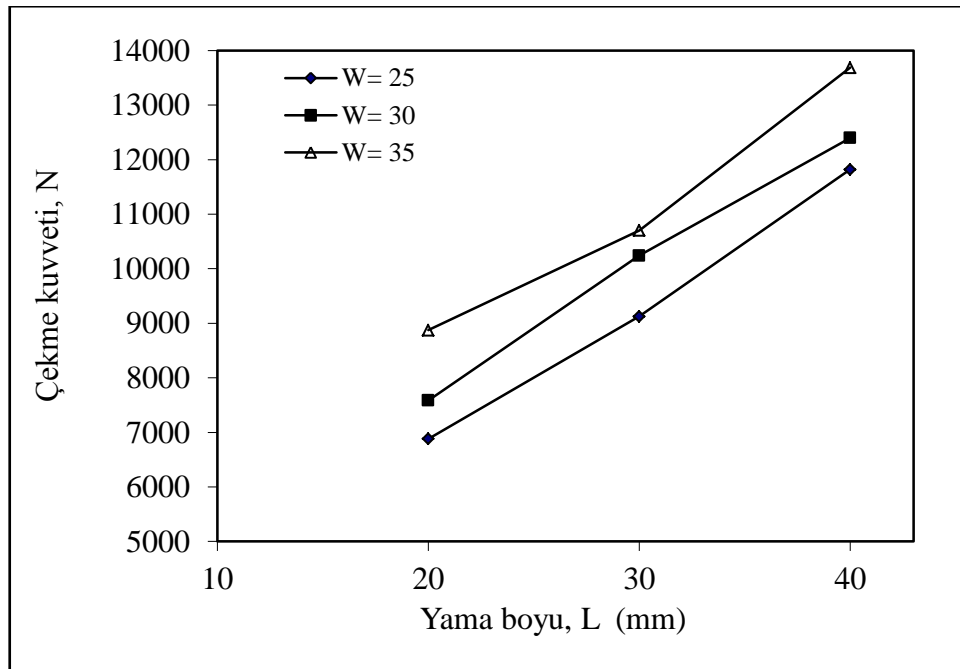
Şekil 4.16. Çekme kuvvetinin yama boyu ile değişimi grafiği (Alüminyum yama)



Kompozit (EP GC 201) yama bağlantısının, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de görüldüğü gibi, yama genişliğine ve yama boyuna bağlı olarak, uygulanan çekme kuvveti değerlerinin, uzunluk ve genişlik değerlerinin artışına bağlı olarak, AA-5083 Alüminyum yama bağlantısıyla aynı ebatlara sahip olmasına rağmen, daha sağlam bir bağlantı oluşturduğunu göstermektedir.

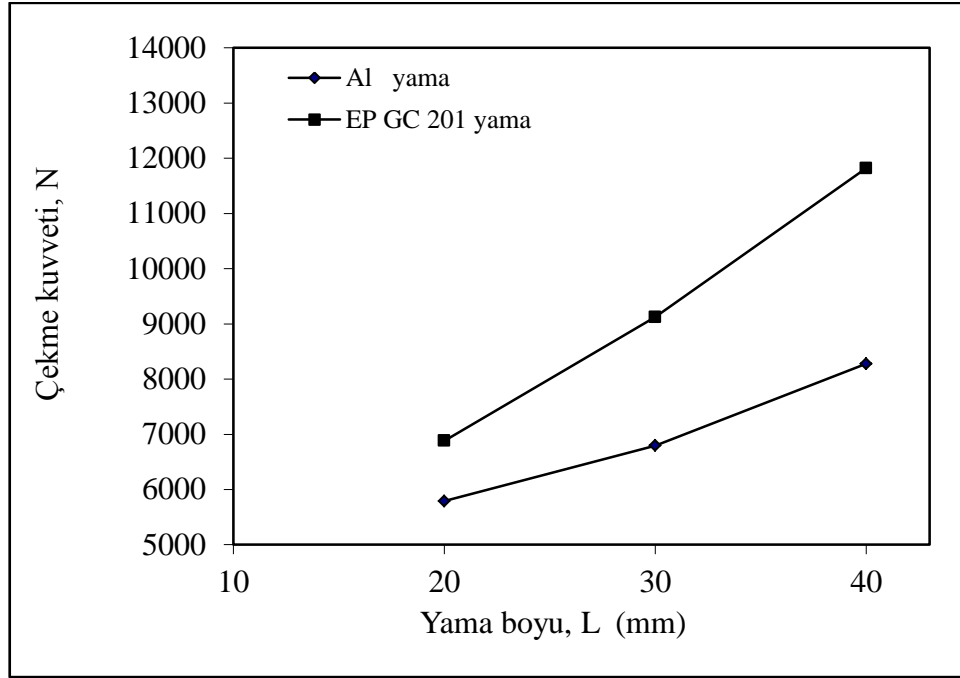


Şekil 4.17. Çekme kuvvetinin yama genişliği ile değişimi grafiği (EP GC 201 yama)

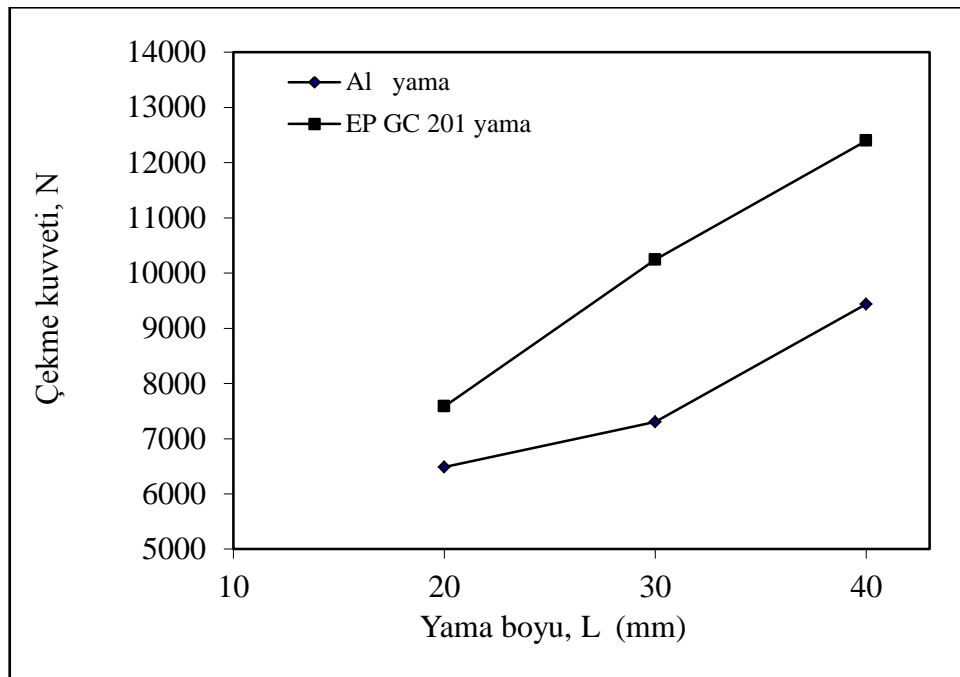


Şekil 4.18. Çekme kuvvetinin yama boyu ile değişimi grafiği (EP GC 201 yama)

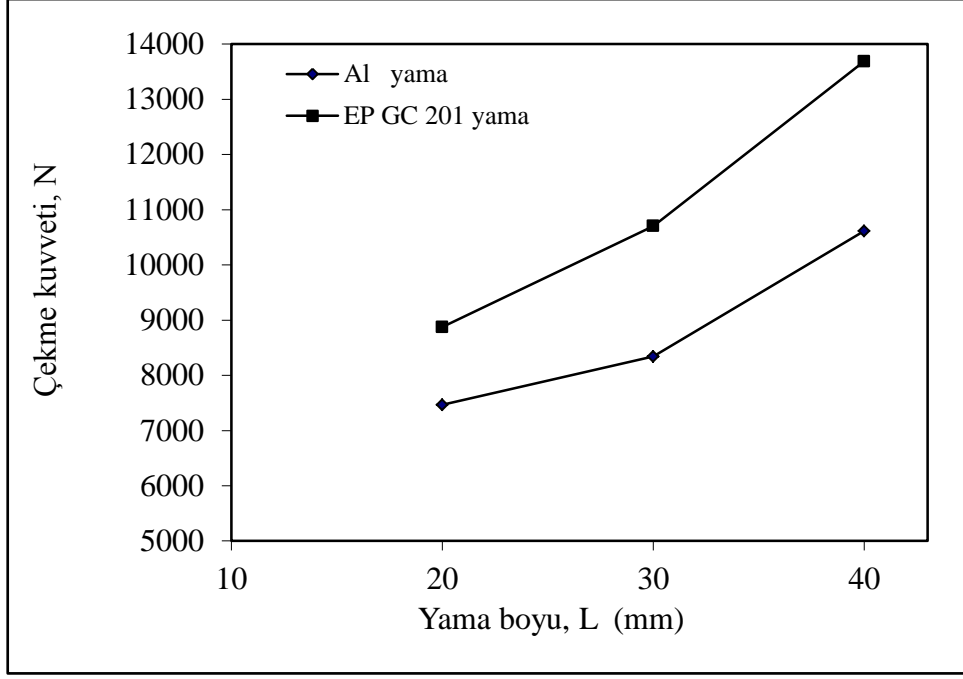
AA-5083 Alüminyum(Al) ile Kompozit (EP GC 201) yamalı deney bağlantılarının, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilen çekme kuvvetlerinin yama malzemesi ile değişimi grafiklerinde de görüldüğü gibi Kompozit (EP GC 201) yamalı bağlantıların çekme kuvveti değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.19. Çekme kuvvetinin yama malzemesi ile değişimi grafiği (W= 25 mm)



Şekil 4.20. Çekme kuvvetinin yama malzemesi ile değişimi grafiği (W= 30 mm)



Şekil 4.21. Çekme kuvvetinin yama malzemesi ile değişimi grafiği (W= 35 mm)

### 4.3. Taguchi Bulguları

Taguchi Yöntemi, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarım ve optimizasyon yöntemidir. Bu yöntem, kalite güvence sistemleri ve deney sonuçlarının iyileştirilmesi için deneylerden elde edilen verilerin istatistiksel analizinde kullanılmaktadır. Taguchi'nin deney tasarım yöntemi, farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptamak adına oldukça yararlı bir yöntemdir (Güral 2003). AA-5083 alaşımının AA-5083 ve EP GC 201 yama malzemesi kullanılarak çift takviyeli bindirme ile yapıştırma işlemi Taguchi L18 ortogonal deney tasarımı kullanılarak elde edilen çekme kuvveti deney sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Yama bağlantısının çekme kuvveti üzerinde her bir kontrol faktörünün etkisini analiz etmek amacıyla S/N yanıt tablosu kullanılmıştır. Burada çekme kuvvetinin büyük olması amaçlandığından "en büyük en iyi" fonksiyonu (3.3 eşitliği) kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de L18 ortogonal deney tasarımı uygulanarak elde edilen deney sonuçlarından faydalanılarak çekme kuvveti için sinyal/gürültü oranı (S/N) hesaplanmış ve ortalama S/N cevap tablosu Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te sırasıyla verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Çekme kuvveti için S/N cevap tablosu

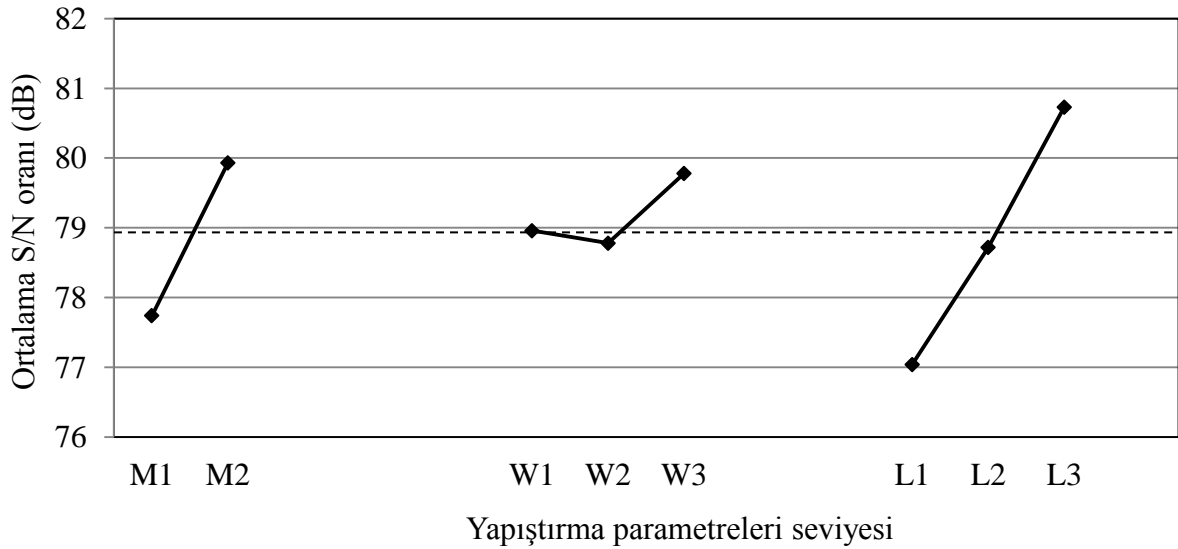
Deney No.	Levha Malzemesi, M	Ek Levha Genişliği, W(mm)	Ek Levha Boyu, L(mm)	S/N (dB)
1	Alüminyum	25	20	75,25
2	Alüminyum	25	30	76,65
3	Alüminyum	25	40	78,36
4	Alüminyum	30	20	76,24
5	Alüminyum	30	30	77,27
6	Alüminyum	30	40	79,50
7	Alüminyum	35	20	77,46
8	Alüminyum	35	30	78,42
9	Alüminyum	35	40	80,52
10	EP GC 201	25	20	76,75
11	EP GC 201	25	30	79,20
12	EP GC 201	25	40	81,45
13	EP GC 201	30	20	77,60
14	EP GC 201	30	30	80,21
15	EP GC 201	30	40	81,87
16	EP GC 201	35	20	78,96
17	EP GC 201	35	30	80,59
18	EP GC 201	35	40	82,73

**Çizelge 4.3.** Çekme kuvveti için ortalama S/N cevap tablosu

Sembol	Yapıştırma Parametreleri	Ortalama S/N oranı (dB)		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
M	Yama malzemesi	77.74	<b>79.93</b>	-
W	Yama genişliği	78.96	78.78	<b>79.78</b>
L	Yama boyu	77.04	78.72	<b>80.73</b>

Toplam ortalama S/N oranı (dB)=78.96

Çizelge 4.3'den faydalanılarak AA-5083 alaşımının yama bağlantısı üzerine etki eden yama malzemesi, yama genişliği ve yama boyu gibi parametrelerden hangisinin daha etkin olduğu belirlenebilir. Etkin parametreler belirlenirken seviyelere karşılık gelen değerler bir grafik üzerinde gösterilebilir. Yama bağlantısının çekme kuvveti üzerine etki eden etkin parametreler Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.22.** Çekme kuvveti için S/N grafiği

Taguchi tekniği kullanılarak oluşturulan bu tablo (Çizelge 4.3) optimum çekme kuvveti değerleri için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini göstermektedir. Çizelge 4.3'te verilen kontrol faktörlerinin seviye değerleri Şekil 4.22'deki grafikte gösterilmiştir. Kontrol faktörleri için en iyi seviye o kontrol faktörünün tüm seviyeleri içerisindeki en büyük S/N oranına göre bulunmuştur. Buna göre en iyi değerini veren faktörlere ait

seviyeler ve S/N oranları, faktör M (Seviye 2, S/N=79.93), faktör W (Seviye 3, S/N=79.78) ve faktör L (Level 3, S/N= 80.73) olarak belirlenmiştir. Maksimum çekme kuvveti değeri EP GC 201 (M1) yama malzemesinde, 35 mm yama genişliğinde (W3) ve 40 mm yama boyu (L3) ile elde edilmiştir.

Deney tasarımında kullanılan yapıştırma parametrelerinin çekme kuvveti üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Varyans analizinde hedeflenen, incelenen faktörlerin, kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktı değerini (çekme kuvvetini) ne ölçüde etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe yol açtıklarını ortaya koyabilmektir. Bunun yanı sıra elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir(Savaşkan ve ark., 2004). Çekme kuvveti için %95 güven aralığında gerçekleştirilen ANOVA sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelgede yer alan katkı oranları yapıştırma parametrelerinin çekme kuvveti üzerindeki önem derecesini göstermektedir. Katkı oranlarının hesaplanmasında F değeri kullanılmıştır.

**Çizelge 4.4.** Yapıştırma parametreleri için oluşturulan ANOVA tablosu

	<i>KT<sup>a</sup></i>	<i>SD<sup>b</sup></i>	<i>KO<sup>c</sup></i>	<i>F Değeri</i>	<i>Prop&gt;F</i>	<i>Katkı %</i>
Model	7.4E+007	5	1.58E+007	53.94	<0.0001	Önemli
M	2.4E+007	1	2.40E+007	81.77	<0.0001	29.03
W	1,01E+007	2	5.06E+006	17.21	0.0003	12.22
L	4.52E+007	2	2.26E+007	76.76	<0.0001	54.50
Hata payı						4.25
	<b>R<sup>2</sup>=0.9574</b>			<b>Toplam:</b>		<b>100.0</b>

<sup>a</sup> KT- Karelerin toplamı

<sup>b</sup> SD- Serbestlik derecesi

<sup>c</sup> KO- Karelerin ortalaması

ANOVA'da ilgili parametrenin anlamlılığı ona tekabül eden F değerinin, P (önem/olasılık) değeri ile karşılaştırılması ile belirlenir. Eğer parametreye ait F değeri büyük ise parametre anlamlı kabul edilmektedir. Çizelge 4.4'ten, yapıştırma bağlantısı için oluşturulan modelin anlamlı (F= 53,94) olduğu görülmektedir. Çekme kuvveti üzerinde en etkili parametre % 54,50 katkı oranı ile yama boyunu (parametre L) olmuştur. Çekme kuvveti üzerine etki eden ikinci parametre %29,03 katkı oranı ile yama malzemesi

(parametre M) ve üçüncü parametre ise %12,22 katkı oranı ile yama genişliği (parametre W) olmuştur. ANOVA analizinden, AA-5083 malzemesinin yapııştırma bağlantısının çekme kuvveti için en az öneme sahip parametrenin yama genişliği olduğu görülmektedir.

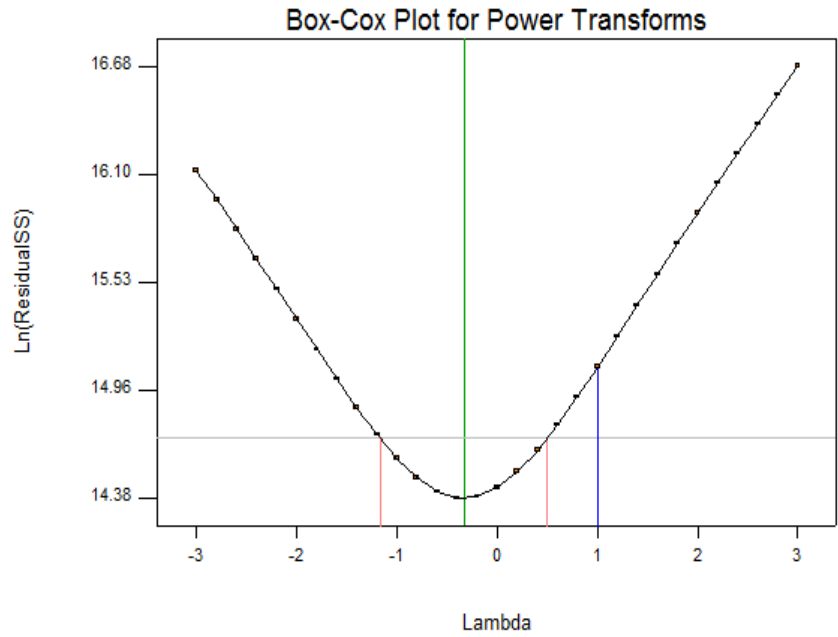
Deney tasarımı yapılırken ilk olarak deneyin normal dağılım varsayımına uyup uymadığı kontrol edilir (Montgomery 2001). Bu sebeple, öncelikle Şekil 4.23'deki Box-Cox grafiğinde mevcut  $\lambda$  değerinin alt ve üst kontrol limitlerinin arasına düşmesi ve en iyi  $\lambda$  değerine yakınsaması beklenmektedir (Gever ve ark. 2014).

Deneyde elde edilen sonuç değerlerinin maksimum değerle minimum değere oranı 10 kattan daha fazla ise dönüşüm gereklidir. Modelin çıktı değerlerinin en düşüğü 5789, en yükseği ise 13687'dir. Aralarındaki oran 2,36'dır.

DESIGN-EXPERT Plot  
Response 1

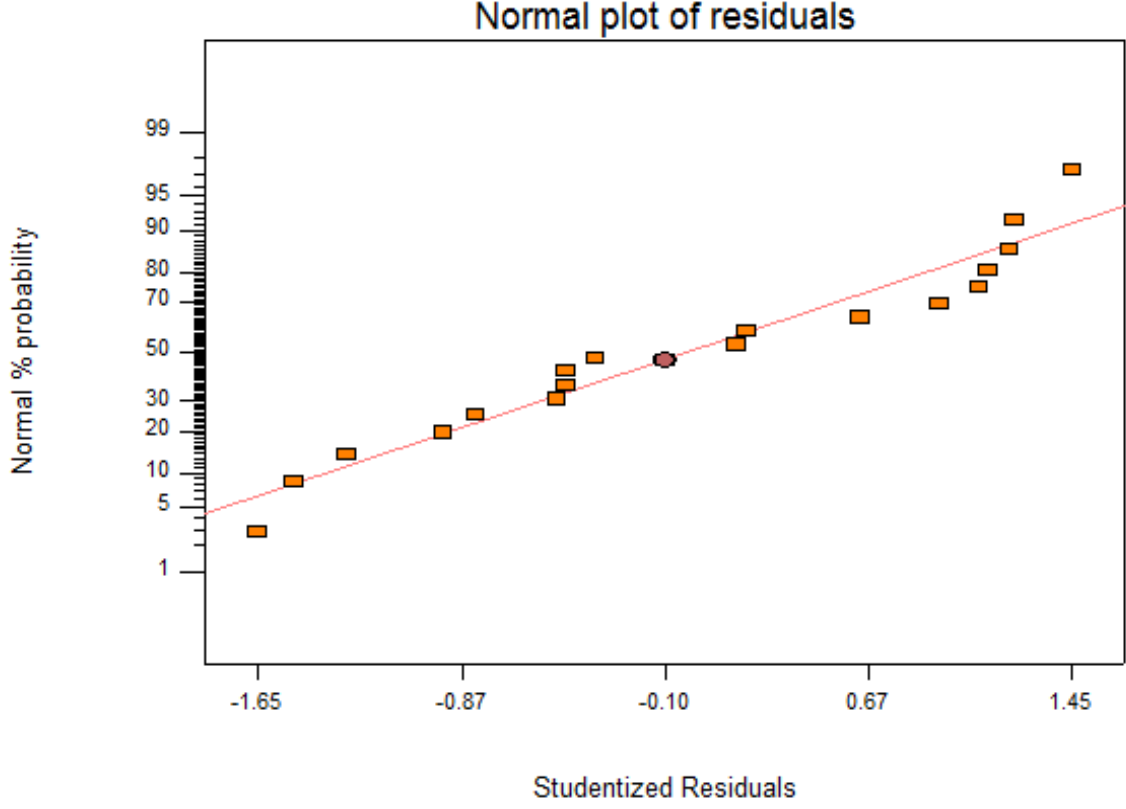
Lambda  
Current = 1  
Best = -0.33  
Low C.I. = -1.17  
High C.I. = 0.5

Recommend transform:  
Inverse Square Root  
(Lambda = -0.5)



Şekil 4.23. Verilerin dağılım grafiği

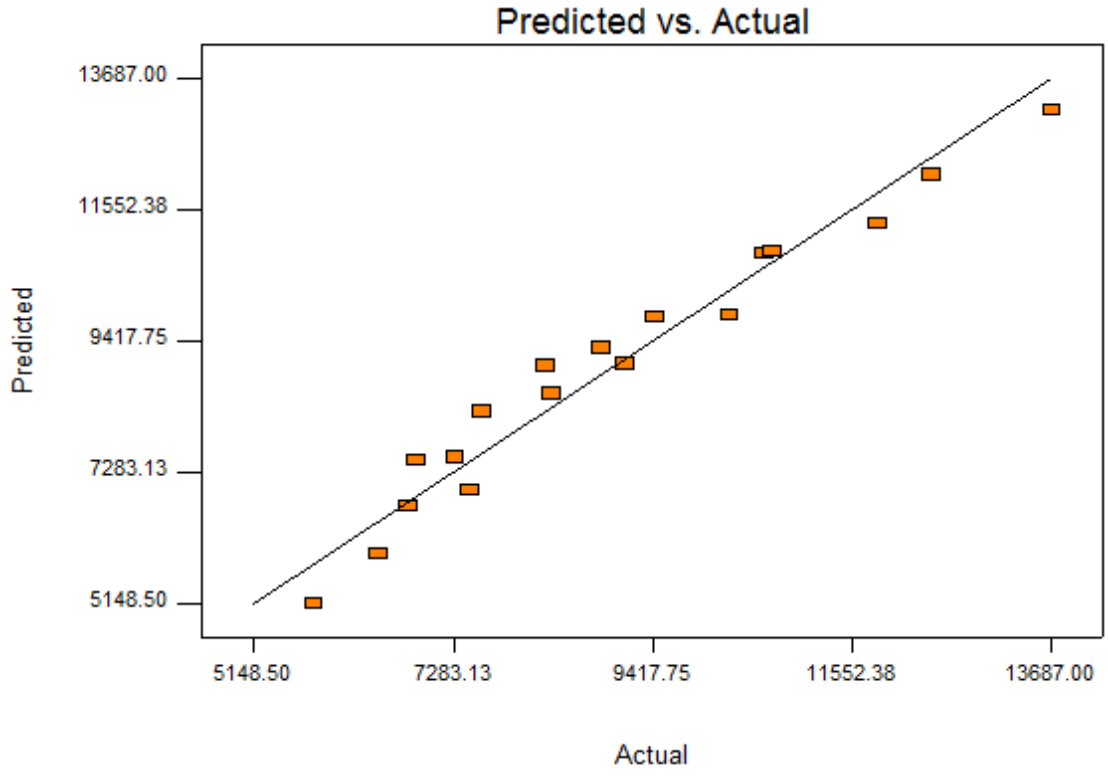
Şekil 4.24 artıkların normallik grafiği (Normal Plot of Residuals) grafiğini verir. Bu modeldeki artıkların dağılımını gösterir. Modelin iyi ve öngörü amaçlı kullanılabilir olduğunu görmek için kullanılır(Montgomery 2001). Artıklar, gerçek değerler ile tahmin edilenler arasındaki farktan yararlanılarak oluşturulur. Eğer hatalar normal dağılmışlarsa, bu noktalar yaklaşık olarak bir doğru üzerine düşer.



**Şekil 4.24.** Artıkların normal dağılımı grafiği

Deney sonuçlarının tahmin edilen değerlerine kıyaslandığı grafik “Gerçek-Tahmin (Actual vs. Predicted)” grafiğidir. Model tarafından kolaylıkla tahmin edilemeyen değerlerin belirlenmesi açısından faydalıdır (Montgomery 2001). Şekil 4.25’te verilen grafikte noktalar, düz çizgi etrafında yakın bir şekilde dağılmışlardır. Bu durum, gerçek değerlerle beklenen değerlerin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Yani, “Gerçek - Tahmin” grafiğinde çıktı değerleri model tarafından kolaylıkla tahmin edilebilmiştir (Montgomery 2001).





Şekil 4.25. Gerçek ve tahmin edilen çıktı değerlerinin karşılaştırması

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, DP-460 yapıştırıcı kullanılarak çift takviyeli birleştirilmiş AA-5083 alüminyum parçalarının çekme kuvveti üzerine takviye parçası malzemesinin, bindirme boyunun ve yama eninin etkisini tespit etmek amacıyla, iki farklı yama malzemesi (AA-5083 ve EP GC 201 cam elyaf kompozit), üç farklı bindirme boyu ve üç farklı yapıştırma genişliğinde birleştirilmiş numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numuneler aksenal çekme deneylerine maruz bırakılarak her bir bağlantının çekme kuvveti tespit edilmiştir. Çekme deneyinden elde edilen veriler daha sonra Taguchi Metodu ve ANOVA analizi kullanılarak maksimum çekme kuvvetini veren optimum yapıştırma parametreleri bulunmuş, sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

-Yama bindirme boyunun etkisi: AA-5083 ve EP GC 201 yama bağlantısının bindirme boyu arttığında çekme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir. Aynı yama genişliğinde (25 mm) AA- 5083 yama malzemesinin bindirme boyu 20 mm’de çekme kuvveti 5789 N iken yama boyunun 30 mm ve 40 mm’ye artması ile elde edilen çekme kuvvetleri sırasıyla 6797 N ve 8278 N olmuştur. Benzer durum farklı yama genişliklerindedey aynı olmuştur. EP GC 201 yama malzemesinin kullanıldığı yama bağlantısının bindirme boyu arttığında çekme kuvvetinin arttığı görülmüştür. Aynı yama genişliğinde yama bindirme boyunun 20 mm’den 40 mm’ye çıkarılması ile çekme kuvvetleri 6882 N’den 11820 N’a çıkmıştır.

-Yama bindirme genişliğinin etkisi: hem AA-5083 hem de EP GC 201 kompozit yama malzemesinde yama bindirme genişliğinin artması ile yapıştırma bağlantısının çekme kuvveti artmıştır. 40mm yama bindirme boyunda yama genişliği 25 mm’den 35 mm’ye çıkarıldığında AA-5083 yama malzemesinin çekme kuvveti 8278 N’dan 10613 N’a, EP GC 201 kompozit yama malzemesinin çekme kuvveti 11820 N’dan 13687 N’a çıkmıştır.

-Yama malzemesinin etkisi: aynı bindirme boyu ve genişliğinde EP GC 201 kompozit yama malzemesinden elde edilen çekme kuvveti AA-5083 yama malzemesinden elde edilenden daha büyük çıkmıştır.

-AA-5083 alaşımının, AA-5083 ve kompozit EP GC 201 yama malzemesi kullanılarak çift takviyeli bindirme ile yapıştırma işlemi Taguchi L18 ortogonal deney tasarımı kullanılarak çekme kuvveti deney sonuçları elde edilmiştir.

-Kontrol faktörleri için en iyi seviye o kontrol faktörünün tüm seviyeleri içerisindeki en büyük S/N oranına göre bulunmuştur. Buna göre en iyi değerini veren faktörlere ait seviyeler ve S/N oranları, faktör M (Seviye 2, S/N=79.93), faktör W (Seviye 3, S/N=79.78) ve faktör L (Level 3, S/N= 80.73) olarak belirlenmiştir. Maksimum çekme kuvveti değeri EP GC 201 (M2) yama malzemesinde, 35 mm yama genişliğinde (W3) ve 40mm yama boyu (L3) ile elde edilmiştir.

-ANOVA analizinden, yapıştırma bağlantısının çekme kuvveti üzerinde en etkili parametre % 54,50 katkı oranı ile yama boyunu (parametre L) olmuştur. Çekme kuvveti üzerine etki eden ikinci parametre %29,03 katkı oranı ile yama malzemesi (parametre M) ve üçüncü parametre ise %12,22 katkı oranı ile yama genişliği (parametre W) olmuştur.

Sonuç olarak, yapıştırma bağlantılarında çekme kuvvetinin analizi ve optimizasyonu için Taguchi metodunun sistematik, sade ve verimli bir yöntem olduğu söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- Adams, R.D. ve Wake, W.C., 1984. Structural adhesive joints. Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Akpınar, S., 2008. Kaymaya Maruz Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Akpınar, S., 2012. Yapıştırıcıyla Birleştirilmiş T-Bağlantılarda Üç Boyutlu Gerilme Analizi. Doktora Tezi. Erzurum Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. s30,138.
- Aydın, M.D., Temiz, Ş., Özel, A., 2004. Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlendiği Deneysel Yöntemler. *Mühendis ve Makine* Cilt 45, Sayı 536.
- Aydın, M.D., Temiz, Ş., Özel, A., 2007. Yapıştırma Bağlantılarının Dayanımı üzerine Kürleşme Basıncının Etkisi, Proceedings of 8th International Fracture Conference.
- Aydın, S., Solmaz, M.Y., Turgut, A., 2011. Epoksi ve Akrilik Bazlı Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey*.
- Budynas, R.G. ve Nisbett, J. K., 2015. Shigley'den Makine Mühendisliğinde Tasarım, Çeviri editörleri, Sevil Ergür ve Yaşar Pancar, Literatür Yayıncılık.
- Campilho, R.D.S.G., deMoura M.F.S.F., Ramantani D.A., Morais J.J.L., Dominues, J.J.M.S., 2010. Buckling strength of adhesively-bonded single and double-strap repairs on carbon-epoxy structures. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 29, 678-686.
- Cowdrey, S., Ferguson, C., Lennox, A.F., Mauro, P., Neummayer, R., Orme, B., Müller, M., 1998. *Loctite Worldwide Design Handbook*, Germany.
- Çitil, Ş., 2010. Kapakları Gömülü Çift Takviyeli Yapıştırma bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Da Silva, L. F. M., Marques, E. A. S. 2008. Joint Strength Optimization of Adhesively Bonded Patches, *J. Adhesion* 84, 915–934,.
- Demirgen, T., 2007. Metal Yapıştırma Bağlantı Performansının Bilgisayar Destekli Modelleme ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Ergün, R.K., 2014. Eliptik Delikli Alüminyum Levhaların Kompozit Yama İle Tamir Edilmesinin Gerilme Davranışına Etkisinin Deneysel ve Sayısal Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.

- Fawzia S, Al-Mahaidi R, Zhao XL, 2006. Experimental and finite element analysis of a double strap joint between steel plates and normal modulus CFRP, *Composite Structures*, 75, 156–162.
- Fekirini H., Bachir Bouiadjra B., Belhouari M., Boutabout B., Serier B., 2007. Numerical analysis of the performances of bonded composite repair with two adhesive bands in aircraft structures. *Composite Structures* 82, 84–89.
- Gever, B., Güneş, B.N., Gülel, D., Ataseven, E.B., Saatçioğlu, Ö., Bebek, Z.S., 2014. “Bir Üretim İşletmesinin Verileri Kullanılarak Çarpımsal Deney Tasarımı İle Taguchi Yaklaşımının Karşılaştırılması”, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Cilt: 26 Sayı: 1 Sayfa: (2-26)
- Gökçe, B., Taşgetiren, S., 2009. “Kalite İçin Deney Tasarımı”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 6, No: 1, (71-83)
- Güral, G. 2003. “Gazaltı Kaynağında Proses Parametrelerinin Optimizasyonu” Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- ISO 10365, 1992. Adhesives - Designation of main failure patterns.
- Jennings, C.W., 1972. *Journal of Adhesion* 4,25.
- Kayacan, R., 1988. Yapıştırma ve metal bağlantılar için yapıştırıcı kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Kinloch, A.J., 1980. *Journal of Materials Science*, 15, 2141-2151.
- Koç, E., 2013. *Makina Elemanları Kitabı*, Cilt-I, 5. Baskı, s169-172.
- Lee, H.K., Pyo, S.H., Kim, B.R., 2009. On joint strengths, Peel Stresses and Failure Modes in Adhesively Bonded Double-Strap and Supported Single-Lap GFRP Joints, *Composite Structures* 87, 44-54.
- McBain, J.W., and Hopkins, D.G., 1925. *Journal of Physical Chemistry*, 29, 188.
- Mısırlı, C., 2011. Homojenize Edilerek Sertlik Değerlerinin ve Mikro Yapılarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Mittal, K.L., 1976. *Journal of Vacuum Science and Technology* 13, 19.
- Montgomery, D.C. 2001. “Design and Analysis of Experiments,” Editor: Montgomery, D., *Introduction to Statistical Quality Control*, John Wiley & Sons Inc, New York.
- Nemes, O., Lachaud F., 2010. Double-lap adhesive bonded-joints assemblies modeling, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 30, pp. 288–297.
- Özel, A., Aydın, M.D. ve Temiz, Ş., 2004. The effects of overlap length and adherent thickness on the strength of adhesively bonded joints subjected to bending moment, *J. Adhesion Sci. Technology*, vol 18(3), 313-325.
- Öztop, M., 2007. Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi ile Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

- Ross, P.J., 1995. "Taguchi Techniques for Quality Engineering" McGraw-Hill Professional; 2 edition
- Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen, M., 2004. "Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu", itüdergisi/d- mühendislik, Cilt:3, Sayı:6, 117-128, Aralık
- Shahin,K., Taheri, F.(2007). Analysis of Deformations and Stresses in Balanced and Unbalanced Adhesively Bonded Single-strap joints. Composite Structures 81, 511–524.
- Sharpe, L.H.,and Schonhorn , H.,1963. Chemical Engineering News,15,67.
- Solmaz, M.Y., 2008. Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları, Doktora Tezi, Elazığ.
- Skinner, S.M., Savage,R. L.,and Rutzler,J.,1953. Journal of Applied Physics,24,439.
- Temiz, Ş., 2003. Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Turan, K. ve Kaman, M.O., 2010. Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında İlerlemeli Hasar Analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 16, Sayı 3, Sayfa 315-323.
- Vaidya, A.R.S. Gautam, M. Hosur, P. Dutta., 2006. Experimental-numerical studies of transverse impact response of adhesively bounded lap joints in structures, *Int. Journal of Adhesion &Adhesives*, 26, 184-198.
- Venables, J. D., McNamara, D. K., Chen, J.M., Sun, T. S., and Hopping, R.L., 1979. Applied Surface Science 3,88.
- Voyutskii, S.S.,1963. Autohesion and Adhesion of High Polymers,Wiley-Interscience,New York.
- <http://www.izoreel.com.tr/urun-detay/69/35/elektrik-izolasyon-levhalari.html>

## **EKLER**

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : *Mehmet Şükrü ADİN*  
**Uyruğu** : *Türkiye Cumhuriyeti*  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : *Batman/Kozluk -1983*  
**Telefon** : *(0505) 226 71 32*  
**Faks** : -  
**e-mail** : *mehmetsukruadin@gmail.com*

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: <i>Batman Endüstri Meslek Lisesi, Batman</i>	<i>1998</i>
Üniversite	: <i>Fırat Üniversitesi, Elazığ</i>	<i>2004</i>
Yüksek Lisans :		
Doktora :		

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

### UZMANLIK ALANI

### YABANCI DİLLER

*İngilizce*

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR\*