



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**EPOKSİ YAPIŞTIRICILAR İÇERİSİNE  
FARKLI ORANLARDA NANOPARTİKÜL  
KATILARAK BİRLEŞTİRİLEN L TİPİ  
YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ  
MEKANİK ÖZELİKLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**Hüseyin DAMKAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2023  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Hüseyin DAMKAYA tarafından hazırlanan “Epoksi Yapıştırıcılar İçerisine Farklı Oranlarda Nanopartikül Katılarak Birleştirilen L Tipi Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 02/08/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. İhsan KIRIK

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

#### Üye

Unvanı Adı SOYADI

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİR

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü V.

## **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 material and results that are not original to this work.

İmza

Hüseyin DAMKAYA

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

#### EPOKSİ YAPIŞTIRICILAR İÇERİSİNE FARKLI ORANLARDA NANOPARTİKÜL KATILARAK BİRLEŞTİRİLEN L TİPİ YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Hüseyin DAMKAYA

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

2023, 67 Sayfa

Jüri

Danışmanın: Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

Doç. Dr. İhsan KIRIK

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİR

Endüstri uygulamalarında makine parçaları çeşitli şekillerde hasara uğramaktadırlar. Parçaların hasar durumuna göre ya parça değişimi yapılmakta ya da parça tamir işlemi yapılmaktadır. Zaman ve maliyet açısından tasarruf sağladığı için tamir işlemi daha çok tercih edilmektedir. Tamir işlemi için geleneksel birleştirme yöntemleri olan; kaynak, cıvata, perçin ve yapıştırma teknikleri kullanılmaktadır. Yapıştırma işlemi pratik ve parçaların bütünlüğünü bozmadan düzgün bir birleşme sağladığı için daha çok kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada AA5754 alüminyum alaşımları DP410, DP460 ve DP490 yapıştırıcıları kullanılarak L tipi şeklinde yapıştırmalar yapılmıştır. Ayrıca  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  partikülleri %2, %4 ve %6 oranlarında yapıştırıcılara ilave ederek, takviyesiz duruma göre çekme kuvveti karşısındaki etkisi belirlenmiştir. Son olarak çekme kopma sonrası numunelerin hasar yüzeylerinin makro görüntüleri alınarak yüzey morfolojisi incelenmiştir. Yapılan çekme deneylerinde takviye oranlarının takviyesiz duruma göre çekme kuvveti üzerinde artışlar sağlamıştır. En büyük iyileştirme DP410 yapıştırıcısına %4  $TiO_2$  takviyesinde sağlanmıştır. Çekme sonrası makro görüntülerinde genel olarak adhesive şeklinde hasarların olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:**  $Al_2O_3$ , L-Tipi yapıştırma,  $TiO_2$ , Yapıştırma bağlantısı

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **DETERMINATION of MECHANICAL PROPERTIES of L-TYPE ADHESIVE JOINTS JOINED BY ADDING DIFFERENT RATIOS of NANOPARTICLES into EPOXY ADHESIVES**

**Hüseyin DAMKAYA**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / IN MECHANICAL  
ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Edip ÇETKİN**

**2023, 67 Pages**

**Jury**

**Advisor Asst. Prof. Dr. Edip ÇETKİN**

**Assoc. Prof. Dr. İhsan KIRIK**

**Asst. Prof. Dr. Fatih DEMİR**

In industrial applications, machine parts are damaged in various ways. Depending on the damage of the parts, either the parts are replaced or the parts are repaired. Repair process is more preferred because it saves time and cost. The traditional joining methods for the repair process; welding, bolt, rivet and bonding techniques are used. It is used more because the bonding process is practical and provides a smooth joint without disturbing the integrity of the parts. In this study, L-shaped bonding was made by using AA5754 aluminum alloys DP410, DP460 and DP490 adhesives. In addition, the effect of  $Al_2O_3$  and  $TiO_2$  particles on the tensile force was determined by adding 2%, 4% and 6% to the adhesives, according to the unreinforced situation. Finally, macro images of the damaged surfaces of the samples after tensile rupture were taken and the surface morphology was examined. In the tensile tests, the reinforcement ratios increased on the tensile forces compared to the unreinforced situation. The greatest improvement was achieved with 4%  $TiO_2$  supplementation to the DP410 adhesive. In the macro images after tensile test, it was observed that the adhesive type was damaged in general.

**Keywords:** Adhesive bonding,  $Al_2O_3$ , L-Type bonding,  $TiO_2$ ,

## ÖNSÖZ

Zor meslek hayatımın, eğitim hayatımı etkilemesiyle tam bırakıyorum derken kıymetli danışmanım Dr. Edip ÇETKİN hocamın beni ikna etmesi ve desteklerini esirgemediği için sonsuz şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca deneylerde yardımcı olan Yüksek Makine Mühendisi Erdal ÇAVGUN ve Yüksek Makine Mühendisi İrfan ACARCAN hocalarıma ve Üniversitenin laboratuvarındaki cihazları kullanmamızda yardımcı olan kıymetli Prof. Dr. Hamit ADİN hocama teşekkürlerimi sunuyorum. Bu tezi yazmamdaki en büyük destekçim, 6 yaşındaki kızım Rumeysa'nın ve 7 aylık oğlum Alparslan'ın bütün yükünü üzerine alan kıymetli eşim Ayşegül'e ithaf ediyorum.

Hüseyin DAMKAYA  
BATMAN-2023



## İÇİNDEKİLER

|                                                                              |                                  |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| ÖZET .....                                                                   | iv                               |
| ABSTRACT.....                                                                | v                                |
| ÖNSÖZ .....                                                                  | vi                               |
| İÇİNDEKİLER .....                                                            | vii                              |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                                       | ix                               |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                         | xi                               |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                                 | xii                              |
| 1. GİRİŞ VE LİTERATÜR.....                                                   | 1                                |
| 1.1. Giriş.....                                                              | Hata! Yer işareti tanımlanmamış. |
| 1.1. Amaç ve Hedefler .....                                                  | 1                                |
| 1.3. Literatür Çalışması.....                                                | 2                                |
| 2. KURAMSAL TEMELLER .....                                                   | 8                                |
| 2.1. Yapıştırıcı ve Yapıştırmanın Temel Kavramları .....                     | 8                                |
| 2.1.1. Kaynak veya Lehimleme .....                                           | 8                                |
| 2.1.2. Yapıştırıcı Ve Yapıştırıcı Çeşitleri .....                            | 8                                |
| 2.1.2.1. Yapıştırıcı Çeşitleri .....                                         | 9                                |
| 2.1.2.1.1. Kimyevi türler bakımından yapıştırıcılar.....                     | 9                                |
| 2.1.2.1.1.1. Kimyasal tepkimeyle kürleşen yapıştırıcı çeşitleri .....        | 10                               |
| 2.1.2.1.1.2. Fiziksel değişmelerle kürleşen yapıştırıcı çeşitleri .....      | 11                               |
| 2.1.2.1.1. Formlar türünden yapıştırıcılar .....                             | 12                               |
| 2.1.3. Yapışma .....                                                         | 13                               |
| 2.1.6. Yapışma Teorileri .....                                               | 15                               |
| 2.1.6.1 Mekanik Tutunma Teoremi .....                                        | 15                               |
| 2.1.6.2. Adsorpsiyon Teorisi.....                                            | 16                               |
| 2.1.6.3. Elektrostatik Teorisi.....                                          | 17                               |
| 2.1.6.4. Difüzyon Teorisi .....                                              | 18                               |
| 2.1.7. Yapıştırma Bağlantı Çeşitleri.....                                    | 18                               |
| 2.1.7. Yapıştırma Bağlantılarına Etki Eden Kuvvetler .....                   | 19                               |
| 2.1.8 Yapıştırma Bağlantılarında Meydana Gelen Hasar Çeşitleri.....          | 20                               |
| 2.1.9. Metallerin Yüzey İşlemleri Ve Yapıştırma İçin Yüzey Hazırlanması..... | 21                               |
| 2.2. Nanopartiküller .....                                                   | 22                               |
| 2.3. Alüminyum alaşımları .....                                              | 23                               |
| 2.3.1. 5xxx serisi Alüminyum alaşımının genel özellikleri .....              | 24                               |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....                                                   | 26                               |
| 3.1. Malzeme.....                                                            | 26                               |
| 3.1.1 AA5754 alaşımı .....                                                   | 26                               |

|                                                                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.2. Yapıştırıcı malzemeleri.....                                                                                                                  | 27        |
| 3.1.3 Nanopartiküller .....                                                                                                                          | 30        |
| 3.2. Yapıştırma numunelerin hazırlanması. ....                                                                                                       | 31        |
| 3.2.1. Yapıştırma işlemleri.....                                                                                                                     | 32        |
| 3.3. Çekme deneyleri .....                                                                                                                           | 34        |
| <b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>                                                                                                       | <b>36</b> |
| 4.1. Çekme Deney Sonuçları .....                                                                                                                     | 36        |
| 4.1.1 DP410 yapıştırıcısı, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve TiO <sub>2</sub> Katkılı Yapıştırma Bağlantıları .....                                  | 36        |
| 4.1.2 DP460 yapıştırıcısı, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve TiO <sub>2</sub> Katkılı Yapıştırma Bağlantıları .....                                  | 38        |
| 4.1.3 DP490 yapıştırıcısı, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve TiO <sub>2</sub> Katkılı Yapıştırma Bağlantıları .....                                  | 39        |
| 4.2. Çekme Numunelerinin Kopma Sonrası Yüzey Görüntüleri .....                                                                                       | 41        |
| 4.2.1 DP410 Yapıştırıcısına %2, %4 ve %6 Oranda Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve TiO <sub>2</sub> Takviye Edilmiş Numune Kopma Yüzey Görüntüsü..... | 41        |
| 4.2.2 DP460 Yapıştırıcısına %2,%4 ve %6 Oranda Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve TiO <sub>2</sub> Takviye Edilmiş Numune Kopma Yüzey Görüntüsü.....  | 43        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                                                                                                                  | <b>46</b> |
| 5.1 Sonuçlar .....                                                                                                                                   | 46        |
| 5.2 Öneriler .....                                                                                                                                   | 47        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                                                               | <b>48</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                                                                                | <b>52</b> |



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 Yapıştırıcı (Henkel,2022).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 9  |
| Şekil 2.2 Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bir bağlantıya etki eden kuvvetler ( <a href="https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/bonding-and-assembly-tr/trainingeducation/science-of-adhesion/changing-surface-properties/">https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/bonding-and-assembly-tr/trainingeducation/science-of-adhesion/changing-surface-properties/</a> )..... | 14 |
| Şekil 2.3. Perçin ve yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantıdaki estetik görünüm farkı ( <a href="https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/bonding-and-assembly-tr/training-education/benefits-of-adhesive-bonding/">https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/bonding-and-assembly-tr/training-education/benefits-of-adhesive-bonding/</a> ).....                           | 15 |
| Şekil 2.4. Mekanik Tutunma (Yang, 2001).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 16 |
| Şekil 2.5. Polimer ve metal arasındaki elektriksel tabaka oluşumu (Sun, 2008) .....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 18 |
| Şekil 2.6. Yapıştırıcı ve malzeme moleküllerin difüzyonu.....                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 18 |
| Şekil 2.7. Genel olarak kullanılan 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) silindir bağlantı, (j) soyulma bağlantı (Adin, 2007) .....                                 | 19 |
| Şekil 2.8. Gerilme Tipleri (Temiz, 2003).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 20 |
| Şekil 2.9. Temel hasar tipleri.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 20 |
| Şekil 2.10. Yağ giderme işlemi (a) öncesi ve (b) sonrası şematik görünümü (3m.com, 2021). .....                                                                                                                                                                                                                                                        | 22 |
| Şekil 3.1. AA5754 malzemesinin gerilme-gerinme grafiği (Çetkin, 2021) .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 26 |
| Şekil 3.2 3M (2023), DP410, DP460, DP490 epoksi yapıştırıcılar ve karıştırıcı özel helezonik uç .....                                                                                                                                                                                                                                                  | 27 |
| Şekil 3.3 DP410 gerilme-gerinme grafiği (Çetkin E. 2022).....                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 28 |
| Şekil 3.4 DP460 Malzemesinin gerilme-gerinme grafiği (Çetkin, 2021).....                                                                                                                                                                                                                                                                               | 28 |
| Şekil 3.5. Malzemesinin gerilme-gerinme grafiği (Çetkin E. 2022 DP490) .....                                                                                                                                                                                                                                                                           | 29 |
| Şekil 3.6 Deneylerde kullanılan nanopartikül takviyeleri .....                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 30 |
| Şekil 3.7 150x30x2mm boyutlarında kesilen AA5754 malzemelerin bükülme işlemi..                                                                                                                                                                                                                                                                         | 31 |
| Şekil 3.8 Hassas terazi de farklı yüzdelerde (%) nanopartikül ilavesi .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 32 |
| Şekil 3.9 Yapılan yapıştırma işlemi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 33 |
| Şekil 3.10. Yapılacak olan yapıştırma işleminde düşülen numune örneği (a-Üsten görünüş, b-Yandan görünüş).....                                                                                                                                                                                                                                         | 34 |
| Şekil 3.11. Deneysel çalışmada yapılması gereken yapıştırma işleminin 3D çizimi .....                                                                                                                                                                                                                                                                  | 34 |
| Şekil 3.12. Shimadzu AG-IC serisi universal çekme cihazı.....                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 35 |
| Şekil 4.1. DP410 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında $Al_2O_3$ ile yapılan yapıştırımların çekme kuvveti ve uzama grafiği.....                                                                                                                                                                                                                 | 36 |
| Şekil 4.2. DP410 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında $TiO_2$ ile yapılan yapıştırımların çekme kuvveti ve uzama grafiği.....                                                                                                                                                                                                                   | 37 |
| Şekil 4.3. DP460 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında $Al_2O_3$ ile yapılan yapıştırımların çekme kuvveti ve uzama grafiği.....                                                                                                                                                                                                                 | 38 |
| Şekil 4.4. DP460 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında $TiO_2$ ile yapılan yapıştırımların çekme kuvveti ve uzama grafiği.....                                                                                                                                                                                                                   | 38 |
| Şekil 4.5. DP490 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında $Al_2O_3$ ile yapılan yapıştırımların çekme kuvveti ve uzama grafiği.....                                                                                                                                                                                                                 | 39 |
| Şekil 4.6. DP490 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında $TiO_2$ ile yapılan yapıştırımların çekme kuvveti ve uzama grafiği.....                                                                                                                                                                                                                   | 40 |
| Şekil 4.7. DP410 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında $Al_2O_3$ ile yapılan yapıştırımların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri (a:DP410, b:DP410-%2, c:DP410-%4, d:DP410-%6).....                                                                                                                                                            | 42 |

|                                                                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.8.</b> DP410 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında TiO <sub>2</sub> ile yapılan yapıştırıcıların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri (a:DP410-%2, b:DP410-%4, c:DP410-%6) .....                       | 42 |
| <b>Şekil 4.9.</b> DP460 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ile yapılan yapıştırıcıların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri (a:DP460, b:DP460-%2, c:DP460-%4, d:DP460-%6)..... | 43 |
| <b>Şekil 4.10.</b> DP460 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında TiO <sub>2</sub> ile yapılan yapıştırıcıların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri (a:DP460-%2, b:DP460-%4, c:DP460-%6) .....                      | 44 |
| <b>Şekil 4.11.</b> DP490 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ile yapılan yapıştırıcıların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri ( a:DP490-%2, b:DP490-%4, c:DP490-%6) .....       | 45 |
| <b>Şekil 4.12.</b> DP490 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında TiO <sub>2</sub> ile yapılan yapıştırıcıların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri (a:DP490-%2, b:DP490-%4, c:DP490-%6) .....                      | 45 |



## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1. AA5754 mekanik özellikleri .....                                                                                                                                                                                              | 27 |
| Çizelge 3.2. Deneyisel çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri .....                                                                                                                                                                 | 27 |
| Çizelge 3.3 DP410 mekanik özellikleri.....                                                                                                                                                                                                 | 28 |
| Çizelge 3.4 DP460 mekanik özellikleri .....                                                                                                                                                                                                | 28 |
| Çizelge 3.5 DP490 mekanik özellikleri.....                                                                                                                                                                                                 | 29 |
| Çizelge 3.6. DP410, DP460 ve DP490 epoksi yapıştırıcılarının fiziksel özellikleri<br>( <a href="https://www.egebant.com.tr/tr/p?/3m-yapisal-yapistiricilar/217">https://www.egebant.com.tr/tr/p?/3m-yapisal-yapistiricilar/217</a> ) ..... | 29 |
| Çizelge 3.7 Nano-partikül takviye özellikleri (Anonim,2016).....                                                                                                                                                                           | 30 |
| Çizelge 4.1. DP410 ile $Al_2O_3$ ve $TiO_2$ takviyeli çekme deneyi sonuçları .....                                                                                                                                                         | 37 |
| Çizelge 4.2. DP460 ile $Al_2O_3$ ve $TiO_2$ takviyeli çekme deneyi sonuçları .....                                                                                                                                                         | 39 |
| Çizelge 4.3. DP460 ile $Al_2O_3$ ve $TiO_2$ takviyeli çekme deneyi sonuçları .....                                                                                                                                                         | 40 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| <b>DP410</b>                       | :410 Epoksi yapıştırıcı |
| <b>DP460</b>                       | :460 Epoksi yapıştırıcı |
| <b>DP490</b>                       | :490 Epoksi yapıştırıcı |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | :Alüminyum oksit        |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | :Titanyum dioksit       |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | :Silisyum dioksit       |
| <b>°C</b>                          | :Santigrat derece       |
| <b>Nm</b>                          | :Newton Metre           |
| <b>mm</b>                          | :milimetre              |
| <b>MgO</b>                         | :Magnezyum oksit        |
| <b>CuO</b>                         | :Bakır(II) oksit        |
| <b>Mpa</b>                         | :Megapaskal             |
| <b>Gpa</b>                         | :Gigapaskal             |
| <b>AA5754</b>                      | :Alüminyum 5754 alaşım  |
| <b>N</b>                           | :Newton                 |

### Kısaltmalar

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| <b>GNP</b>  | :Grafen nanopartikül             |
| <b>SLJ</b>  | :Tek bindirmeli bağlantı         |
| <b>CFTK</b> | :Karbon fiber takviyeli kompozit |
| <b>SEM</b>  | :Taramalı elektron mikroskobu    |

## 1. GİRİŞ

Temiz (2003), Geçmişten günümüze, farklı materyalleri birleştirmek veya tamir etmek için çeşitli bağlantı yöntemleri ve materyaller kullanılmıştır. Havacılık, uzay, otomotiv, tıp, spor, deniz ve inşaat sektörlerinde, lehim, kaynak, perçin, cıvata gibi bağlantı işlemlerine alternatif olarak yaygın bir şekilde yapıştırma teknikleri uygulanmaktadır

Mühendislik alanındaki temel hedef, insanoğlunun ihtiyaçlarına uygun araç ve gereçleri tasarlamak, üretmek ve geliştirmektir. Bu ürünlerin gerçekleştirilebilmesi için çeşitli malzemeleri bir araya getirerek ve birleştirerek kullanmak gereklidir. Son yıllarda, mekanik özellikleri geliştirilen ve iyileştirilen yapıştırıcılar, metal ve metal olmayan farklı malzemeleri birleştirme ve bağlama yöntemleri arasında önemli bir yer tutmuştur (Kılık, 1987).

Okkalıoğlu ve ark. (2014), İnsanlığın genel ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılan makine ve teçhizatın kullanım ömrü, önemli bir değişkendir. Temiz, (2003) Uzun süreli kullanımlarda, bağlantıların güvenilirliğini sağlamak ve sistemlerin ağırlığını azaltarak enerji maliyetini düşürmek amacıyla birçok endüstride yaygınlaşan yapıştırma yöntemleri, geleneksel birleştirme ve bağlantı elemanlarının (kaynak, perçin, lehim, cıvata vb.) yerini almaktadır.

Vinson (1989), Yapıştırma, geleneksel bağlantı yöntemlerine ek olarak endüstriyel birleştirmede kullanılmaya başlandığından beri, mühendislik alanında birçok araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar, yapıştırma yöntemlerinin daha da geliştirilmesini hedeflemektedir.

Fiyatı düşük olması, kristalleşmemesi, yükleme altında gerilme konsantrasyonu oluşturmaması, birleştirilecek parçalarda kaynakta olduğu gibi büyük bir problem olan erime noktasının altında yapışma sorunun olmaması, cıvata ve perçinde gibi malzeme bütünlüğünü bozacak herhangi bir delik açma gibi işlemine ihtiyaç olunmaması ve pürüzsüz, temiz bir yüzeye sahip olması nedeniyle yapıştırma işlemlerinde tercih edilmektedirler.

### 1.1. Amaç ve Hedefler

Nanoteknoloji ve malzeme bilimi alanındaki hızlı ilerlemeler, çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılan yapıştırıcıların performansını artırmak amacıyla yeni ve gelişmiş malzeme sistemlerinin araştırılmasını teşvik etmektedir. Bu bağlamda,

nanopartikül takviyeli epoksi yapıştırıcılar son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Nanopartiküller, epoksi matris içinde dağılarak mekanik özelliklerin, yapışma gücünün ve termal davranışın iyileştirilmesine olanak sağlar. Bu gelişmeler, nanopartikül takviyeli epoksi yapıştırıcıların çeşitli endüstrilerde kullanım potansiyelini artırmıştır, özellikle yapısal bağlantılar, otomotiv ve havacılık gibi alanlarda.

Bu tez çalışması, nanopartikül takviyeli epoksi yapıştırıcıların mekanik özellikleri üzerine odaklanmaktadır. Çalışmanın amacı, statik yük altında nanopartikül takviyeli epoksi yapıştırıcıların yapı mekaniği yaklaşımını kullanarak çekme yükü altında performansını değerlendirmektir.

## 1.2. Literatür Çalışması

Fernando ve ark. (1996), tarafından gerçekleştirilen araştırmada, alüminyum alaşımlı malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanılarak oluşturulan bağlantıların çevrimsel yük altında yorulma davranışları, kırılma mekaniği yaklaşımıyla incelenmiştir. Bu çalışmada, farklı çevre şartları olan göreceli olarak kuru ve ıslak ortamlarda (su içinde) yorulma deneyleri yapılmıştır. Yorulma deneylerinde, çevrimsel yük altında çatlak gelişimi ve bu süreçte serbest kalan şekil değiştirme enerjisi (Gmaks.) arasındaki ilişki grafiksel olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, kuru çevre şartlarında çatlak yayılmasının, statik yüklemeler sonucu oluşan şekil değiştirme enerjisiyle (Gc) karşılaştırıldığında daha düşük değerlerde olduğunu göstermiştir. Bu durum, kuru çevre şartlarında yapılan yorulma deneylerinin, yapısal malzeme üzerinde daha az etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, ıslak çevre şartlarında yapılan yorulma deneyleri, kuru çevre şartlarına göre daha düşük şekil değiştirme enerjisi değerleriyle hasar tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, ıslak çevre koşullarının yapısal bağlantıların dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyebileceğini ve yorulma süreçlerinde daha düşük enerji toleranslarına neden olabileceğini göstermektedir.

Blanchard ve ark. (1996), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yapıştırma bağlantılarının monotonik ve yorulma yükleri altındaki kayma davranışlarını incelemek amacıyla özel bir test yöntemi geliştirilmiştir. Yapılan deneyler sayesinde, bağlantı mukavemetinin şekil değiştirme oranı ve bağlantı kalınlığı ile doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, farklı bağlantı kalınlığı ve çevrimsel hızlarda yapılan testler sonucunda, düşük bağlantı kalınlığı ve yüksek çevrimsel hızlarda kohezyon hasarlarının, büyük bağlantı kalınlığı ve düşük çevrimsel hızlarda ise adhezyon hasarlarının gözlemlendiği tespit edilmiştir. Bu önemli bulgular, yapıştırma

bağlantılarının performansını etkileyen kritik faktörleri anlamak ve daha güçlü bağlantılar tasarlamak açısından değerli bir katkı sunmaktadır.

Abou Hamda ve ark. (1998), tarafından yapılan araştırmada, yapıştırma hattı kalınlığının yorulma çatlak oluşumunda kritik bir değişken olduğu vurgulanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, yapıştırma kalınlığının artmasıyla yorulma çatlak gelişim direncinin de arttığı belirlenmiştir. Bu önemli bulgu, yapıştırma bağlantılarının dayanıklılığını etkileyen kritik faktörlerin anlaşılmasına ve daha güçlü yapıştırma bağlantıları tasarlamaya yardımcı olmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, yapısal tasarımlarda yapıştırma bağlantılarının performansını artırmak ve güvenilirliklerini arttırmak amacıyla yapıştırma hattı kalınlığına dikkat edilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Crocombe ve Richardson (1999), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, aynı tip malzeme ve yapıştırıcı kullanılarak dört farklı bağlantı şekli oluşturulmuş ve bu bağlantıların yorulma dayanımı incelenmiştir. Çalışma sonucunda, araştırmacılar ortalama yükün yorulma ömrü üzerindeki etkisini grafiklerle göstererek bağlantı şekillerinin yorulma ömrüne önemli derecede etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Bu önemli bulgu, yapıştırma bağlantıların dayanıklılığı üzerinde farklı yapı ve şekillerin kritik önemini vurgulamakta ve uygun bağlantı tasarımının yorulma dayanımını artırmada ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları, yapısal bağlantıların yorulma dayanımını optimize etmek ve daha güvenilir bağlantılar tasarlamak için farklı yapı ve şekillerin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Knox ve ark. (2000), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yapıştırma bağlantı teknikleri kullanılarak imal edilmiş 100 mm çapındaki GRE (Glass Reinforced Epoxy) boruların yorulma davranışları detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerde, numuneler farklı yüklemelere maruz bırakılarak değişken eksenel, eğilme ve iç basınç yüklerinin etkileri araştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, numuneler üzerinde eksenel simetrik yorulma hasarları gözlemlenmiştir. Özellikle, eksenel olarak uygulanan değişken yüklerin diğer yüklemelere göre daha fazla hasara neden olduğu belirlenmiştir.

Fu ve Mallick (2001), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yapıştırmalı ve hibrid (yapıştırma ve cıvata) birleştirmelerin statik ve çevrimsel yükler altındaki davranışları kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, hibrid bağlantıların yapıştırma bağlantılarına göre daha üstün statik ve yorulma dayanımlarına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Wang ve Pidaparti (2002), tarafından yapılan çalışmada, V-tipi çentik açılmış alüminyum (7075-T6) numuneleri üzerine kompozit (boron/epoxy) yama yapıştırılarak ve yamasız olarak statik ve yorulma yükleri altında test edilmiştir. Yapılan deneylerde yorulma çatlak gelişimi hem çözümsel hem de deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, kompozit yama yapılan numunelerin yamasız numunelere göre hem statik mukavemet hem de yorulma ömrü açısından önemli artışlar gösterdiği gözlemlenmiştir.

Meguid ve ark. (2004), tarafından yapılan çalışmada, karbon fiber kompozit ve alüminyum alaşımlı malzemeleri kullanarak yapıştırma bağlantıları oluşturulmuş ve bu bağlantılarda epoksi yapıştırıcı içerisine farklı oranlarda karbon nanotüp ve alüminyum nanopowder takviyesi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, yapıştırıcı içerisine katılan nanopartikül oranının, bağlantıların çekme ve kayma mukavemetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu bulgu, nanopartikül takviyesinin, yapıştırma bağlantılarının mukavemetini artırmada ve performansını iyileştirmede önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

Zhai ve ark. (2006), çelik malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları yapıştırma bağlantılarında, farklı nanopartiküllerin yapıştırıcıya katılmasının, bağlantıların adhezyon mukavemetine olan tesirini incelemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmaları sonucunda, özellikle  $Al_2O_3$  nanopartikülünün bağlantının adhezyon mukavemetini önemli ölçüde artırdığını belirlemişlerdir.

Zhai ve ark. (2007), çelik malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcıya %2 oranında  $Al_2O_3$  nanopartikül eklemiş ve çekme deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu deneylerin sonuçlarına göre,  $Al_2O_3$  nanopartikül takviyeli yapıştırma bağlantılarında adhezyon mukavemeti daha yüksek bulunmuştur.

Srivastava (2011), kompozit malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları bağlantılarda, epoksi yapıştırıcıya %3 oranında çok duvarlı karbon nanotüp ekleyerek çekme deneyleri gerçekleştirmiştir. Deney sonuçları, nanotüp takviyesi yapılan bağlantıların statik mukavemetinin, takviye yapılmayan bağlantılara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, çok duvarlı karbon nanotüp takviyesinin yapıştırma bağlantıların dayanıklılığını artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



Mactabi ve ark. (2013), alüminyum alaşımlı malzeme (2024-T3) kullanılarak ürettikleri tek tesirli bindirme bağlantılarda, epoksi yapıştırıcıya çeşitli oranlarda eklenen karbon nanotüplerin (CNT) bağlantının statik ve yorulma dayanımına olan etkisini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, elde edilen veri setindeki yüksek varyans ve dağılım nedeniyle, karbon nanotüp ilavesinin yapıştırıcı içindeki etkisinin bağlantının statik ve yorulma mukavemetine tam olarak belirlenemediği gözlemlenmiştir.

Kang ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmalarında, kompozit malzeme ve alüminyum alaşımlı malzemeden oluşan tek tesirli bindirme bağlantılarda, epoksi yapıştırıcıya karbon nanotüp eklenmesinin bağlantının statik ve yorulma dayanımlarına olan etkisi incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda, karbon nanotüp ilavesiyle yapıştırma bağlantılarının yorulma dayanımlarının arttığı, ancak statik dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Khashaba ve ark. (2015), çalışmalarında karbon fiber kompozit malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları açılı yapıştırma bağlantılarda, epoksi yapıştırıcıya belirli oranlarda SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartiküllerinin eklenmesinin bağlantının çekme mukavemetine olan etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre, epoksi yapıştırıcıya nanopartikül takviyesi yapıldığında bağlantının maksimum çekme dayanımının önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir.

Akpınar (2016), tarafından yapılan çalışmada; farklı özelliklere sahip yapısal yapıştırıcılara Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerini ekleyerek elde edilen tek tesirli bindirme bağlantılarının mekanik özellikleri çeki yükü altında deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, nanopartikül katkılı yapıştırıcıların kullanılmasıyla elde edilen bağlantılarda çekme dayanımı artmaktadır. Ayrıca, bağlantıların kuvvet-değiştirme eğrileri incelendiğinde, nanopartikül katkılı yapıştırıcılarla birleştirilmiş bağlantıların yer değiştirme kapasitelerinin de arttığı tespit edilmiştir.

Zielecki ve ark. (2017), tarafından yapılan çalışmada, üç farklı yapıştırıcıya ağırlıkça %1 oranında saflaştırılmış çok duvarlı karbon nanotüp eklenerek elde edilen bağlantının yorulma mukavemeti özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla elektromanyetik titreşim indüktörü kullanılarak yorulma mukavemeti testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın deneysel bulguları göz önüne alındığında, epoksi yapıştırıcıların içerisine multi-walled carbon nanotüp eklenmesinin bağlantıların yorulma ömrü ve mukavemeti üzerinde olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Ayrıca, yapılan bağlantıların kırılma yüzeyleri incelendiğinde, tüm parametreler için koheziv kırılma meydana geldiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, nano teknolojinin yapıştırma bağlantılı yapıların iyileştirilmesine katkı sağlayabileceğini ve bu sayede daha yaygın bir şekilde kullanılabileceğini desteklemektedir.

Akpınar ve ark. (2017), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tek bileşenli yapıştırma bağlantılarında farklı yapıştırıcı türlerine ve değişik nano yapı katkılarına sahip yapılar deneysel olarak incelenmiştir. DP460, DP270 ve DP125 yapısal yapıştırıcılar, ayrıca karbon nanotüp, fulleren ve grafen nano yapıları kullanılmıştır. Yapıştırıcıya eklenen nano katkı oranları ise ağırlıkça % 0.25, 0.5, 1, 2 ve 3 olarak belirlenmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, DP460 yapıştırıcısına %1 ve %2 grafen eklenmesi, bağlantının hasar yükünü arttırmışken, %1 fulleren ilavesi, grafen eklenen bağlantılarla karşılaştırıldığında hasar yükündeki artışın daha düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, nano yapı ilave oranının %1 olduğu durumda bağlantıların hasar yüklerine ulaşılmıştır.

Saraç ve ark. (2018), tarafından yapılan çalışmada, tek tesirli yapıştırma bağlantılarında yapıştırıcı içerisine farklı oranlarda ve yapıda nano yapılar ekleyerek bağlantının ortalama yorulma hasarı ve mukavemeti deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada yapıştırıcı olarak DP460 kullanılmış ve nano- $Al_2O_3$ , nano- $SiO_2$  ve nano- $TiO_2$  gibi nano yapılar eklenmiştir. Nano yapı katkısı oranları ağırlıkça %2, %4 ve %6 olarak değişmiştir. Nano yapı katkılı ve katkısız yapıştırma bağlantıların statik ve yorulma mukavemetleri karşılaştırılmıştır. Statik testlerde 1 mm/dk çeki yükü uygulanmış, yorulma deneylerinde ise  $R=0.1$  yük oranı ve 10 Hz frekans kullanılmıştır. Yapıştırma bağlantılarında en yüksek hasar yükü, ağırlıkça %4 nano-  $Al_2O_3$  katkılı yapıştırma bağlantısında elde edilmiştir. Yorulma testi sonuçlarına göre,  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$  nano yapı katkıları yapıştırma bağlantısının yorulma mukavemetini artırırken,  $TiO_2$  nano yapı katkısı yapıştırma bağlantılarının yorulma mukavemetini azalttığı tespit edilmiştir.

Reza ve ark. (2019), tarafından yapılan çalışmada, farklı grafen türlerinin yapıştırıcı içerisine ilave edildiği hibrit yapıştırma bağlantıları üzerindeki etki incelenmiştir. Hem yapıştırıcı hem de civata kullanılarak oluşturulan bu bağlantıların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Nano yapı katkısı ağırlıkça %0.5 olarak belirlenmiş ve nano yapı katkılı bağlantılar ile katkısız bağlantılar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, genel olarak nano yapı katkılı bağlantı türlerinin daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, düşük tabaka sayısı ve kalınlığa sahip grafenin yapıştırıcı malzeme içinde homojen bir şekilde dağıldığı belirtilmiştir.

Han ve ark. (2019), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yapıştırıcı malzemenin içerisine çeşitli nanopartiküller eklenmesinin yapıştırma bağlantısının mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği gözlenmiştir. Grafen ve karbon nanotüp katkılı yapıştırma bağlantılarının mekanik ve elektriksel özellikleri hem deneysel hem de nümerik olarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre, yapıştırıcı içerisine %0.125 hacim oranında grafen eklenen bağlantılarda çekme mukavemetinde %20 artış, %0.25 hacim oranında karbon nanotüp eklenen bağlantılarda ise çekme mukavemetinde %23 artış gözlenmiştir. Bu bulgular, nanopartikül katkılarının yapıştırma bağlantılarının mukavemetini artırmada etkili olduğunu göstermektedir.

Kaybal ve ark. (2017), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı oranlarda ağırlıkça  $\text{CaCO}_3$  nanopartikülü katkılı yapıştırma bağlantıları üretilmiştir. Bu çalışmada,  $\text{CaCO}_3$  nanopartikülü katkı oranının yapıştırma bağlantısının kayma mukavemeti üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ağırlıkça %2  $\text{CaCO}_3$  nanopartikülü katkısı eklenen tek tesirli yapıştırma bağlantısında kayma mukavemetinde %28'lik bir artış gözlenmiştir. Bu bulgu,  $\text{CaCO}_3$  nanopartikülü katkısının yapıştırma bağlantılarının kayma mukavemetini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.

Bu tez çalışmasında, DP410, DP460 ve DP490 Epoksi yapıştırıcıları ve içerisine farklı oranlarda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  partikülleri eklenerek 150x30x2 mm boyutlarında kesilen AA5754 alaşım malzemesi uçlarında 2 mm çapında bükme cihazı ile  $90^\circ$  ve 30 mm uzunlukta pres makinesi ile bükülen AA5754 alüminyum alaşımlarının L tipi yapıştırmalarını yaparak daha fazla yük taşımaları araştırılmıştır. Çekme deneyler sonucunda yapıştırma kopma yüzeylerinin makro görüntüleri alınarak hasar mekanizmaları belirlenmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Yapıştırıcı ve Yapıştırmanın Temel Kavramları

Makina imalatında veya endüstrinin birçok alanında montaj işlemlerini gerçekleştirmek için çeşitli birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Montaj sürecinde, yapıştırma, kaynaklama, lehimleme, sert lehimleme ve mekanik bağlama gibi farklı yöntemler, çeşitli ihtiyaçlara ve uygulama gereksinimlerine cevap verebilmek amacıyla alternatif olarak tercih edilmektedir.

#### 2.1.1. Kaynak veya Lehimleme

Montaj işlemlerinde sıkça kullanılan birleştirme yöntemlerinden biri, kaynaklamadır. Kaynaklama, metalleri yüksek sıcaklıkta eriterek ve parçaları birleştirerek güçlü bir bağlantı oluşturma işlemidir. Bu yöntem, iki metal parçası arasında sağlam bir bağlantı elde etmek için tercih edilir.

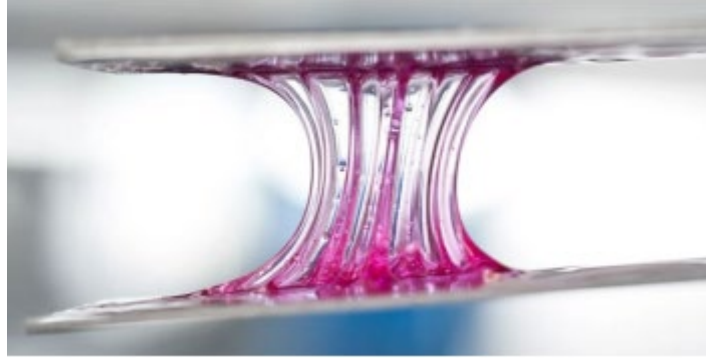
Diğer birleştirme yöntemi ise lehimlemedir. Lehimleme, ana metali eritmeden iki veya daha fazla metal parçasını birleştirmek için kullanılır. Bu işlemde, metal parçaların arasına lehim adı verilen ayrı bir alaşım yerleştirilir ve bu lehim eritilerek birleştirme gerçekleştirilir.

Kaynak veya lehimli bağlantıların bazı avantajları arasında yüksek aşınma direnci, büyük mukavemet ve iyi termal ve elektrik iletkenliği yer almaktadır. Ancak, her iki yöntemin de bazı sınırlamaları mevcuttur. Örneğin, bu yöntemler sadece uygun metallerin birleştirilmesine izin verirler. Kaynak veya lehimleme işlemi sırasında yüksek sıcaklıklar kullanıldığından, parçaların deformasyon riski bulunmaktadır. Ayrıca, malzeme ısınırken gerilimler ve yapısal bozulmalar meydana gelebilir, bu da sökme işleminin zor veya bazen imkânsız olabileceği anlamına gelir.

#### 2.1.2. Yapıştırıcı Ve Yapıştırıcı Çeşitleri

Kinloch (1987), tarafından yapılan çalışmada, yapıştırıcılar malzemeleri bir arada tutabilen ve ayrılmaya direnebilen bir malzeme olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.1). Yapıştırıcıların temel işlevi, parçaları birleştirmektir ve bu malzemeler mekanik bağlantı elemanlarından farklı olarak gerilimleri daha homojen bir şekilde ileterek bu amacı yerine getirirler. Ebnesajjad (2008), ise yapıştırıcıların günlük hayatımızda yaygın bir şekilde kullanıldığını ve geliştirmek, üretmek ve pazarlamak için önemli şirketlerin olduğunu belirtmektedir. Yapıştırıcılar, tutma ve bağlama gücüne göre seçilir

ve genellikle yüksek kesme ve çekme dayanımına sahip malzemelerdir. Ayrıca, yapıştırıcılar işlevsel yapılarına göre yapısal ve yapısal olmayan olarak iki kategoriye ayrılırlar.



**Şekil 2.1** Yapıştırıcı (Henkel,2022)

Petrie (2000), Yapısal yapıştırıcılar, genellikle yüksek mukavemete sahip olan yapıştırıcıları tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Bu terim, yüksek kesme mukavemetine (genellikle inç kare veya psi başına 1.000 pound'dan fazla) ve iyi çevresel dirence sahip yapıştırıcıları ifade etmek için kullanılır. Epoksi, termoset akrilik ve üretilen sistemleri, yapısal yapıştırıcılara örnek olarak verilebilir. Yapısal yapıştırıcılar, genellikle uygulandıkları ürünün ömrü boyunca dayanıklılık sağlama beklentisiyle kullanılır.

Yapısal olmayan yapıştırıcılar, daha düşük mukavemete ve yapışkanlık özelliğine sahip olan yapıştırıcı türleridir. Bu tip yapıştırıcılar genellikle geçici sabitleme veya zayıf alt tabakaların birleştirilmesi gibi uygulamalarda kullanılırlar. Örnek olarak, basınca duyarlı filmler, ahşap yapıştırıcıları, elastomerler ve dolgu macunları yapısal olmayan yapıştırıcılara örnek olarak verilebilir.

#### **2.1.2.1. Yapıştırıcı Çeşitleri**

Yapıştırıcıları iki grupta toplayabiliriz. Bunlar;

- a) Kimyevi türler bakımından yapıştırıcılar
- b) Formları tarafından yapıştırıcılar

##### **2.1.2.1.1. Kimyevi türler bakımından yapıştırıcılar**

Yapıştırıcılar kimyevi türler bakımından ikiye ayrılır;

- i. Kimyasal tepkimeyle kürleşen yapıştırıcı çeşitleri

- ii. Fiziksel değişmelerle kürleşen yapıştırıcı türleri olarak ikiye ayrılır.

#### 2.1.2.1.1.1. Kimyasal tepkimeyle kürleşen yapıştırıcı  eşitleri

Kimyasal tepkimeyle kürlenen yapıştırıcılar, bileşenleri bir araya geldiğinde kimyasal reaksiyon sonucu sertleşen yapıştırıcılardır. Bu tip yapıştırıcılar genellikle iki bileşenin karıştırılmasıyla aktivasyon gerçekleşir. İşte yaygın olarak kullanılan bazı kimyasal tepkimeyle kürleşen yapıştırıcı türleri:

1. **Epoksi Yapıştırıcılar:** Epoksi yapıştırıcılar, reçine ve sertleştirici bileşenlerin karıştırılmasıyla aktivasyon sağlanan yapıştırıcılardır. Bu karışım, kimyasal reaksiyon sonucu sertleşir ve yüksek mukavemetli bağlar oluşturabilir. Epoksi yapıştırıcılar genellikle metal, plastik, ahşap gibi farklı yüzeyleri bir araya getirmek için kullanılır.
2. **Poliüretan Yapıştırıcılar:** Poliüretan yapıştırıcılar, izosiyante ve poliol gibi bileşenlerin karıştırılmasıyla kürlenir. Bu tip yapıştırıcılar elastomerik ve esnek bağlar oluşturabilir, böylece termal genleşmelere ve titreşime karşı dayanıklılık sağlar.
3. **Asetat Yapıştırıcılar:** Asetat yapıştırıcılar, vinil asetat ve sertleştirici içeren bileşenlerin reaksiyonu sonucu oluşur. Genellikle cam ve metal gibi yüzeylerin birleştirilmesinde kullanılırlar.
4. **Siyanakrilat Yapıştırıcılar:** Bu yapıştırıcılar, hızlı bir şekilde kürlenir ve genellikle "süper yapıştırıcı" olarak bilinirler. Moleküler su ile reaksiyona girerek sertleşirler. Plastik, metal, kauçuk gibi farklı malzemelerin hızlı bir şekilde yapıştırılmasında kullanılırlar.
5. **Reaktif Akrilik Yapıştırıcılar:** Bu tip yapıştırıcılar, akrilik reçine ve sertleştirici bileşenlerin karışımıyla kürlenir. Yüksek mukavemetli bağlar oluşturabilirler ve genellikle cam, plastik, metal gibi yüzeyleri bir araya getirmekte kullanılırlar.

6. **Anaerobik Yapıştırıcılar:** Anaerobik yapıştırıcılar, oksijenin varlığında sıvı haldelerken, oksijensiz (anaerobik) ortamda kimyasal olarak sertleşen yapıştırıcılardır. Bu tür yapıştırıcılar özellikle metallerin birleştirilmesi, vida ve cıvata bağlantıları gibi uygulamalarda kullanılır. Anaerobik yapıştırıcılar, yüzeylerin temas etmesiyle aktivasyon gerçekleşir. Yüzeyler arasındaki boşlukları doldurarak sızdırmazlık ve mukavemet sağlarlar.

Bu sadece bazı kimyasal tepkimeyle kürleşen yapıştırıcı türlerinin örnekleri. Her türün farklı özellikleri ve kullanım alanları bulunmaktadır. Yapıştırıcı seçerken kullanılacak malzeme ve uygulama gereksinimleri göz önünde bulundurulmalıdır.

#### 2.1.2.1.1.2. Fiziksel değişmelerle kürleşen yapıştırıcı çeşitleri

Fiziksel değişmelerle kürleşen yapıştırıcılar, genellikle ısı, nem veya ultraviyole (UV) ışık gibi fiziksel etmenlerin etkisi altında sertleşen yapıştırıcılardır. Bu tip yapıştırıcılar, kimyasal reaksiyona dayalı yapıştırıcılara kıyasla daha farklı bir sertleşme mekanizmasına sahiptirler. İşte bazı fiziksel değişmelerle kürleşen yapıştırıcı türleri:

1. **Termal Yapıştırıcılar:** Termal yapıştırıcılar, ısıtıldığında sertleşen yapıştırıcılardır. Genellikle sıcak eriyik yapıştırıcılar olarak da adlandırılırlar. Bu yapıştırıcılar özel yapıştırıcı tabancalarında eritilir, ardından soğuyup katılaşır. Ahşap, kumaş, karton gibi malzemelerin birleştirilmesinde kullanılırlar.
2. **Nem Kürleşen Yapıştırıcılar:** Nem kürleşen yapıştırıcılar, ortamdaki nemle reaksiyona girerek sertleşen yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar, düşük nem içeriğine sahip yüzeylerde kullanıldığında daha yavaş kürleşirler. Ahşap, metal, plastik gibi birçok malzemede kullanımı yaygındır.
3. **UV Kürleşen Yapıştırıcılar:** UV kürleşen yapıştırıcılar, özellikle ultraviyole (UV) ışığının etkisi altında sertleşen yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar özel bir UV ışık kaynağı kullanılarak uygulandıktan sonra hızla kürleşirler. Optik ve elektronik endüstrilerinde, cam, plastik ve metal yüzeylerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılırlar.

4. **Işığa Duyarlı Yapıştırıcılar:** Işığa duyarlı yapıştırıcılar, görünür veya UV ışığına maruz kaldıklarında aktive olan yapıştırıcılardır. Bu tür yapıştırıcılar, hassas optik veya mikroelektronik cihazların montajında ve yapıştırılmasında kullanılır.
5. **Isı ve Basınç Kürleşen Yapıştırıcılar:** Isı ve basınç kürleşen yapıştırıcılar, yüksek sıcaklık ve basınç altında sertleşen yapıştırıcılardır. Bu tür yapıştırıcılar, genellikle lamine ahşap ürünlerin üretiminde kullanılır.
6. **Kauçuk yapıştırıcılar:** Kauçuk yapıştırıcılar, elastomerik yüzeyleri bir araya getirmek veya diğer malzemelerle kauçuk parçalarını yapıştırmak için kullanılan özel yapıştırıcı türleridir. Kauçuk yapıştırıcıları, genellikle esneklik, darbe dayanıklılığı ve kimyasal dayanıklılık gerektiren uygulamalarda tercih edilir.

#### 2.1.2.1.1. Formlar türünden yapıştırıcılar

Yapıştırıcılar, çeşitli formlarda ve tiplerde gelirler ve kullanım amaçlarına ve uygulama yöntemlerine göre değişiklik gösterirler. İşte farklı form ve tiplerde yapıştırıcılar:

- I. **Sıvı Yapıştırıcılar:** Yapıştırıcıların en yaygın formu olan sıvı yapıştırıcılar, genellikle damlama veya fırça ile uygulanan formda gelirler. Ahşap, kâğıt, karton, kumaş gibi malzemelerin yapıştırılmasında kullanılırlar. Bu tür yapıştırıcılar hızlı kürleşme sağlayabilirler.
- II. **Jel veya Krem Yapıştırıcılar:** Jel veya krem yapıştırıcılar daha kalın ve viskoz yapısıyla sıvı yapıştırıcılara göre daha yatay yüzeylerde kullanıma uygundur. Dikey yüzeylere daha iyi yapışabilirler ve daha az akma eğilimindedirler.
- III. **Sprey Yapıştırıcılar:** Sprey yapıştırıcılar, sprey kutularında aerosol formunda bulunan yapıştırıcılardır. Genellikle büyük yüzeyleri kaplamak veya ince malzemeleri yapıştırmak için kullanılırlar. Kumaş, kâğıt, poster vb. uygulamalarda tercih edilebilirler.



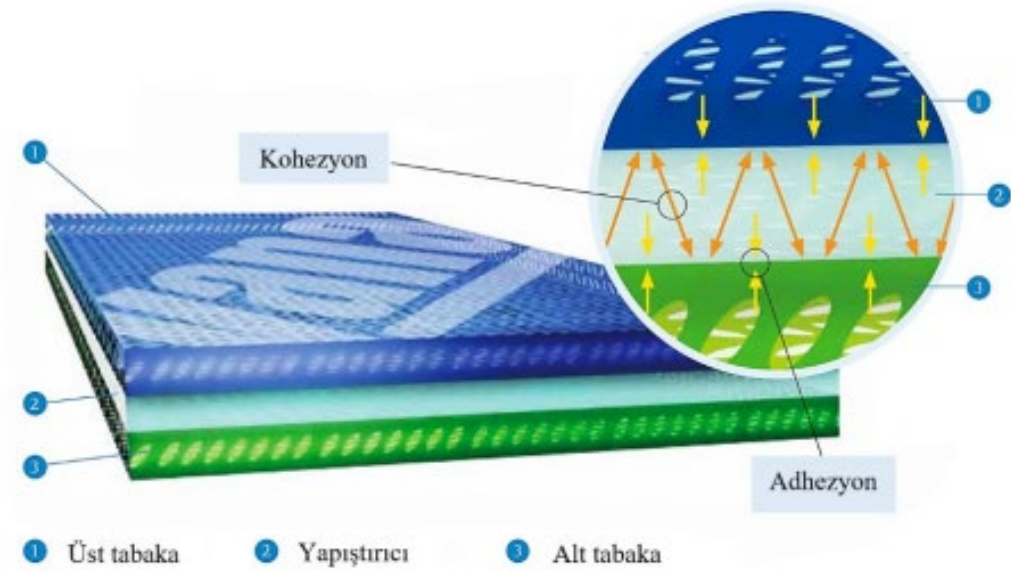
- IV. **Çubuk veya Çubuk Yapıştırıcılar:** Sıcak eriyik yapıştırıcılar, sıcak yapıştırıcı tabancalarıyla eritilip uygulandığında sertleşen çubuk şeklindeki yapıştırıcılardır. Ahşap, kumaş, plastik gibi malzemeleri hızlıca yapıştırmak için tercih edilirler.
- V. **Filament Yapıştırıcılar:** 3D baskı işlemlerinde kullanılan filament yapıştırıcılar, ısıtıldığında eriyen malzemeden üretilir. 3D baskı parçalarını birleştirmek veya onarımlar yapmak için kullanılırlar.
- VI. **Bant Yapıştırıcılar:** Bant yapıştırıcılar, yapıştırıcı malzemenin bant formunda olduğu yapıştırıcı türleridir. Genellikle hızlı ve temiz uygulama için kullanılırlar. Kâğıt, karton, plastik gibi yüzeyleri birleştirmek için kullanılabilirler.
- VII. **Yapıştırıcı Tabancaları:** Sıcak eriyik yapıştırıcılar veya diğer bazı yapıştırıcı türleri için kullanılan tabancalardır. Tabancalar, yapıştırıcıyı ısıtarak eritir ve uygulama esnasında kullanıcıya daha fazla kontrol sağlar.

### 2.1.3. Yapışma

Yapışma, aynı veya farklı iki yüzeyin kimyasal ve fiziksel kuvvetlerle birbirine tutunmasıdır. Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri bu yapışma kuvvetlerini oluşturan faktörlerdir (Şekil 2.2).

#### 2.1.3.1 Adhezyon

Merriam (2004), tarafından yapılan çalışmada, yapışma, temas halindeki maddelerin yüzeyleri arasında gerçekleşen moleküler çekimi ifade eder. Adhezyon ise yapıştırıcının uygulanan yüzeye doğrudan temas eden farklı moleküler türler arasındaki çekim sürecidir ve yapıştırıcının yapışması veya bağlanması için gereklidir. Malzeme ve yapışkan molekülleri birbirine yaklaştıkça, aralarında mikroskobik düzeyde yapışma kuvvetleri oluşturan moleküller arası kuvvetler ortaya çıkar.



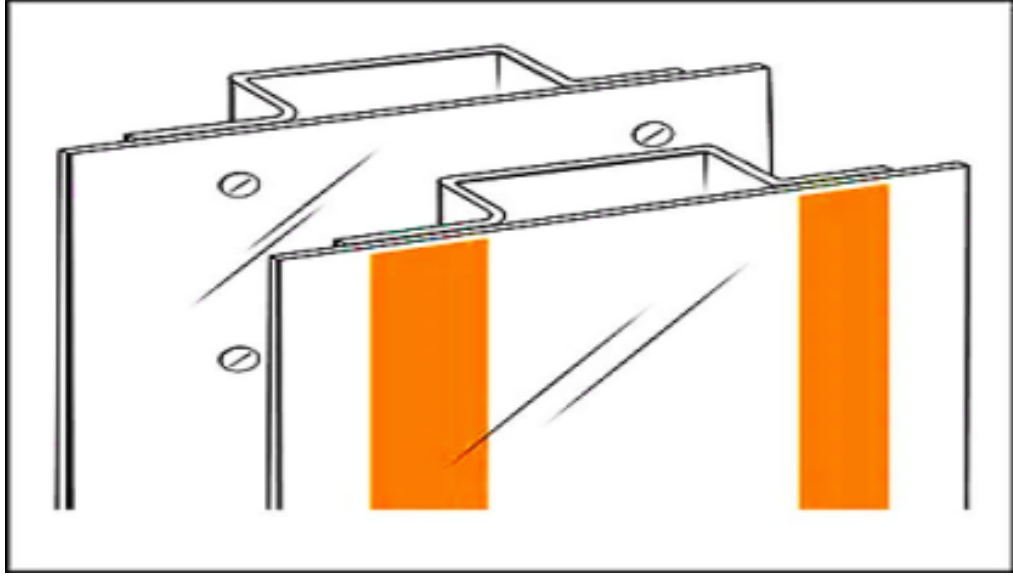
**Şekil 2.2.** Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bir bağlantıya etki eden kuvvetler  
([https://www.3m.com.tr/3M/tr\\_TR/bonding-and-assembly-tr/trainingeducation/science-of-adhesion/changing-surface-properties/](https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/bonding-and-assembly-tr/trainingeducation/science-of-adhesion/changing-surface-properties/)).

#### 2.1.3.2. Kohezyon

Yapıştırıcının iç mukavemeti, yapıştırıcının parçacıklarının bir arada tutulduğu durumu ifade eder. Kohezyon bağı, yapışkan tabakayı sağlam bir şekilde bir arada tutar ve bölünmesini önler.

#### 2.1.4. Yapıştırıcıların Diğer Birleştirme Yöntemleri Karşısında Avantajları

- i. Farklı boy ve şekildeki birleştirmesi zor malzemeleri birleştirir.
  - ii. Farklı veya benzer malzemeleri birleştirir
  - iii. Yorulmayı, titreşimi ve gürültüyü engeller.
  - iv. Hızlı yapışma ve sızdırmazlık sağlar.
  - v. Perçin ve vida bağlantılarında gerilme yığılmalarını azaltır.
  - vi. Farklı malzemeler arasındaki galvanik korozyonu azaltır ya da engeller.
  - vii. Ağırlığı düşürür.
  - viii. Üretim verimini artırabilir.
  - ix. Görüntü olarak daha estetikdir (Şekil 2.3).
  - x. Mekanik birleştirmelere göre daha ucuz ve kullanımı kolaydır.
- (<https://www.henkeladhesives.com/tr/tr/urunler/endustriyel-yapistiricilar.html>)



**Şekil 2.3.** Perçin ve yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantıdaki estetik görünüm farkı  
([https://www.3m.com.tr/3M/tr\\_TR/bonding-andassembly-tr/training-education/benefits-of-adhesive-bonding/](https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/bonding-andassembly-tr/training-education/benefits-of-adhesive-bonding/)).

#### 2.1.5. Yapıştırıcı Kullanımının Dezavantajları

- i. Kürlenme süreleri uzun olabilir.
- ii. Yapışma süresince kalıba alınması ya da bağlanması gerekebilir.
- iii. Sıcaklık ve basınç gerekebilir.
- iv. Mekanik bağlantılara göre düşük darbe dayanımı
- v. Bazı yapıştırma uygulamaları için özel eğitim gerekebilir.

#### 2.1.6. Yapışma Teorileri

Yapışma mekanizmasını açıklamak amacıyla bilim adamları şimdiye kadar yaklaşık kırk farklı teori geliştirmişlerdir. Bu teoriler, moleküler, mikroskobik ve makroskobik seviyelerdeki kavramlara dayanarak yapılmıştır. Ancak, bu çalışmada en kapsamlı dört teoriden bahsedilecektir. Her ne kadar bu teoriler tek başına yapışma mekanizmasının tüm yönlerini açıklayamasa da bağlantının belirli özelliklerini anlamak için bu teorilerden bir veya birkaçı kullanılabilir (Temiz, 2003).

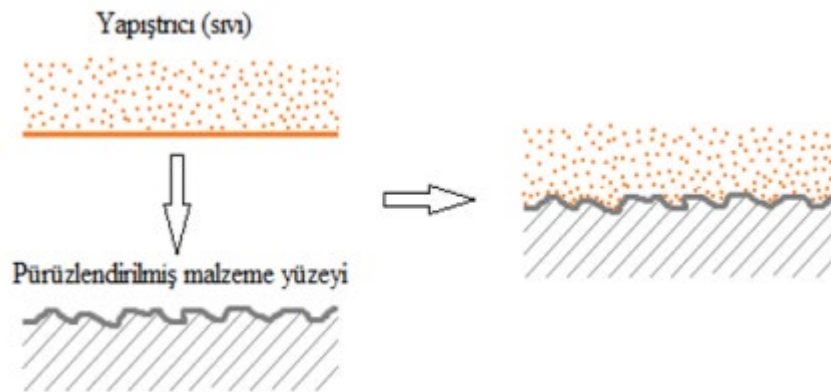
##### 2.1.6.1 Mekanik Tutunma Teoremi

Bir katı yüzeye sıvı yapıştırıcı uygulandığında, yapıştırıcının gözeneklere nüfuz edeceğini ve bu sayede mekanik bir tutunma oluşacağını ve böylece iyi bir yapışma gerçekleşeceğini ifade etmiştir. Mekanik tutunma, yapıştırıcının malzeme yüzeyinden

ayrılmasını önler ve böylece daha güçlü bir yapışma elde edilir (McBain ve Hopkins, 1925).

Bazı alüminyum malzemelerin yapıştırıcı ile mekanik tutunmasını artıran yüzey işlemlerinin, gerçekte yüzeyde gözenekleri arttırdığını göstermiştir. Bu çalışma, aslında malzeme yüzeylerini pürüzlendirmenin ve yüzeydeki kir, pas gibi kirleticileri temizlemenin yüzey alanını arttırarak yapıştırıcının yüzeye daha iyi yayılmasını ve ıslatmasını sağladığını göstermiştir. Bu yöntemler, yapıştırma bağlantılarının gücünü ve dayanıklılığını artırmak için önemli bir rol oynamaktadır (Venables ve ark., 1979).

Mekanik tutunma teorisi (Şekil 2.4), yapışma bağlantılarının birleştirilen yüzeylerin mikro yapılarından ve geometrilerinden kaynaklanan yapısal etkileşimlerle güçlenmesine odaklanan bir yapışma teorisidir. Bu teori, yapışma yüzeylerinin pürüzlü veya gözenekli yapısının, yapıştırıcı ve substrat arasında daha güçlü bir bağ oluşturmaya ve dolayısıyla yapışmanın dayanıklılığının artmasına yol açtığını ileri sürer.



Şekil 2.4. Mekanik Tutunma (Yang, 2001)

#### 2.1.6.2. Adsorpsiyon Teorisi

Adsorpsiyon teorisi, yapıştırıcı biliminde en yaygın kabul gören ve uygulanan bir teoridir (Kinloch 1980). Bu teori, esas malzeme ile yapıştırıcı arasında iyi bir temas sağlandığında, ara yüzeyde atomlar arası ve moleküller arası kuvvetlerin etkileşimleri sonucu yapışmanın meydana geldiğini ileri sürer. Bu kuvvetler genellikle iki kategoriye ayrılabilir:

a) Birincil kuvvetler: İyonik, kovalent ve metalik bağları içerir ve bağ enerjileri 60-1050 KJ/mol arasında değişebilir.

b) İkincil kuvvetler: Van der Waals kuvvetleri, dipol-dipol etkileşimleri, indüklenmiş dipol-dipol etkileşimleri, hidrojen bağları ve asit-baz iç etkileşimlerini içerir. Bu kuvvetlerin bağ enerjileri 0.08-40 KJ/mol arasında değişir.

İki katı yüzey arasında oluşan çekim kuvveti, birbirinden bir nanometre kadar ayrılan yüzeyler arasındaki kuvvetlerin bir ölçüsüdür ve yaklaşık 100 MPa olarak hesaplanır. Bu değer, yapıştırma bağlantısının mukavemetinden daha yüksektir. Bağlantı işlemi esnasında oluşan boşluklar ve diğer kusurlar, bağlantı mukavemetinin teorik ve deneysel değerleri arasındaki büyük farka neden olmaktadır. Ancak, bağlantı mukavemetinin bu kadar yüksek olmasının ana sebebi, ikincil bağ kuvvetleridir, bu bağ kuvvetleri yapıştırma bağlantısında önemli bir rol oynamaktadır.

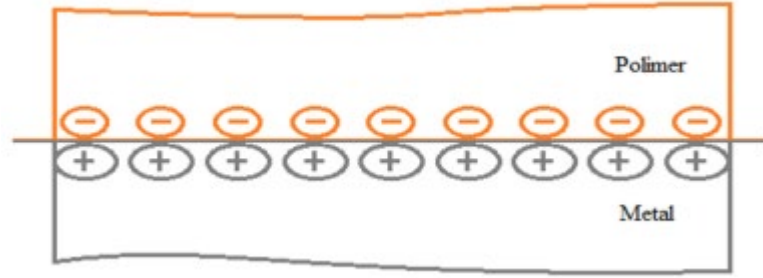
Yapıştırma bağlantısı için yüzey analiz teknikleri, ara yüzey bağlantısının bazı yönleri hakkında fikir vermesine rağmen, birincil kuvvetlerin yapıştırma bağlantısındaki katkısını değerlendirmek oldukça zordur. Bu nedenle, bağlantı mukavemeti ile ilgili teorik ve deneysel sonuçların farklılığı, yapıştırma süreçlerinin karmaşıklığını ve bağlantıda etkili olan faktörlerin anlaşılmasını zorlaştırır (Çitil, 2012).

### 2.1.6.3. Elektrostatik Teorisi

Yapıştırıcı ile esas malzeme arasındaki elektron transferinin, yapışmanın oluşmasını sağlayan bir çekim yükü ürettiğini ileri sürmüştür. Bu teori, yapıştırıcı ve esas malzeme arasındaki bağı bir kapasitöre benzetir. Kapasitörün plakaları birbirinden ayrıldığında, şarj boşalır ve bu süreçte artan bir potansiyel meydana gelir. Bu teori, yapışma mekanizmasını açıklamak için önerilen en tartışmalı teorilerden biridir. Çünkü farklı araştırmacılar, mekanizmada oluşan kuvvetlerin büyüklüğü ve etkisinin ne olduğu konusunda farklı görüşlere sahiptirler (Deryaguin, 1948).

Hesaplanan elektrostatik kuvvetleri Van der Waals kuvvetleriyle karşılaştırarak metal-yapıştırma bağlantısındaki yapışma işini deneysel olarak ölçtüler. Yapılan deneyler sonucunda, elektrostatik kuvvetlerin yapışmaya katkısının Van der Waals kuvvetlerinin yanında oldukça küçük olduğu tespit edildi. Ayrıca, ölçülen yapışma işinin elektrostatik ve Van der Waals kuvvetlerin toplamından daha büyük olduğu sonucuna ulaşıldı (Çitil, 2012)

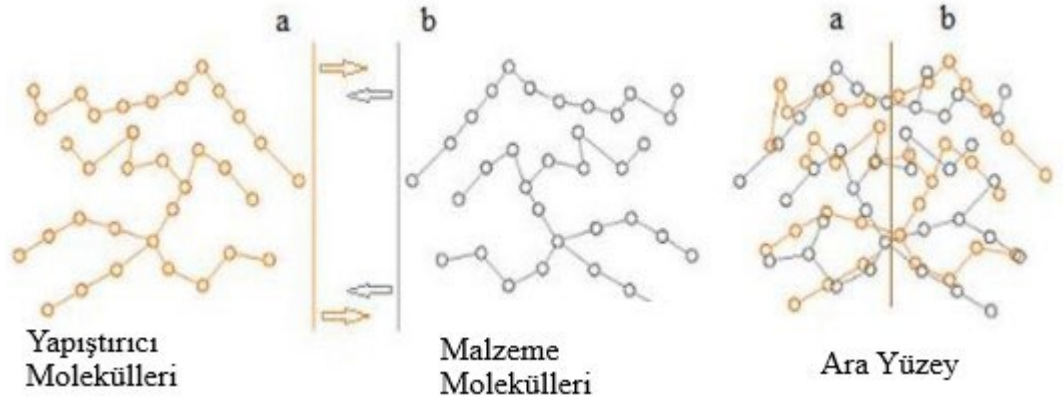
Kondansatöre benzetilen bu teoriye göre, yapıştırıcı ve substrat arasındaki birbirini çeken zıt yükler, yapışma mekanizmasını oluşturmaktadır (Çam, 2016). Bu teori özellikle (Şekil 2.5) polimer ve metalik malzemeler gibi birbiriyle uyumsuz yapıdaki malzemeler için uygundur (Yang, 2001).



Şekil 2.5. Polimer ve metal arasındaki elektriksel tabaka oluşumu (Sun, 2008)

#### 2.1.6.4. Difüzyon Teorisi

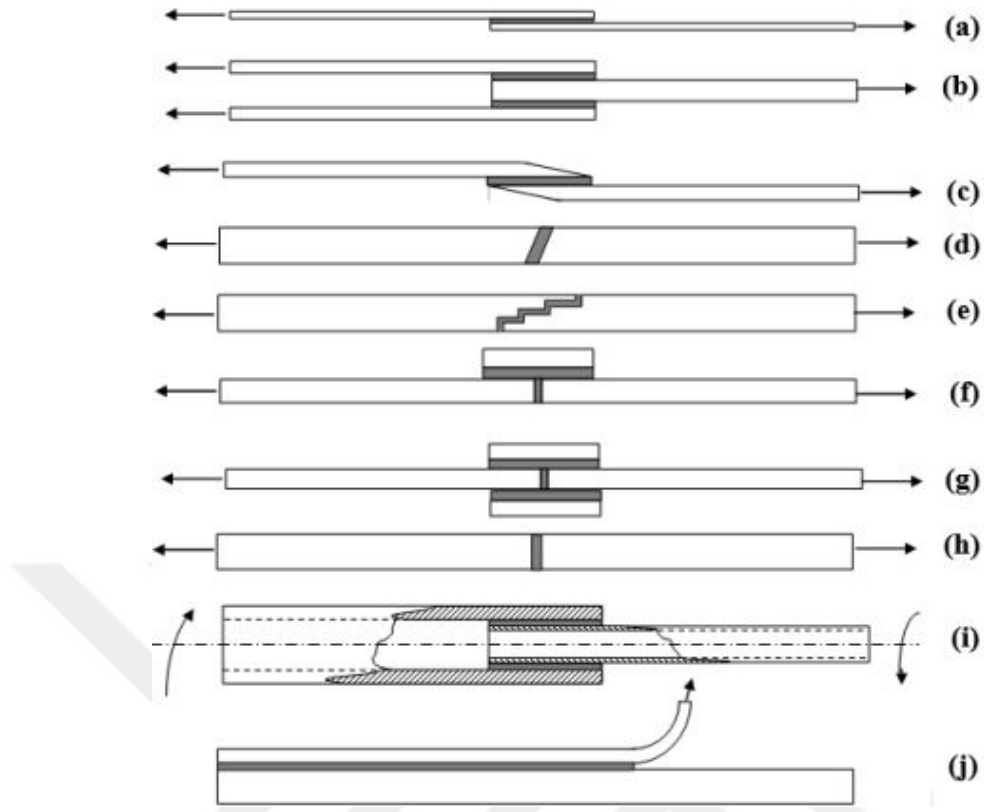
Yapıştırıcı ve malzeme arasında moleküler seviyede gerçekleşen difüzyon, yapışma mekanizmasının bir parçasıdır. Oluşan difüzyonun derecesi, yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme arasındaki moleküllerin uygunluğuna ve yapıştırılan malzemenin hacmine bağlı olarak değişir (Carpenter, 1999). Bu teori (Şekil 2.6), iki komşu faz arasında molekül alışverişini kabul eder (Voyutski, 1963).



Şekil 2.6. Yapıştırıcı ve malzeme moleküllerin difüzyonu

#### 2.1.7. Yapıştırma Bağlantı Çeşitleri

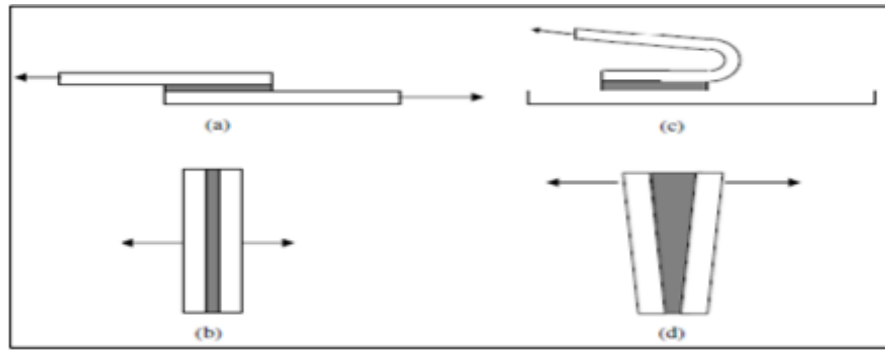
Yapıştırma bağlantılarının, kullanılacak bölgedeki yükleri taşıyabilmesi ve mekanik özelliklere sahip olabilmesi için belirli koşulların gerekliliği vardır. Yapıştırıcı türü, yüzey kalitesi, yüzey hazırlama ve yapıştırıcı kalınlığı gibi faktörler tasarım sürecinde dikkate alınmalıdır. Tasarım yapılırken yapıştırma bağlantılarının maruz kalacağı yük ve gerilmeler de göz önünde bulundurulmalıdır. Yapıştırma bağlantılarının günümüzde birçok farklı tipi mevcuttur. En çok kullanılan yapıştırma bağlantı tipleri Şekil 2.7' de gösterilmiştir (Saraç, 2018).



**Şekil 2.7.** Genel olarak kullanılan 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) silindir bağlantı, (j) soyulma bağlantı (Adin, 2007)

### 2.1.7. Yapıştırma Bağlantılarına Etki Eden Kuvvetler

Yapıştırma bağlantılarını etkileyen dört önemli gerilme durumu vardır: çekme, çekme-makaslama (cleavage), soyulma (peel) ve kesme gerilmeleri. Bu gerilmeler, tasarımların yapıştırma bağlantı mukavemetini en iyi düzeyde elde edebilmesi için göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, tasarım aşamasında bu gerilmelerin etkileri oldukça önemlidir. Şekil 2.8’de yapıştırma 15 bağlantılarında etkili olan (a) Kesme, (b) Çekme, (c) Soyulma, (d) Çekme-makaslama, dört önemli gerilme durumu verilmiştir (Temiz, 2003).



Şekil 2.8. Gerilme Tipleri (Temiz, 2003)

### 2.1.8 Yapıştırma Bağlantılarında Meydana Gelen Hasar Çeşitleri

Yapıştırıcının farklı uygulama ve yük koşullarında mekanik özelliklerini tam olarak anlamak ve hasar çeşitlerini sınıflandırmak için temel hasar modellerinin belirlenmesi gereklidir. Yapıştırma bağlantılarında genellikle iki tür hasar modeli ile karşılaşılır: adezyon ve kohezyon hasarı. Temel hasar türleri Şekil 2.9'da gösterilmiştir (ISO 10365, 1992).

|                                               | Hasar Tipleri                                                                                                                                           | Tanımlama Şekli |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Yapıştırılan malzemede meydana gelen hasarlar | <br>Yapıştırılan malzemelerin biri veya ikisinde de hasarın oluşması | YH              |
|                                               | <br>Kohezyon yapıştırılan malzeme hasarı                             | KYH             |
|                                               | <br>Kalkma (Delaminasyon) yoluyla hasar                              | DH              |
|                                               | <br>Kohezyon hasarı                                                  | KH              |
| Yapıştırıcıda meydana gelen hasarlar          | <br>Özel kohezyon hasarı                                             | ÖKH             |
|                                               | <br>Adezyon hasarı                                                   | AH              |
|                                               | <br>Adezyon hasarı                                                   | AH              |

Yapıştırılan Malzeme Hasarı



Adhezyon Hasarı



Yapıştırıcı

Kohezyon Hasarı



Yapıştırıcı

Şekil 2.9. Temel hasar tipleri (ISO 10365, 1992)



### 2.1.9. Metallerin Yüzey İşlemleri Ve Yapıştırma İçin Yüzey Hazırlanması

Metaller yüksek enerjili yüzeylere sahip olduğundan, atmosferdeki yağları ve diğer kirlenmeleri emerler. Bu nedenle, kaliteli bir yapışkan bağ elde etmek için metal yüzeylerinin temizlenmesi ve (zımparalanarak) hazırlanması gerekmektedir. Metalik bir numunenin yüzeyinin hazırlanması, her zaman uygulanmayan birden fazla adım içerir (Ebnesajjad, 2011).

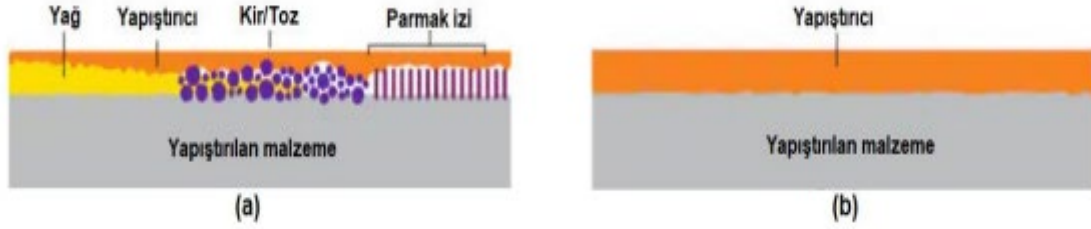
Bu adımlar aşağıda listelenmiştir:

- a) Çözücü ya da kimyasalla temizlemek
- b) Korozyon direncinin artırılması
- c) Malzeme yüzeyinin astarlanması
- d) Mekanik veya kimyasal yöntemlerle yüzeyi güçlendirmek için sertleştirme.

Optimum yapıştırma sonuçları elde etmek için uygun yüzey hazırlığı şarttır. Yapışma kuvveti, yapıştırıcı ile birleştirilen yüzeyler arasındaki yapışmaya bağlıdır. Yüzeylerin ne kadar dikkatli hazırlanıp temizlendiği, yapışkan bağların gücünü etkiler. Yüzeyler uygun şekilde hazırlandığında ve temizlendiğinde, yapıştırma bağları daha sağlam olur. Bu nedenle, yüzeylerin doğru hazırlanması ve temizlenmesi, yapıştırma sürecinde başarı için hayati öneme sahiptir (Şekil 2.10). Yapışma işleminin yapılabilmesi için aşağıdaki işlemlerin olması gerekir;

- ✓ Yapıştırılacak yüzeylerin istenmeyen kirli, yağlı katmanlardan arındırmak (taşlama, zımparalama yöntemiyle)
- ✓ Astarla kaplama yapıp yeni bir yüzey oluşturmak
- ✓ Yapışmayı desteklemek için yüzey aktivitesinin değiştirilmesi için aşındırma, plazma kaplama vb. gibi yöntemler kullanılabilir.

Cowdrey ve ark. (1998), bu yöntemlerle yüzeyin fiziksel ve kimyasal özellikleri değiştirilerek, yapıştırıcının daha iyi bağlanmasına ve güçlü bir yapışma sağlanmasına katkıda bulunulur. Aşındırma işlemiyle yüzey pürüzlendirilebilir, plazma kaplama ise yüzeyin kimyasal özelliklerini değiştirerek daha iyi yapışma sağlayacak bir yüzey tabakası oluşturulabilir. Bu tür yüzey modifikasyonları, yapışma gücünü artırarak yapıştırılan malzemeler arasındaki bağın daha dayanıklı olmasını sağlar.



Şekil 2.10. Yağ giderme işlemi (a) öncesi ve (b) sonrası şematik görünümü (3m.com, 2021).

## 2.2. Nanopartiküller

Nanopartiküller, boyutları nanometre düzeyinde olan parçacıklardır. Bir nanometre(nm), bir metrenin milyarda biri kadar uzunluğa denk gelir ve nm boyutunda parçacıklar, genellikle 1 ila 100 nm arasında değişen çaplarına sahiptir. Nanopartiküller, bir boyutları nanometre düzeyinde olduğu için özellikle nanoteknoloji alanında büyük ilgi görmüş ve çeşitli uygulama alanlarında kullanılmışlardır.

Nanopartiküller, doğal olarak oluşabileceği gibi, laboratuvar koşullarında sentezlenebilirler. Metaller, seramikler, polimerler ve diğer çeşitli malzemelerden nanopartiküller üretilir. Nanopartiküllerin özellikleri, büyük parçacıkların özelliklerinden farklı olabilir. Bu, yüzey alanı ve hacim oranının büyük olması nedeniyle nanopartiküllerin farklı kimyasal, fiziksel ve optik özelliklere sahip olabilmelerinden kaynaklanır.

Nanopartiküller, birçok alanda çeşitli uygulamalara sahiptir. Nanoteknoloji, ilaç taşıyıcıları, güneş hücreleri, katalizörler, elektronik cihazlar, tekstil ürünleri, kozmetik ürünler ve daha pek çok alanda nanopartiküllerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu alanlarda, nanopartiküllerin özel özellikleri ve büyük yüzey alanı, daha etkili ve verimli ürünlerin geliştirilmesine imkân tanır.

Ancak, nanopartiküllerin kullanımı ve etkileri hala araştırma konusudur. Özellikle insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri, dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Nanopartiküllerin olası toksik etkileri ve çevresel etkileri, kullanımları öncesinde iyi anlaşılmalı ve kontrollü bir şekilde yönetilmelidir. Bu nedenle, nanopartiküllerin kullanımı konusunda dikkatli bir yaklaşım gereklidir.

### (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) alüminyum oksit kullanım alanları:

- ✓ Alüminyum oksit nano tozu yüksek sertlik ve yüksek boyutsal stabilite gösterir.

- ✓ Kauçuk, plastik ve seramik için tokluğu, aşınma direncini, ısıl yorulma direncini ve seramik yoğunluğunu iyileştirmek için kullanılır.
- ✓ Yüksek mukavemetli alüminyum oksit seramikte, yüksek saflıkta potalarda, fırın tüplerinde ve kesici aletlerde kullanılır.
- ✓ Metal ürünlere, yarı iletkenlere, bantlara, parlatma malzemelerine ve cam ürünlere eklenir.
- ✓ Alüminyum oksit nanoparçacıkları uzak kızılötesi emisyon için mükemmel özelliklere sahiptir. Fiber kumaş ürünlerinde ve infrared emisyon ve ısı yalıtım malzemesi olarak yüksek basınçlı sodyum lambada kullanılır. Ek olarak, katalizör alanında katalizör veya katalizör taşıyıcı olarak kullanılır [<https://shop.nanografi.com.tr/>].

#### **(TiO<sub>2</sub>) titanyum dioksit kullanım alanları:**

- ✓ Titanyum Oksit nano tozu kimya endüstrisinde geniş uygulamalara sahiptir. Kozmetik, güzellik ve beyazlatıcı krem, kaybolan krem, cilt koruyucu krem, doğal beyaz nem koruma kremi, pudra makyaj ve diğer kozmetik krem ürünleri gibi ürünlerde kullanılır.
- ✓ Plastik kaplama, gıda ambalaj malzemeleri ve baskı mürekkepleri gibi kaplamalarda kullanım alanı vardır. Ayrıca fotokatalistler, UV ışınlarına dayanıklı malzemeler, antibakteriyel malzemeler, kanalizasyon arıtma ve kendi kendini temizleyen cam ve seramik uygulamalarında da kullanılmaktadır.
- ✓ Titanyum oksit nanoparçacıkları metalürji, kâğıt ve astronotizm endüstrisinde kullanılır. Kâğıtların etkilene bilirliliğini ve opaklığını geliştirmek ve titanyum, ferrotitanyum alaşımı, karbür alaşımları üretmek için kullanılır [<https://shop.nanografi.com.tr/>].

### **2.3. Alüminyum alaşımları**

Davis (1996), Alüminyum alaşımı sembollerle gösterilir. İlk hane hangi grup olduğunu belirler. Gruplar ana alaşım malzemesine göre belirlenir:

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Alüminyum $\geq 99,00$ % | 1*** |
| Bakır                    | 2*** |
| Manganez                 | 3*** |

|                       |      |
|-----------------------|------|
| Silisyum              | 4*** |
| Magnezyum             | 5*** |
| Magnezyum ve silisyum | 6*** |
| Çinko                 | 7*** |
| Diğer elementler      | 8*** |

1xxx serisi alüminyum alaşımlarında, "10xx" ifadesi alaşımlanmamış doğal empüritelerle karakterize edilen bileşimlere atıfta bulunur. Son iki hane, alüminyum oranının ondalık kısmını gösterir ve minimum alüminyum içeriğini belirtmek için kullanılır. İkinci hane bazen 0'dan farklı bir değere sahip olabilir, bu da 1 veya daha fazla empüritenin özel kontrolünü temsil eder.

5\*\*\* serisi alüminyum serisinde ana alaşım Magnezyum (Mg) dur. Bu alaşımın özellikleri arasında yüksek korozyon dayanımı ve iyi kaynaklana bilirliliği görülür.

2xxx'den 8xxx'e kadar olan alüminyum alaşımlarında, ikinci hane alaşımın modifikasyonunu gösterir. Eğer ikinci hane "0" ise, alaşım orijinal bir alaşımdır. Ancak, ikinci hane "0" değilse, orijinal alaşımın modifiye edildiğini gösterir. İkinci hane, alaşımın tamamen yeni bir alaşım olup olmadığını veya önceden kaydedilmiş bir alaşımın sadece bir modifikasyonunu belirlemek için kullanılır. Son iki hane ise özel bir öneme sahip değildir ve o alaşım grubu içinde farklı bir alaşımı tanımlamak için kullanılır.

### 2.3.1. 5xxx serisi Alüminyum alaşımının genel özellikleri

Alper (2003), Kimyasal bileşimi: AA5754 alaşımı, alüminyum (Al) ile birlikte magnezyum (Mg) ve manganez (Mn) gibi çeşitli elementleri içerir. Genellikle yaklaşık olarak %3 magnezyum ve %0,3 manganez içerir.

- ✓ Özellikler: AA5754 alaşımı, yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci ve iyi kaynaklanabilirlik gibi özelliklere sahiptir. Ayrıca, yüksek şekillendirme kabiliyetine sahip olması nedeniyle otomotiv parçaları gibi karmaşık şekillere sahip ürünlerin üretiminde tercih edilir.
- ✓ Uygulamalar: AA5754 alaşımı, otomotiv sektöründe geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle araç gövdesi, kapılar, şasi parçaları, jantlar ve yakıt depoları gibi bileşenlerin üretiminde sıklıkla kullanılır. Ayrıca, denizcilik endüstrisinde de kullanılabilir, çünkü tuzlu suya karşı dayanıklılık gösterir.
- ✓ İşlenebilirlik: AA5754 alaşımı, düşük sıcaklıklarda dövülebilir, haddeleyebilir ve şekillendirilebilir. Ayrıca kaynaklanması da oldukça kolaydır. Bu

işlenebilirlik özellikleri, alaşımın endüstriyel üretim süreçlerinde kullanımını kolaylaştırır.

- ✓ Korozyon direnci: AA5754 alaşımı, yüksek korozyon direncine sahiptir. Özellikle deniz suyu ve tuzlu ortamlar gibi agresif koşullarda dayanıklılık gösterir. Bu özellik, deniz araçları ve denizcilik ekipmanları gibi uygulamalarda tercih edilmesinin nedenlerinden biridir.
- ✓ Mekanik özellikler: AA5754 alaşımı, yüksek mukavemete sahiptir. Tipik olarak, 100 MPa ila 250 MPa arasında çekme mukavemetine ve 30 MPa ila 150 MPa arasında akma mukavemetine sahip olabilir. Bu değerler, alaşımın kullanıldığı uygulamaya ve işleme yöntemine bağlı olarak değişebilir.



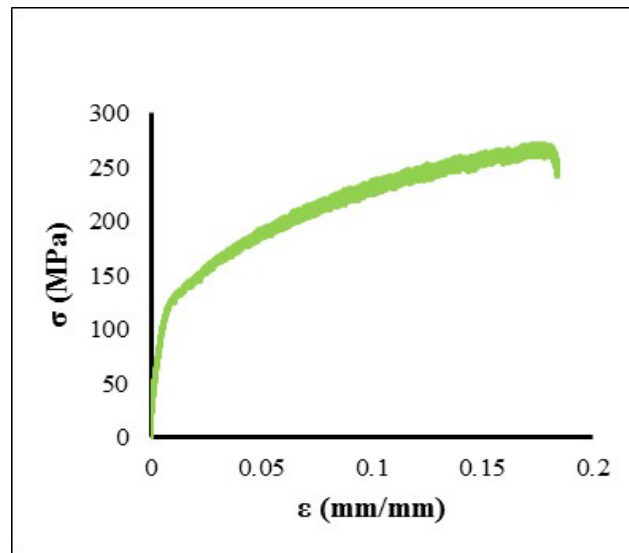
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada deniz suyu ve endüstriyel kimyasal gibi sıra dışı ortamlara karşı kullanım açısından iyi bir performans sergileyen AA5754 alüminyum alaşım malzemesi, yapıştırılan malzeme olarak kullanılmıştır. Yapıştırıcı malzeme olarak ise 3M markasının DP410, DP460 ve DP490 serisi yapıştırıcılar kullanılmıştır. Yapıştırma tekniği kullanılarak yapılan bu çalışmada, yapıştırma bağlantılarında daha iyi bir bağlantı mukavemeti elde etmek için DP410, DP460 ve DP490 yapıştırıcıları içerisinde farklı takviye oranlarında  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  nano partikülleri kullanılmıştır.

#### 3.1. Malzeme

##### 3.1.1 AA5754 alaşımı

AA5754 alüminyum alaşımının kaynak kabiliyeti ile yorulma dayanımı yüksek, deniz suyu korozyonuna dayanıklı ve yumuşak temper formunda soğuk işlenebilirliği iyi olması gibi özelliklerinden dolayı gemi inşaat sektöründe, kimyasal cihazlarda, depolama tanklarında, basınçlı kaplarda, katlanabilir köprülerde, kaynaklı kamyon gövdelerinde, askeri araç gövde ve zırhlarında kullanımı yaygındır. Şekil 3.1’de AA5754 alaşımının gerilme-gerinme grafiği verilmiştir. Çizelge 3.1’de ise mekanik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.1. AA5754 malzemesinin gerilme-gerinme grafiği (Çetkin, 2021)

**Çizelge 3.1.** AA5754 mekanik özellikleri

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Elastisite Modülü | 78.586GPa   |
| Kayma Modülü      | 25.9GPa     |
| Poisson Oranı     | 0.324       |
| Akma Dayanımı     | 140 MPa     |
| Çekme Dayanımı    | 272.0561MPa |

### 3.1.2. Yapıştırıcı malzemeleri

Yapılan bu tez çalışmasında 3M markasının DP410, DP460 ve DP490 epoksi yapıştırıcıları kullanılmıştır. Bu malzemelerin epoksi ve hızlandırıcı olmak üzere iki adet bileşeni vardır. Hacimsel olarak epoksi/hızlandırıcı oranı 2/1 olduğunda yapıştırıcı yüksek dayanım göstermektedir. Bu oranı sağlamak için özel helezonik uçlar kullanılır. (Şekil 3.2)

**Şekil 3.2** 3M (2023), DP410, DP460, DP490 epoksi yapıştırıcılar ve karıştırıcı özel helezonik uç

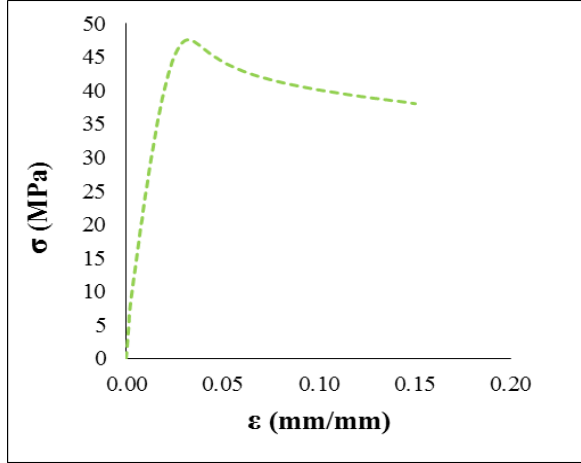
Bu yapıştırıcılara ve yapıştırma malzemesi olan AA5754 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri Çizelge 3.2.' de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri

| Malzeme | Çekme Mukavemeti (Mpa) | Elastik Modülü (Mpa) |
|---------|------------------------|----------------------|
| DP 410  | 46.616                 | 2283.69              |
| DP 460  | 44.616                 | 2017.1               |
| DP 490  | 30.112                 | 1243.78              |
| AA5754  | 2.720.561              | 78586                |

Epoksi yapıştırıcıları olan 3M Scotch-Weld™ DP410, DP460 ve DP490 markasının fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.6. de gösterilmiştir.

Şekil 3.3'te DP410 yapıştırıcı malzemenin gerilme-gerinme grafiği ve Çizelge 3.3'te mekanik özellikleri verilmiştir.

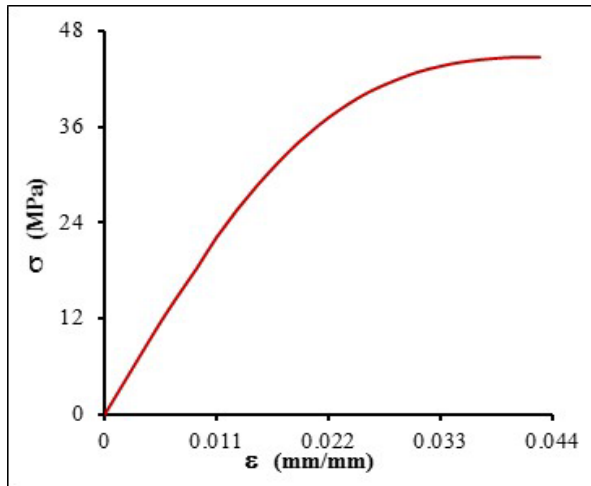


**Çizelge 3.3** DP410 mekanik özellikleri

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Elastisite Modülü | 2283.69 MPa |
| Poisson Oranı     | 0.42        |
| Çekme Dayanımı    | 46.616 MPa  |

**Şekil 3.3** DP410 gerilme-gerinme grafiği (Çetkin E. 2022)

Şekil 3.4'te DP460 yapıştırıcı malzemenin gerilme-gerinme grafiği ve Çizelge 3.4'te mekanik özellikleri verilmiştir.



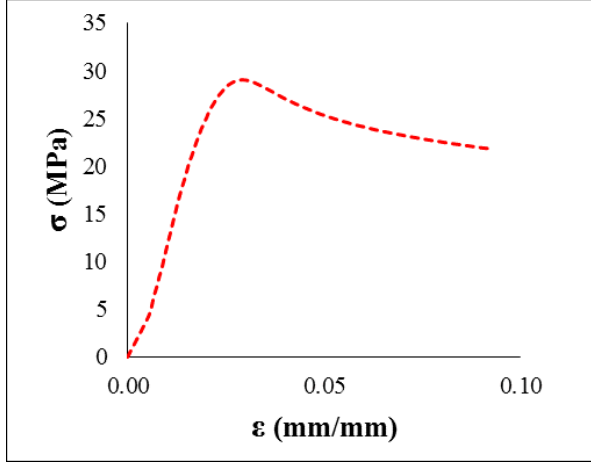
**Çizelge 3.4** DP460 mekanik özellikleri

|                   |            |
|-------------------|------------|
| Elastisite Modülü | 2077.1 MPa |
| Poisson Oranı     | 0.38       |
| Çekme Dayanımı    | 44.616 MPa |

**Şekil 3.4** DP460 Malzemesinin gerilme-gerinme grafiği (Çetkin, 2021)

Şekil 3.5'te DP490 yapıştırıcı malzemenin gerilme-gerinme grafiği ve Çizelge 3.5'te mekanik özellikleri verilmiştir.





**Çizelge 3.5** DP490 mekanik özellikleri

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Elastisite Modülü | 1243.78 MPa |
| Poisson Oranı     | 0.38        |
| Çekme Dayanımı    | 30.112 MPa  |

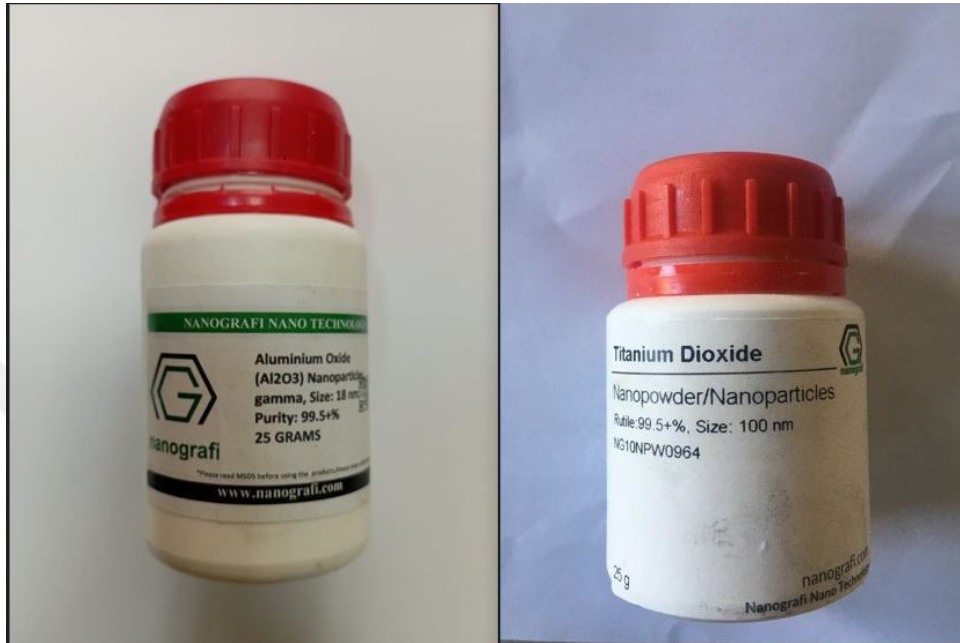
**Şekil 3.5.** Malzemesinin gerilme-gerinme grafiği (Çetkin E. 2022 DP490)

**Çizelge 3.6.** DP410, DP460 ve DP490 epoksi yapıştırıcılarının fiziksel özellikleri  
(<https://www.egebant.com.tr/tr/p/?3m-yapisal-yapistiricilar/217>)

| Ürün Kodu | Marka | Yapışkan Cinsi | Vizkozite     | Renk        | Açık Kalma Süresi (dak) | Kürleşme Süresi (dak) | Uygulama Alanı                                                                                                                                                              |
|-----------|-------|----------------|---------------|-------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3M DP410  | 3M    | Epoksi         | Tiksotropik   | Kirli Beyaz | 8-10 dk.                | 25-30 dk.             | Sertlik, güç ve hızlı kürlenmenin gerekli olduğu uygulamalar için tasarlanmıştır. Metal, cam, seramik, plastik, kompozit yüzeylerde kullanılır.                             |
| 3M DP460  | 3M    | Epoksi         | Kısmi Akışkan | Mat Beyaz   | 60 dk.                  | 250-300 dk.           | Çevre ve kimyasal direnci yüksektir. Titreşime ve darbeye ekstra dayanıklı, sert, güçlü bağlar kurar.                                                                       |
| 3M DP490  | 3M    | Epoksi         | Tiksotropik   | Siyah       | 180 dk.                 | 200-240 dk.           | Demiryolu ve otomotiv gibi ulaşım uygulamaları ve havacılık sektörlerinde kullanılır. Statik ve dinamik yükler altında darbeye karşı yüksek direnç ve olağanüstü stabilite. |

### 3.1.3 Nanopartiküller

Yapılan bu tez çalışmasında ticari olarak nanografi firmasından temin edilen iki (2) farklı nano-partikül takviyesi kullanılmıştır. Bu nano-partiküller  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$ 'dir. (Şekil 3.6)



Şekil 3.6 Deneylerde kullanılan nanopartikül takviyeleri

Çizelge 3.7' da deneyde kullanılan nanopartikül takviyelerin özellikleri gösterilmiştir. Nanopartikül takviyeler epoksi yapıştırıcılar içerisine her bir yapıştırma parametresi için %2, %4 ve %6 oranlarında eklenmişlerdir.

Çizelge 3.7 Nano-partikül takviye özellikleri (Anonim,2016)

| Kullanılan Nanopartiküller    |           |         |
|-------------------------------|-----------|---------|
| Özellikler                    | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ |
| Safılık (%)                   | 99        | 99      |
| Ortalama partikül boyutu (nm) | 20        | 10-25   |
| Özgül yüzey alanı ( $m^2/g$ ) | 140       | 60      |
| Gerçek yoğunluk ( $kg/m^3$ )  | 3900      | 4100    |
| Şekilsel özellik              | Küresel   | Küresel |
| Renk                          | Beyaz     | Beyaz   |

### 3.2. Yapıştırma numunelerin hazırlanması.

2000x1500x2 mm plaka boyutlarındaki AA5754 alaşım malzeme piyasadan temin edilmiş olup 150x30x3 mm boylarında lazer plazmada kesilmiştir. Kesilen bu malzemeler press makinesinde 2mm çapındaki uçla 90° açıyla ve 30mm boyunda L şeklinde bükme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 150x30x2mm boyutlarında kesilen AA5754 malzemelerin bükülme işlemi

L tipinde bükülen AA5754 alaşımlı malzemeler yapıştırıcı ile yapılan bağlantılarda iyi bir bağlantı yapısını elde etmek için yapıştırıcı ile yapıştırılan numunelerin arasında iyi bir yapışma yüzeyi elde edilmesine bağlıdır. Bu yüzden yapıştırıcı ile yapılan bağlantılarda yapıştırılan numunelerin yapışma yüzeyi temizliğine çok önem gösterilmektedir. Yapıştırma işlemine başlamadan önce yapıştırıcı ile temas edilecek AA5754 alaşım malzemesinin her iki yüzeyi 80 zımpara ile temizlenmiştir. Daha sonra bu malzemeler aseton içerisinde 30 dakika bekletilip sonrasında kurutmaya bırakılmıştır. Daha sonra son bir yüzey kontrol işlemi yapıldıktan sonra numunelerin yapıştırma işlemine geçilmiştir.



### 3.2.1. Yapıştırma işlemleri

Numunelerin kesim ve yüzey işlemleri (zımparalama ve asetona daldırma işlemi) tamamlandıktan sonra yapıştırma işlemi aşamasına geçilmiştir. Yapıştırma işlemi için öncelikle takviyesiz olarak numunelerin yapıştırma işlemi yapılmıştır. Daha sonra DP410, DP460 ve DP490 Epoksi yapıştırıcıları içerisine %2, %4 ve %6 oranlarda  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  partikülleri ilave ederek takviyeli yapıştırıcılar yapılmıştır. Kütlece  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  partikülleri %2, %4 ve %6 oranlarında karışımların yapılabilmesi için hassas terazide ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.8’de hassas terazide DP410 ve  $Al_2O_3$  ölçümleri esnasında alınan bir görüntü verilmiştir. Takviyeli bütün yapıştırma işlemlerinde partikül oranları ile yapıştırıcılar mekanik olarak karıştırılmıştır.



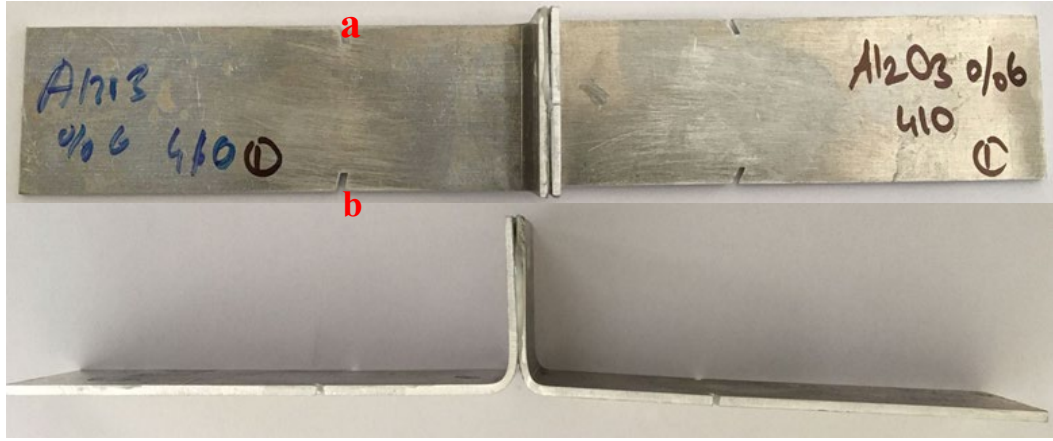
Şekil 3.8 Hassas terazi de farklı yüzdelerde (%) nanopartikül ilavesi

Farklı parametreler de yapıştırma işlemleri yapılmış bütün numuneler oda sıcaklığında 1 gün boyunca kürleşmeye bırakılmıştır. Şekil 3.9’da DP410 yapıştırıcısı,  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  partikülleri kullanılarak yapılan L tipi yapıştırma bağlantılarının oda sıcaklığında kürleşmeye bırakılma esnasında çekilen bir görüntü verilmiştir.

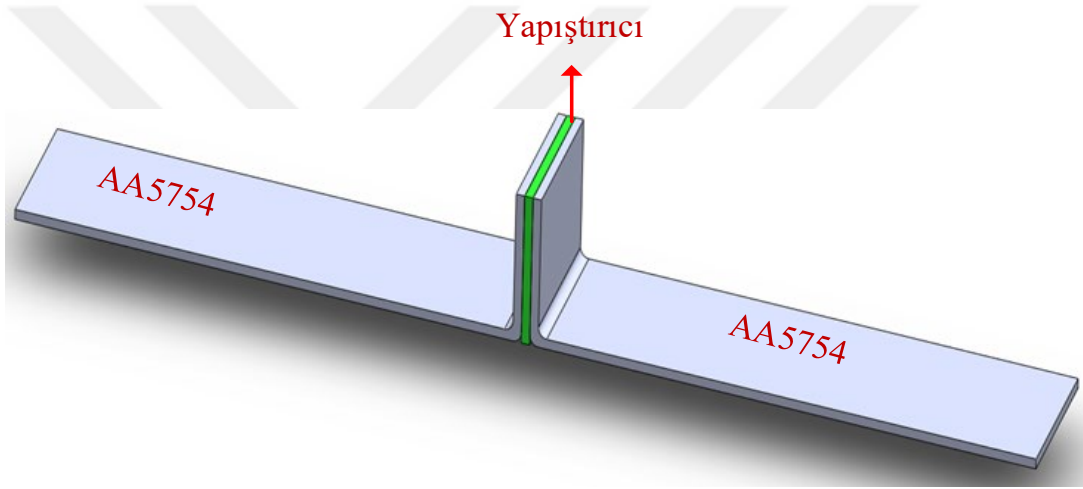


Şekil 3.9 Yapılan yapıştırma işlemi

Şekil 3.10’da L tipi yapıştırma işlemi yapılan bir numunenin yapıştırma bağlantısını göstermek için üstten (a) ve yandan (b) görüntüsü çekilmiştir. Ayrıca yapılan L tipi yapıştırma işleminde yapıştırıcı (yapıştırıcı karışımı) ile AA5754 alüminyum alaşımı arasındaki bağlantıyı daha iyi göstermek için solidworks paket programında 3D çizimi yapılmıştır. Şekil 3.11’de yapılan çizimin 3D boyutlu hali verilmiştir.



Şekil 3.10. Yapılacak olan yapıştırma işleminde düşülen numune örneği (a-Üsten görünüş, b-Yandan görünüş)



Şekil 3.11. Deneysel çalışmada yapılması gereken yapıştırma işleminin 3D çizimi

### 3.3. Çekme deneyleri

Yapılan yapıştırma bağlantılarında parametre etkilerini belirlemek için bütün numunelerin çekme testleri yapılmıştır. Bu testleri gerçekleştirmek için Batman Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünün mekanik laboratuvarında bulunan 250 kN yük hücresine sahip yer tipi Shimadzu AG-IC serisi cihazı kullanılmıştır. Bütün deneyleri 1 mm/dak ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Yapılan yapıştırma bağlantılarında hata payını minimize etmek için her bir parametrede deney üç (3) defa tekrar edilmiştir. Daha sonra bu deneylerin ortalaması alınarak çekme kuvveti- takviye oranı (%)- uzama (mm) grafikleri elde edilmiştir. Yapılan çekme deneyleri esnasında çekilen bir görüntü Şekil 3.12’de verilmiştir.





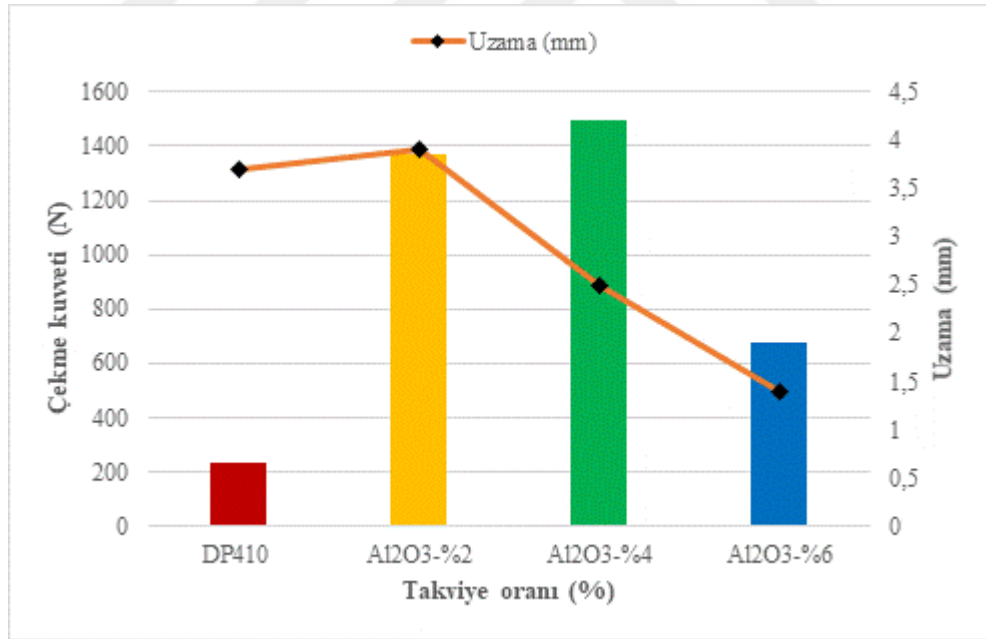
**Şekil 3.12.** Shimadzu AG-IC serisi üniversal çekme cihazı

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada AA5754 alüminyum alaşımları DP410, DP460 ve DP490 yapıştırıcısı ile takviyesiz ve  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  takviyeli olarak (%2, %4 ve %6) L tipinde yapıştırma bağlantıları yapılmıştır. Yapılan yapıştırılmalarda parametre etkilerini belirlemek için bütün numuneler çekme yüküne tabi tutulmuştur. Son olarak maksimum çekme kuvvetinin elde edildiği numunenin çekme sonrası kopma yüzeyinin makro görüntüsü alınarak hasar mekanizması belirlenmiştir. Şekil 4.1, Şekil 4.2’de DP410 yapıştırıcısı,  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  partikülleri, Şekil 4.3, Şekil 4.4’te DP460 yapıştırıcısı,  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  partikülleri ve Şekil 4.5, Şekil 4.6’da DP490 yapıştırıcısı,  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  partikülleri ile yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-takviye oranı-uzama grafikleri verilmiştir.

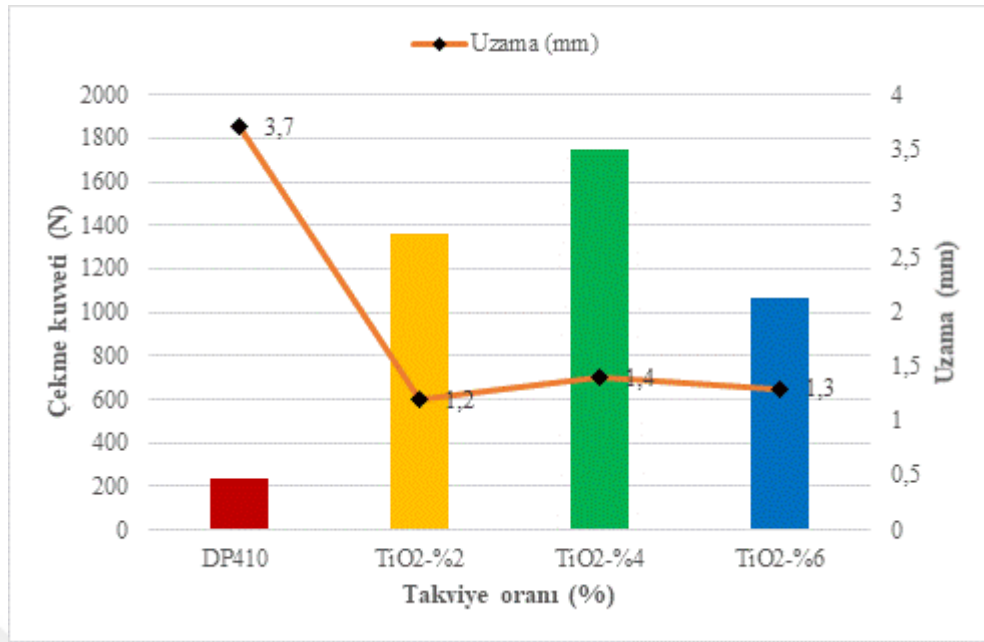
##### 4.1. Çekme Deney Sonuçları

##### 4.1.1 DP410 yapıştırıcısı, $Al_2O_3$ ve $TiO_2$ Katkılı Yapıştırma Bağlantıları



Şekil 4.1. DP410 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında  $Al_2O_3$  ile yapılan yapıştırımların çekme kuvveti ve uzama grafiği





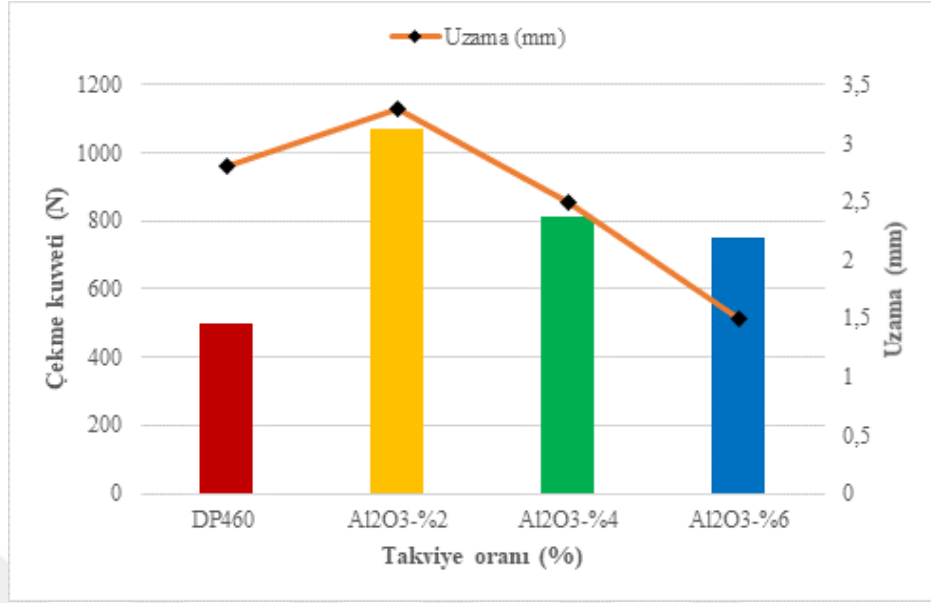
Şekil 4.2. DP410 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında TiO<sub>2</sub> ile yapılan yapıştırımların çekme kuvveti ve uzama grafiği

DP410 ile yapmış olduğumuz çekme deneyi sonuçlarında yapıştırıcı malzemeyi takviyesiz kullandığımızda 3.7mm uzaması ve 234 N maksimum çekme kuvvetine dayandığını görüyoruz. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> nanopartikül takviyelerini %2, %4 ve %6 oranlarında sırasıyla ekleyip çekme deneylerinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesinin %4 takviyesinde 1492 N ile maksimum çekme dayanımı gösterdiği ve 2.5mm uzama kaydettiğini, takviye oranının artmasıyla maksimum çekme dayanımında ve uzama miktarının düştüğünü görüyoruz. TiO<sub>2</sub> takviyesinin ise %4 ile 1750 N maksimum çekme dayanımı ve 1.4mm uzadığını, takviye oranının %4 üzerinde eklediğimizde ise çekme dayanımının büyük oranda düşmüştür. Çizelge 4.1’de toplu sonuçlar verilmiştir.

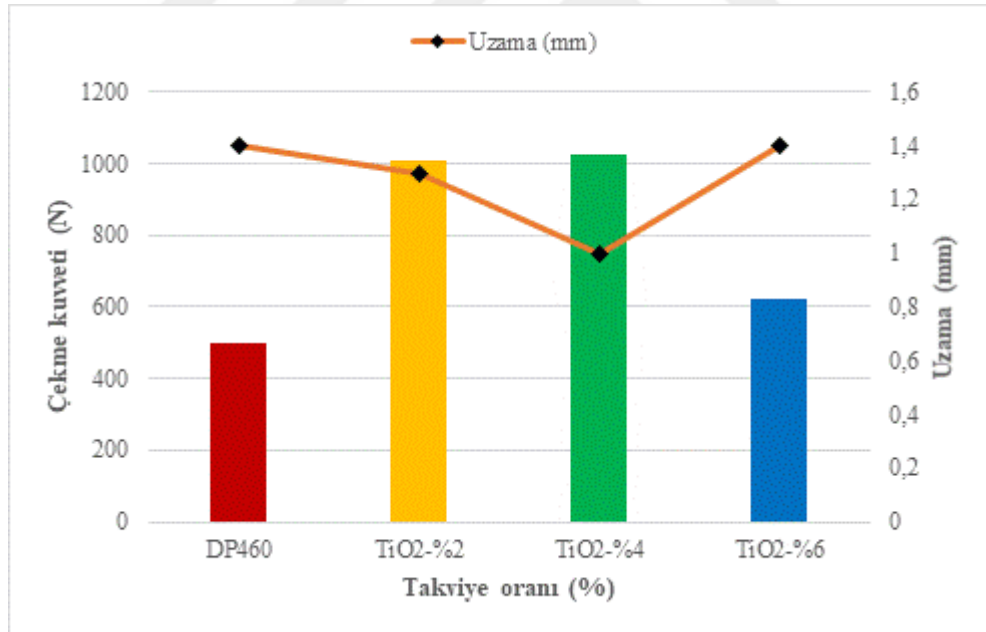
Çizelge 4.1. DP410 ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> takviyeli çekme deneyi sonuçları

| Materyal | Takviye elemanı                | Takviye oranı (%) | Uzama (mm) | Çekme kuvveti (N) |
|----------|--------------------------------|-------------------|------------|-------------------|
| DP410    | Takviyesiz                     | Takviyesiz        | 3,7        | 234               |
|          |                                | 2%                | 3,9        | 1367              |
| DP410    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4%                | 2,5        | 1492              |
|          |                                | 6%                | 1,4        | 679               |
|          |                                | 2%                | 1,2        | 1362              |
| DP410    | TiO <sub>2</sub>               | 4%                | 1,4        | 1750              |
|          |                                | 6%                | 1,3        | 1062              |

#### 4.1.2 DP460 yapıştırıcısı, $\text{Al}_2\text{O}_3$ ve $\text{TiO}_2$ Katkılı Yapıştırma Bağlantıları



Şekil 4.3. DP460 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ile yapılan yapıştırmaların çekme kuvveti ve uzama grafiği



Şekil 4.4. DP460 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında  $\text{TiO}_2$  ile yapılan yapıştırmaların çekme kuvveti ve uzama grafiği

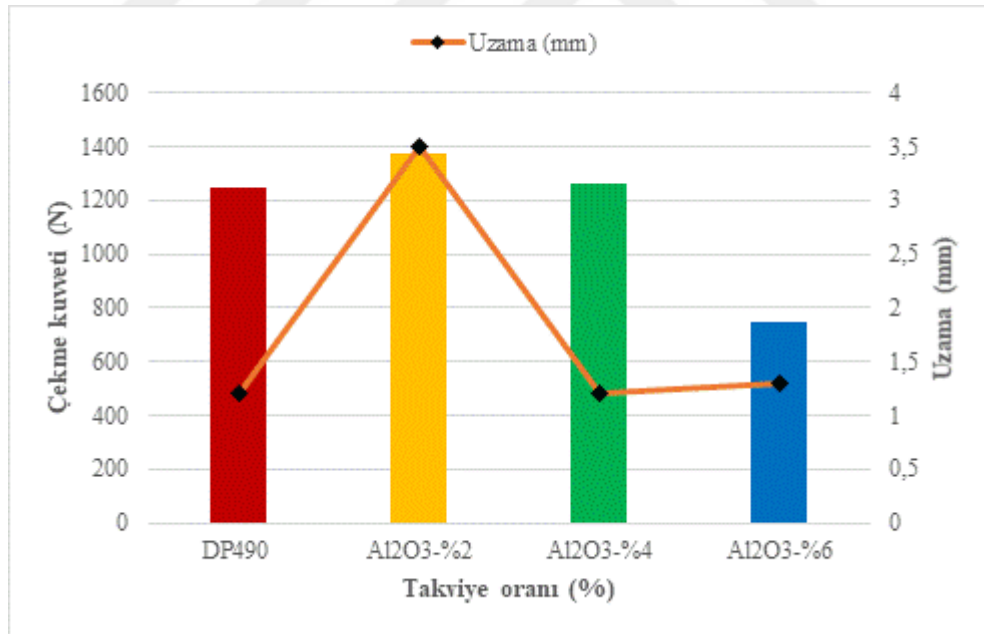
DP460 yapıştırıcı malzemesiyle yapılan çekme deneylerinde, takviyesiz yapıştırıcı malzeme kullanıldığında 2,8 mm uzama ve 500 N maksimum çekme kuvveti elde edildi. Sonraki adımda,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  nanopartiküllerini sırasıyla %2, %4 ve %6 oranlarında ekleyerek çekme deneyleri gerçekleştirdik.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  takviyesinin %2 oranında eklenmesiyle maksimum 1072 N çekme dayanımı ve 3,3 mm uzama elde ettik. Takviye

oranını artırdıkça, maksimum çekme dayanımının ve uzamanın azaldığını gözlemledik.  $\text{TiO}_2$  takviyesi %4 oranında yapıldığında 1023 N maksimum çekme dayanımı ve 1.3 mm uzama elde edildi. Ancak, %4 üzerindeki takviye oranında maksimum çekme dayanımının büyük ölçüde azaldığını ve uzama miktarının düştüğünü gözlemledik. Detayları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

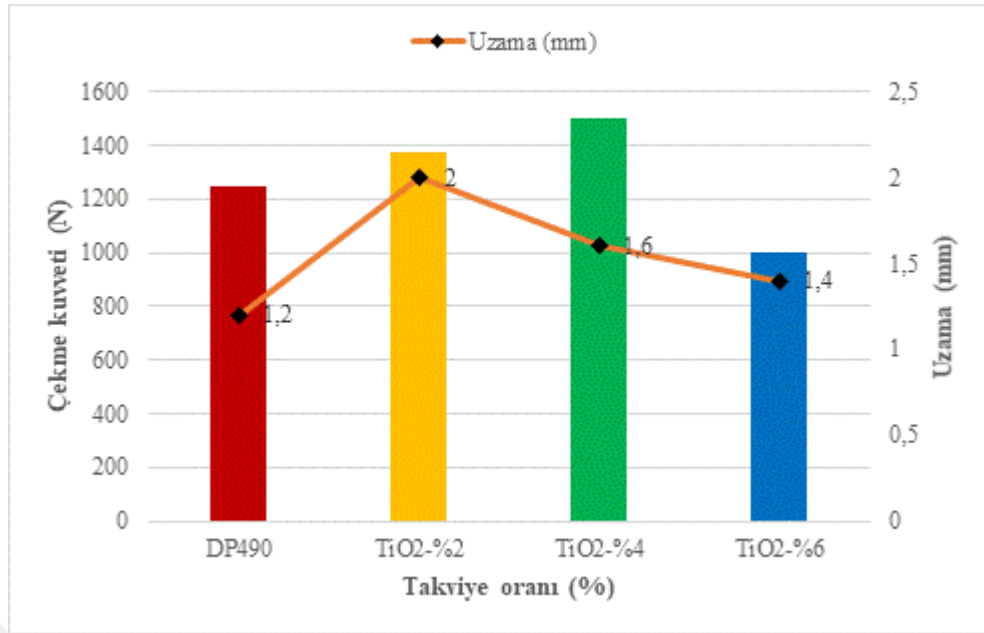
**Çizelge 4.2.** DP460 ile  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  takviyeli çekme deneyi sonuçları

| Materyal | Takviye elemanı         | Takviye oranı | Uzama (mm) | Çekme kuvveti (N) |
|----------|-------------------------|---------------|------------|-------------------|
| DP460    | Takviyesiz              | Takviyesiz    | 2,8        | 500               |
|          |                         | 2%            | 3,3        | 1072              |
| DP460    | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 4%            | 2,5        | 812               |
|          |                         | 6%            | 1,5        | 750               |
|          |                         | 2%            | 1,4        | 1007              |
| DP460    | $\text{TiO}_2$          | 4%            | 1,3        | 1023              |
|          |                         | 6%            | 1          | 625               |

#### 4.1.3 DP490 yapıştırıcısı, $\text{Al}_2\text{O}_3$ ve $\text{TiO}_2$ Katkılı Yapıştırma Bağlantıları



**Şekil 4.5.** DP490 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ile yapılan yapıştırmaların çekme kuvveti ve uzama grafiği



**Şekil 4.6.** DP490 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında TiO<sub>2</sub> ile yapılan yapıştırımların çekme kuvveti ve uzama grafiği

DP490 yapıştırıcı malzemesiyle gerçekleştirdiğimiz çekme deneylerinde, takviyesiz yapıştırıcı malzeme kullandığında 1.2 mm uzama ve 1250 N maksimum çekme kuvveti elde edilmiştir. Ardından, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerini sırasıyla %2, %4 ve %6 oranlarında ekleyerek çekme deneylerini gerçekleştirilmiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesinin %2 oranında eklenmesiyle maksimum 1375 N çekme dayanımı ve 3.5 mm uzama kaydedildi. Takviye oranını artırdıkça, maksimum çekme dayanımının ve uzamanın azaldığını gözlemlendi. TiO<sub>2</sub> takviyesi %4 oranında yapıldığında 1500 N maksimum çekme dayanımı ve 1.6 mm uzama elde edildi. Ancak, %4 üzerindeki takviye oranında maksimum çekme dayanımının büyük ölçüde azaldığını ve uzama miktarının düştüğü görülmüştür. Çizelge 4.3'te genel bütün sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** DP490 ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> takviyeli çekme deneyi sonuçları

| Materyal | Takviye elemanı                | Takviye oranı | Uzama (mm) | Çekme kuvveti (N) |
|----------|--------------------------------|---------------|------------|-------------------|
| DP490    | Takviyesiz                     | Takviyesiz    | 1,2        | 1250              |
|          |                                | 2%            | 3,5        | 1375              |
| DP490    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4%            | 1,2        | 1260              |
|          |                                | 6%            | 1,3        | 750               |
|          |                                | 2%            | 2          | 1375              |
| DP490    | TiO <sub>2</sub>               | 4%            | 1,6        | 1500              |
|          |                                | 6%            | 1,4        | 1000              |

#### 4.2. Çekme Numunelerinin Kopma Sonrası Yüzey Görüntüleri

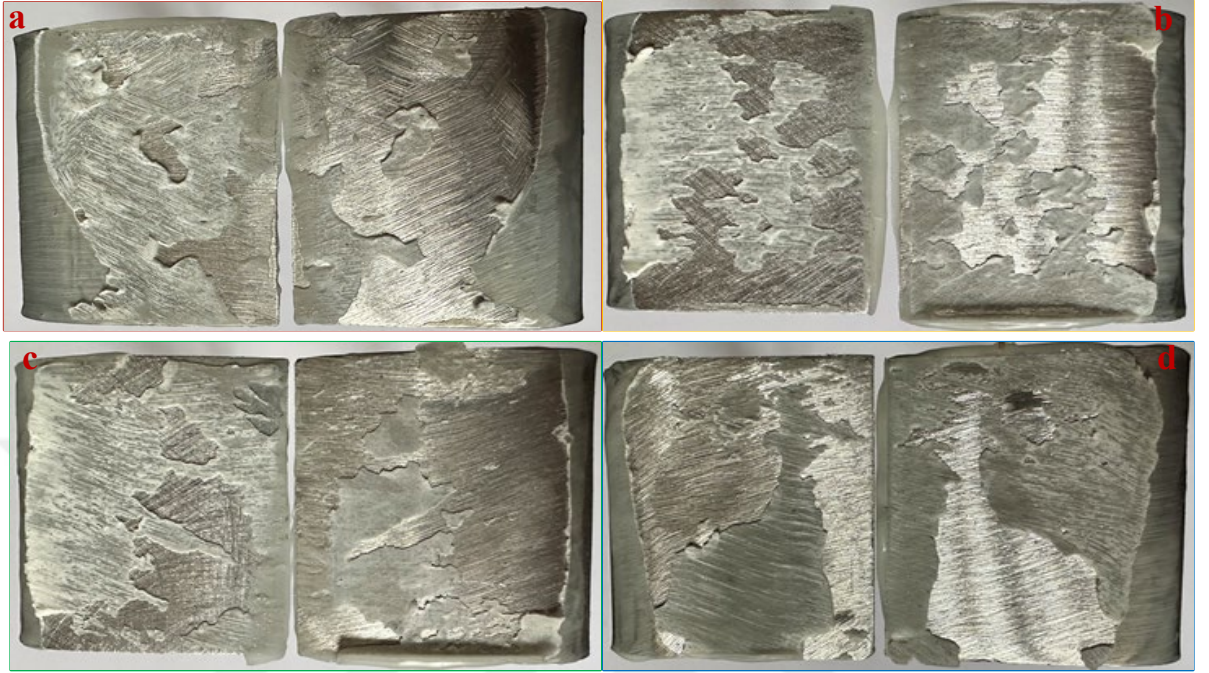
Yapıştırıcı bağlantısının yapışma mukavemeti, iki yapışma yüzeyi arasındaki adhezyon mukavemeti ve yapıştırıcı içerisindeki kohezyon mukavemetine bağlıdır. Yapıştırıcı mukavemeti belirli bir yapıştırıcı için sabitken, yapışma yüzeylerinin durumuna bağlı olarak iyileştirilebilir. Örneğin, yüzeyin uygun şekilde hazırlanması ve yapılandırılması, yapışma performansını önemli ölçüde etkileyebilir ve daha güvenilir bağlantılar elde edilmesini sağlayabilir (Topkaya ve ark., 2020). Yapıştırma bağlantısının içindeki veya yüzeydeki çatlak büyümesi ve çatlak yeri farklı hasar modları ile tanımlanmaktadır (Wong ve ark., 2017). Bunlar; (i) Yapıştırıcı hasarları yapıştırıcı ile yapıştırılan/alt tabaka arasındaki bağlantı hattı boyunca çatlamayı gösterir. (ii) Yaygın ve tercih edilen bir yapışkan bağlantı hatası türü olan kohezyon hasarları yapışkan tabaka içinde meydana gelir. (Brandtner, 2017), (iii) Bu iki türün karışık mod hasarları, hem yapışkan hem de kohezyon hasarları özelliklerine sahip farklı bağ alanlarında mümkündür. Yapılan bu tez çalışmasında partikül takviyesi ile yapılan yapıştırma bağlantılarında çekme sonrası numunelerin kopma yüzey görüntülerin hasar mekanizmalarını incelemek için makro görüntüler alınmıştır. Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de sırasıyla DP410, DP460 ve DP490 yapıştırıcıları ve  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  partikül karışımların çekme deneyleri sonrası numunelerin yüzey hasar görüntüleri verilmiştir.

##### 4.2.1 DP410 Yapıştırıcısına %2, %4 ve %6 Oranda $Al_2O_3$ ve $TiO_2$ Takviye Edilmiş Numunelerin Kopma Yüzey Görüntüsü

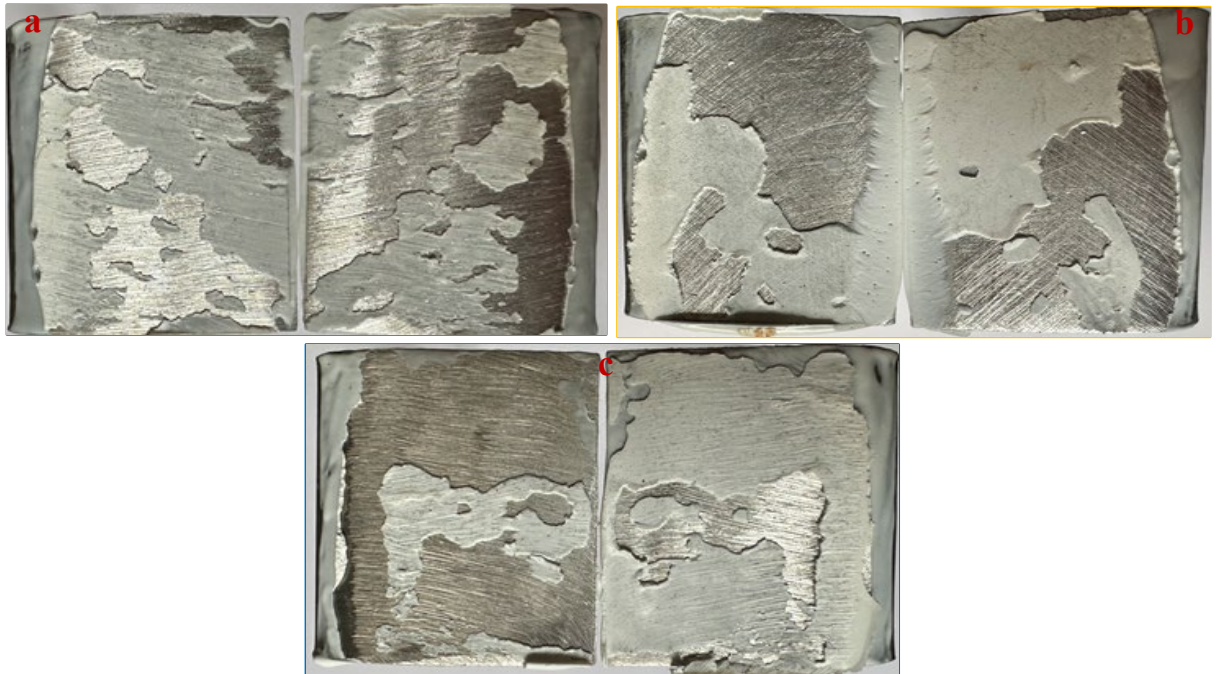
Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de DP410 yapıştırıcısı,  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  partikülleri ile yapılan yapıştırma bağlantıların çekme deneyleri sonrası numunelerin kopma (ayrılma) yüzeylerinin makro görüntüleri incelendiğinde genel kopma hasar mekanizması adhezyon kopması şeklinde gerçekleşmiştir. %2 ve %4 takviye oranlarında  $TiO_2$  partikül karışımlarının kullanıldığı yapıştırma bağlantıların makro görüntülerinde (şekil 4.8) kopma sonrasında karşılıklı her iki hasar yüzeyinde de yapıştırıcı karışımları vardır. %6 takviyeli bağlantıda ise kısmi bir şekilde bu durum görülmektedir. Çünkü hasar (ayrılma) sonrasında yapıştırıcı karışımı tek bir yapıştırma yüzeyine daha fazla kalmıştır. Şekil 4.7'de %2 ve %4  $Al_2O_3$  partikül karışım oranlarının hasar yüzeylerinde yapıştırıcı karışımı partiküllerin karşılıklı yapışma yüzeyinin her ikisinde varlığı mevcuttur. Yani burada kopma hasarları bir blok şeklinde olmamıştır. Ancak %6 takviyeli bağlantının hasar yüzeyinde kısmi tek blok şeklinde kopmanın gerçekleştiği



söylenebilir. Yapılan yapıştırma bağlantılarının çekme deney sonuçları ile kıyaslandığında bu durumun oluşturulan yapıştırma bağlantıları üzerinde etki yaptığı söylenebilir.



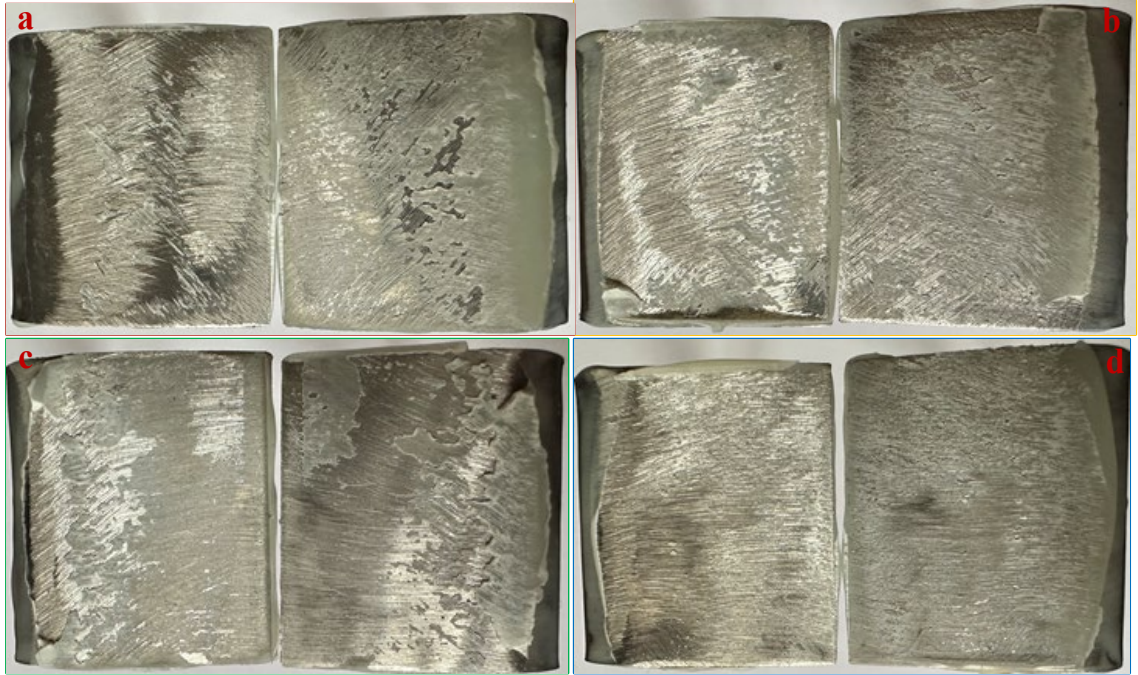
**Şekil 4.7.** DP410 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında  $Al_2O_3$  ile yapılan yapıştırmaların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri (a:DP410, b:DP410-%2, c:DP410-%4, d:DP410-%6)



**Şekil 4.8.** DP410 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında  $TiO_2$  ile yapılan yapıştırmaların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri (a:DP410-%2, b:DP410-%4, c:DP410-%6)

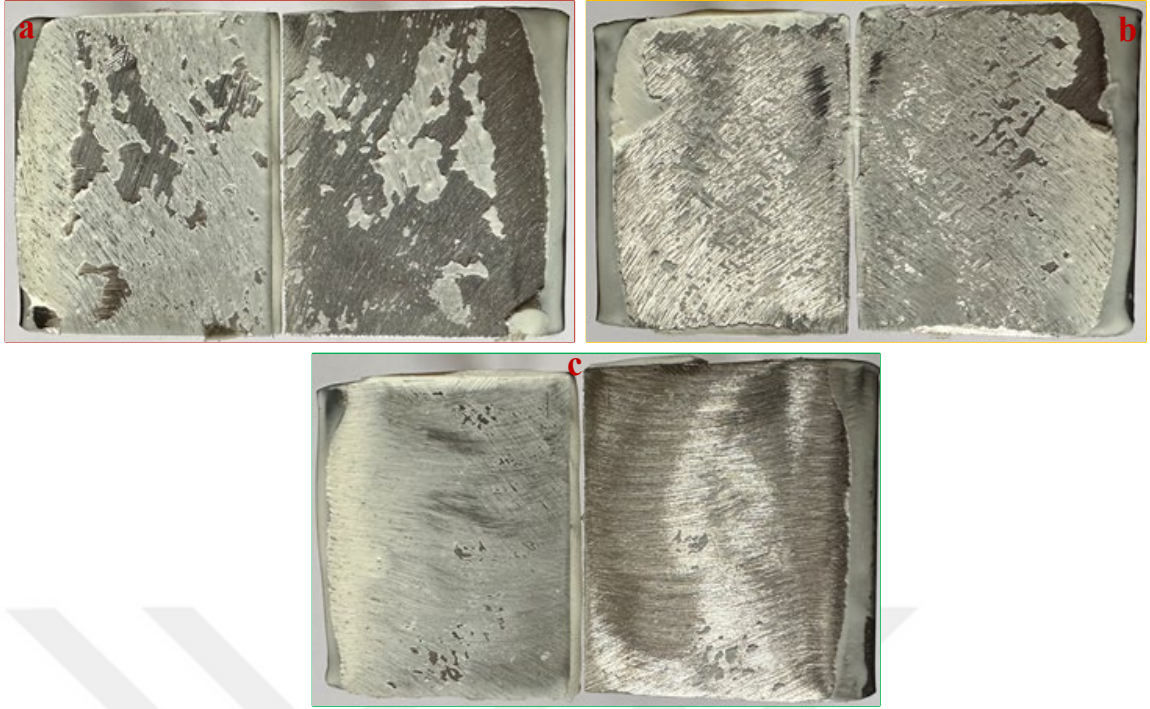
#### 4.2.2 DP460 Yapıştırıcısına %2,%4 ve %6 Oranda $Al_2O_3$ ve $TiO_2$ Takviye Edilmiş Numunelerin Kopma Yüzey Görüntüsü

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da DP460 yapıştırıcısı kullanılarak,  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  partikülleri eklenerek yapılan yapıştırma bağlantılarının çekme deneyleri sonrasında, numunelerin kopma (ayrılma) yüzeylerinin makro görüntüleri incelendi. Genel olarak, kopma hasar mekanizmasının adhezyon kopması şeklinde gerçekleşmiştir. %2 ve %4 takviye oranlarında  $TiO_2$  partikül karışımları kullanılan yapıştırma bağlantılarının makro görüntülerinde (Şekil 4.10), kopma sonrasında karşılıklı her iki hasar yüzeyinde de yapıştırıcı partikülleri tespit edildi. %6 takviyeli bağlantıda ise bu durum kısmen görüldü. Çünkü hasar (ayrılma) sonrasında yapıştırıcı karışımı tek bir yapıştırma yüzeyinde daha fazla kalmıştır. Şekil 4.9'da ise %2 ve %4  $Al_2O_3$  partikül karışım oranlarının hasar yüzeylerinde yapıştırıcı karışımı partiküllerin karşılıklı yapışma yüzeyinin her iki tarafında da mevcut olduğu gözlemlendi. Yani burada kopma hasarları bir blok şeklinde oluşmamıştır. Ancak %6 takviyeli bağlantının hasar yüzeyinde kısmen tek blok şeklinde kopma gerçekleştiği belirtilebilir. Yapılan yapıştırma bağlantılarının çekme deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, bu durumun oluşturulan yapıştırma bağlantıları üzerinde etkisinin olduğu görülmüştür.



Şekil 4.9. DP460 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında  $Al_2O_3$  ile yapılan yapıştırmaların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri (a:DP460, b:DP460-%2, c:DP460-%4, d:DP460-%6)



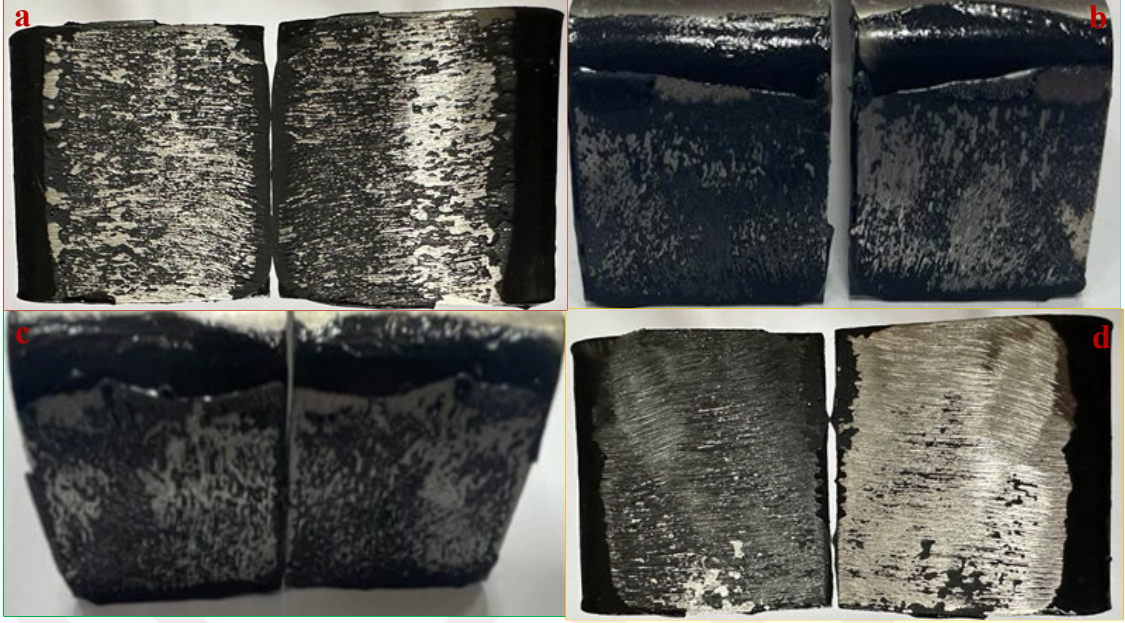


**Şekil 4.10.** DP460 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında  $\text{TiO}_2$  ile yapılan yapıştırımların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri (a:DP460-%2, b:DP460-%4, c:DP460-%6)

#### 4.2.3 DP490 Yapıştırıcısına %2,%4 ve %6 Oranda $\text{Al}_2\text{O}_3$ ve $\text{TiO}_2$ Takviye Edilmiş Numunelerin Kopma Yüzey Görüntüsü

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de DP490 yapıştırıcısı ve bu yapıştırıcıya  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  partikülleri takviye edilerek yapılan yapıştırma bağlantılarının çekme deneyleri sonrasında, numunelerin kopma (ayırılma) yüzeylerinin makro görüntüleri incelendi. Elde edilen sonuçlar, genel kopma hasar mekanizmasının adhezyon kopması şeklinde gerçekleştiğini göstermiştir. %2, %4 ve %6 takviye oranlarında  $\text{TiO}_2$  partikül karışımları kullanılan yapıştırma bağlantılarının makro görüntülerinde (Şekil 4.12), kopma sonrasında karşılıklı her iki hasar yüzeyinde yapıştırıcı karışımlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.11'de ise %2 ve %4  $\text{Al}_2\text{O}_3$  partikül karışım oranlarının hasar yüzeylerinde yapıştırıcı karışımı partiküllerin karşılıklı yapışma yüzeyinin her iki tarafında da mevcut olduğu görülmüştür. Yani burada kopma hasarları bütün yüzey şeklinde oluşmamıştır. Ancak %6 takviyeli bağlantının hasar yüzeyinde büyük yüzey şeklinde kopma gerçekleştiği söylenebilir. Yapılan yapıştırma bağlantılarının çekme deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, bu durumun oluşturulan yapıştırma bağlantıları üzerinde etkisi olduğu söylenebilir.





**Şekil 4.11.** DP490 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında  $Al_2O_3$  ile yapılan yapıştırırmaların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri ( a:DP490, b:DP490-%2, c:DP490-%4, d:DP490-%6)



**Şekil 4.12.** DP490 yapıştırıcısı ve farklı takviye oranlarında  $TiO_2$  ile yapılan yapıştırırmaların çekme kopma sonrası yüzey görüntüleri (a:DP490-%2, b:DP490-%4, c:DP490-%6)

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Yapılan bu tez çalışmasında AA5754 alüminyum alaşımı malzemeni L tipi bindirme bağlantıları yapılmıştır. Bu amaçla DP410, DP460 ve DP490 epoksi yapıştırıcıları ve bu yapıştırıcılar içerisine farklı oranlarda nanopartikül ilave ederek yapıştırma bağlantıları elde edilmiştir. Bu deneylerde kullanılan malzemeler DP410, DP460 ve DP490 epoksi yapıştırıcıları ve  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  nanopartikül takviyeleridir. Her yapıştırıcıya %2, %4 ve %6 oranlarında nanopartikül ilave edilerek L tipinde yapıştırma bağlantıları elde edilmiştir. Daha sonra partikül etkilerini belirlemek için çekme deneyleri yapılmıştır. Son olarak çekme deneyleri sonrası numunelerin kopma (ayrılma) görüntüleri alınarak hasar mekanizmaları yorumlanmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları şu şekildedir;

- ✓ DP410 içerisine %4  $Al_2O_3$  takviyesinde 1492N ile maksimum çekme dayanımı ve 2.5mm uzama elde edilmiştir.
- ✓ DP410 içerisine %4  $TiO_2$  1750 N ile maksimum çekme dayanımı ve 1.4mm uzama elde edilmiştir.
- ✓ DP460 içerisine %2  $Al_2O_3$  takviyesinde 1072 N ile maksimum çekme dayanımı ve 3.3mm uzama elde edilmiştir.
- ✓ DP460 içerisine %2  $TiO_2$  takviyesinde 1023 N ile maksimum çekme dayanımı ve 1.3mm uzama elde edilmiştir.
- ✓ DP490 içerisine %2  $Al_2O_3$  takviyesinde 1375 N ile maksimum çekme dayanımı ve 3.5mm uzama elde edilmiştir.
- ✓ DP490 içerisine %4  $TiO_2$  takviyesinde 1500 N ile maksimum çekme dayanımı ve 1.6mm uzama elde edilmiştir.
- ✓ Takviyesiz DP410, DP460 ve DP490 epoksi yapıştırıcılarının çekme dayanımlarının belli oranlardaki nanopartikül takviyesiyle önemli oranda arttığı ve uzama miktarlarının yükseldiği görülmüştür.
- ✓ Çekme deneyleri sonrasında kopma yüzeyleri incelendiğinde adhezyon hasarlarının olduğu görülmüştür.
- ✓ Çekme kuvvetinin en fazla olduğu numunelerde yapıştırıcının karşılıklı yüzeylerde homojene yakın dağıldığı, bağlantı mukavemetin düşük olduğu yüzeylerin ise büyük blok halinde kopmaların olduğu görülmüştür.

## 5.2 Öneriler

Yapmış olduğumuz çekme deneylerinde nanopartikül takviyesinin önemi yüksek ölçüde anlaşılmıştır. Gelişen bu alanda net sonuçlara ulaşabilmek için daha fazla çalışmaların yapılması gereklidir. Bunlardan birkaçı aşağıda listelenmiştir;

- ✓ DP410 epoksi yapıştırıcısına eklenen  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  nanopartikül takviye oranlarında maksimum çekme kuvvetinin %6 da düşüş olduğundan %3 ile %5 arasındaki değerler de bakılması en yüksek çekme kuvvet değerlerini verebilir.
- ✓ DP460 epoksi yapıştırıcısına eklenen  $Al_2O_3$  nanopartikül takviye oranlarının %1 ile %3 arasındaki değerlerde deneyler yapması daha iyi sonuçlar verebilir.  $TiO_2$  nanopartikül takviyesinin maksimum çekme kuvvetini %4 takviye oranında verdiği fakat %2 takviye oranındaki çekme mukavemetine yakın olduğu için %3 ile %5 arasındaki takviye oranlarında yapılacak deneylerde maksimum çekme dayanımı elde edilebilir.
- ✓ DP490 epoksi yapıştırıcısına eklenen  $Al_2O_3$  nanopartikül takviyesinin %1 ile %3 arasında ki değerlerinde maksimum çekme dayanımına ulaşılabilir.  $TiO_2$  nanopartikül takviyesinin %3 ile %5 arasında yapılacak deneylerde en yüksek mukavemet değerlerine ulaşılabilir.

## KAYNAKLAR

- Abou-Hamda, M.M., Megahed, M.M., Hammouda, M.M.I., 1998, Fatigue crack growth in double cantilever beam specimen with an adhesive layer, *Engineering Fracture Mechanics* Vol. 60, No. 5-6, 605-614.
- Adin, H., Saraç, İ., Temiz, Ş., 2018, Experimental determination of the static and fatigue strength of the adhesive joints bonded by epoxy adhesive including different particles. *Composites Part B*, 155, pp.92-103. DOI:<https://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.006>.
- Adin, H., 2007, Yapıştırıcı ile birleştirilmiş ters Z tipi kompozit malzeme bağlantılarının mekanik analizi, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ
- Akpınar, S., 2016, Alüminyum oksit ve titanyum dioksit partikül takviyeli yapıştırıcılarla birleştirilmiş bağlantıların mekanik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 5, Sayı 2, (2016), 244-252
- Akpınar, S., Gültekin, K., Özel, A., 2014, The effect of the adherend width on the strength of adhesively bonded single-lap joint\_ Experimental and numerical analysis, *Composites Part B: Engineering*, 60: 736-745.
- Alper, M.G., 2003, Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilmiş 5052-5182 Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Blanchard, C., Chateauminois, A., Vincent, L., 1996, A new testing methodology for the assessment of fatigue properties of structural adhesives, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, 16 (1996), 289-299.
- Braune N., Why do adhesives stick?, 8 Mayıs 2018.Available: <https://blog.proclima.com/int/2018/05/08/why-do-adhesives-stick/>. [Erişildi: 17 Nisan 2023].
- Brandtner-Hafner, M., 2017, Interface fracture mechanics of notched wood-adhesive composites and mode I, II, III loading, *Int Symp Notch Fract.*,4:29–31. <https://www.researchgate.net/publication/315833570>.
- Cowdrey S., C. Ferguson, L. Mauro, M. Müller, R. Neumayer ve B. Orme, Loctite Worldwide Design Handbook, Germany: Loctite Corporation, 1998.
- Çetkin E. and Temiz S., 2016, Repair of aluminium plates which has different sizes notch with aluminium patch. *DUFED* 5 (2), 56-69.
- Çetkin, E., 2021, Determination of the effects of GNP and nano-fibers on bonding joints. *Journal of Manufacturing Processes* 71 (2021) 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.09.013>.

- Çetkin, E., 2021, Investigation of the Effects of Use of GNP and GNP Reinforced Nano-Fibers with Epoxy Adhesive on Tension Tests. *European Journal of Technique (EJT)*, 11 (2) , 175-181 . DOI: 10.36222/ejt.957654.
- Çitil, Ş., 2012, Ortası boş ve ara elemanlı çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- Crocombe, A.D., Richardson, G., 1999, Assessing stress state and mean load effects on the fatigue response of adhesively bonded joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 19, 19-27.
- Davis J.R., 1996, Aluminum and Aluminum Alloys. *ASM Speciality Handbook*, United States of America.
- Ebnesajjad S., 2011, Material Surface Preparation Techniques, *Handbook of Adhesives and Surface Preparation*, Chadds Ford, PA.
- Ebnesajjad S., 2008, Adhesives Technology Handbook, Chadds Ford, PA.
- Fernando, M., Harjoprayitno, W.W., Kinloch, A.J., 1996, A fracture mechanics study of the influence of moisture on the fatigue behaviour of adhesively bonded aluminium alloy joints, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, 16 (1996), 113-119.
- Fu, M., Mallick, P.K., 2001, Fatigue of hybrid (adhesive/bolted) joints in SRIM composites, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 21 (2001), 145-159.
- Han, S., Meng, Q., Araby, S., Liu, T., Demiral, M. (2019). Mechanical and electrical properties of graphene and carbon nanotube reinforced epoxy adhesives : Experimental and numerical analysis. *Composites Part A*, 120, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.02.027>.
- ISO 10365, 1992, Adhesives - Designation of main failure patterns
- Kang, M.H., Choi, J.H., Kweon, J.H., 2014, Fatigue life evaluation and crack detection of the adhesive joint with carbon nanotubes, *Composite Structures*, 108 (2014), 417–422
- Kaybal, H. B., Ulus, H., & Avcı, A., 2017, Influence of nano-CaCO<sub>3</sub> particles on shear strength of epoxy resin adhesives. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, December, 29–35. <https://doi.org/10.29137/umagd.371119>
- Kinloch A. J., 1987, Introduction, Adhesion and Adhesives: *Science and Technology*, Londra, Springer, Dordrecht.
- Khashaba, U.A., Aljinaidi, A.A., Hamed, M.A., 2015, Development of CFRE composite scarf adhesive joints with SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle, *Composite Structures* 128 (2015) 415-427.

- Kılık, R., 1987, Endüstriyel Yapıştırıcılar ve Avantajları, *Erc. Üniv. Fen Bil. Derg.*, 3 , 1 (1987) 526-531
- Knox, E.M., Cowling, M.J., Hashim, S.A., 2000, Fatigue performance of adhesively bonded connections in GRE pipes, *International Journal of Fatigue*, 22, 513–519
- Mactabi, R., Rosca, L.D., Hoa, S.V., 2013, Monitoring the integrity of adhesive joints during fatigue loading using carbon nanotubes, *Composites Science and Technology*, 78, 1-9.
- Meguid, S.A., Sun, Y., 2004, On the tensile and shear strength of nano-reinforced composite interfaces, *Materials and Design* 25, 289–296.
- Petrie E. M., 2000, an Introduction to Adhesive and Sealants, Handbook of Adhesives and Sealants, New York, *McGraw-Hill*, p. 23.
- Reza Borghei H., Behjat B., Yazdani M., 2018, the impact of graphene nanoparticle additives on the strength of simple and hybrid adhesively bonded joints, *J. Compos. Mater.*, 53 (23), 3335-3346.
- Saraç,İ., 2018, Tek tesirli yapıştırma bağlantılarında epoksi yapıştırıcı içerisinde nanopartikül kullanılmasının bağlantının statik ve yorulma mukavemetine etkisinin araştırılması, *Doktora Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* ,Batman.
- Srivastava, V.K., 2011, Effect of carbon nanotubes on the strength of adhesive lap joints of C/C and C/C–SiC ceramic fibre composites, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(2011), 486-489.
- Temiz, Ş., 2003, Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisinin İncelenmesi. *Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum*
- Topkaya, T., Çelik, Y. H., Kilickap, E., 2020, Mechanical properties of fiber/graphene epoxy hybrid composites, *Journal of Mechanical Science and Technology* v, (34), P,4589–4595.
- The Merriam-Webster Dictionary, America: John M. Morse, 2004.
- Okkaloğlu, M., Pekbey, Y., Aktaş, A., 2014, Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş L Tipi Kompozit Köşe Bağlantılarında Çekme Dayanımının Artırılması, *Mühendis ve Makina*, cilt 55, sayı 649, s. 50-57.
- Vinson, J.K., 1989, Adhesive bonding of polymer composites. *Polymer Engineering and Science*, 29(19), 1325-1331.
- Wang, O.Y., Pidaparti, R.M., 2002, Static characteristics and fatigue behavior of composite-repaired aluminum plates, *Composite Structures*, 56 (2002), 151–155.



- Wong, D. W. Y., Zhang, H., Bilotti, E., Peijs, T., 2017, Interlaminar toughening of woven fabric carbon/epoxy composite laminates using hybrid aramid/phenoxy interleaves, *Compos Part A Appl Sci Manuf*, 2017;101:151–9. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.06.001>.
- Zielecki, K., Witek, L., Stachowicz, F., 2017, Influence of plastic deformation of adherend material on stress distribution in adhesive lap joints, *Acta Metallurgica Slovaca*; 23(4): 304–312.
- Zhai, L., Ling, G., Li, J., Wang, Y., 2006, The effect of nanoparticles on the adhesion of epoxy adhesive, *Materials Letters*; 60, 3031–3033.
- Zhai, L., Ling, G., Li, J., Wang, Y., 2007, Effect of nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  on adhesion strength of epoxy adhesive and steel, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 28 (2007) 23–28.
- <https://www.egebant.com.tr/tr/p?/3m-yapisal-yapistiricilar/217>
- 3M Türkiye, 2021, [https://www.3m.com.tr/3M/tr\\_TR/bonding-and-assembly-tr/trainingeducation/science-of-adhesion/changing-surface-properties/](https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/bonding-and-assembly-tr/trainingeducation/science-of-adhesion/changing-surface-properties/)
- Intruccion of adhesive tape- The science of adhesive tapes, Celadon. Available: <https://www.celadon.com.tw/en/faq/Intruccion-of-Adhesive-Tape-The-Science-of-Adhesive-Tapes/Celadon-Tech-faq-003.html>
- Henkel, 2022, <https://www.henkeladhesives.com/tr/tr/urunler/endustriyel-yapistiricilar.html>
- 3M Türkiye, 2022, [https://www.3m.com.tr/3M/tr\\_TR/bonding-and-assembly-tr/training-education/benefits-of-adhesive-bonding/](https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/bonding-and-assembly-tr/training-education/benefits-of-adhesive-bonding/)
- Nanografi, 2023, <https://shop.nanografi.com.tr/titanyum-dioksit-tio2-nano-tozu-safl-k-99-995-boyut-17-nm-anataz/>
- Nanografi, 2023, <https://shop.nanografi.com.tr/aluminyum-oksit-al2o3-nano-tozu-alfa-yuksek-safl-kta-99-95-boyut-180-nm-hidrofilik/>

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Hüseyin Damkaya  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti

### EĞİTİM

| Derece        | Adı, İlçe, İl                                    | Bitirme Yılı |
|---------------|--------------------------------------------------|--------------|
| Üniversite    | : Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fak. | 2004-2008    |
| Üniversite    | : Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği        | 2018-2020    |
| Yüksek Lisans | Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü      | 2023-        |
| Doktora       | : -                                              |              |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl       | Kurum                                 | Görevi       |
|-----------|---------------------------------------|--------------|
| 2008-2009 | İzmir KTS Kurutma Sistemleri          | Arge         |
| 2009-2011 | İzmir Laila Mücevherat                | İmalat       |
| 2012-     | Emniyet Genel Müdürlüğü (halen devam) | Polis Memuru |

### UZMANLIK ALANI

### YABANCI DİLLER

### YAYINLAR

Damkaya H., Çetkin E. ‘L tipinde yapılan yapıştırma bağlantısında partikül etkisinin belirlenmesi’ *5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences* on 10-12 July in 2023 at Konya/Turkey.