



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**EPOKSİ YAPIŞTIRICISI İÇERİSİNE FARKLI
ORANLARDA NANOPARTİKÜL
KULLANILARAK BİRLEŞTİRİLEN AA5754
ALAŞIMININ MEKANİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Mustafa SARUHAN

YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ağustos-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa SARUHAN tarafından hazırlanan “Epoksi Yapıştırıcısı İçerisine Farklı Oranlarda Nanopartikül Kullanılarak Birleştirilen AA5754 Alaşımının Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” 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

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Anıl İMAK

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİR

.....

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

Mustafa SARUHAN

02/08/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EPOKSİ YAPIŞTIRICISI İÇERİSİNE FARKLI ORANLARDA NANOPARTİKÜL KULLANILARAK BİRLEŞTİRİLEN AA5754 ALAŞIMININ MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Mustafa SARUHAN

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

2023, 64 Sayfa

Jüri

Danışmanın Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

Dr. Öğr. Üyesi Anıl İMAK

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİR

Yapıştırma bağlantıları, otomotiv, havacılık, inşaat, elektronik ve birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin uygun şekilde hazırlanması, yapıştırıcı seçimi ve uygun yapıştırma tekniğinin kullanımı, başarılı bir yapıştırma bağlantısı elde etmek için önemli faktörlerdir. Gerçekleştirilen bu çalışmada farklı nanopartiküllerin çift yamalı yapıştırma bağlantılarında çekme davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada yapıştırıcı malzeme olarak DP460, yapıştırma numunesi olarak AA5754 alüminyum alaşımı, yama malzemesi olarak cam epoksi kompozit malzemesi kullanılmıştır. Yapıştırıcı malzemenin içerisinde kullanılan nanopartiküller Al_2O_3 , CuO , MgO ve TiO_2 ağırlıkça %2, %4 ve %6 oranlarında ilave edilmiştir. Takviye edilmiş ve takviye edilmemiş yapıştırıcılar ile çift yamalı yapıştırma bağlantıları hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde nanopartikül takviyesinin çekme dayanımına etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda takviyesiz yapıştırma bağlantılarına nazaran nanopartikül takviyeli yapıştırma bağlantılarının çekme kuvveti ciddi oranda arttığı görülmüştür. En yüksek çekme kuvveti ise %6 ağırlık oranında takviye edilmiş MgO takviyeli yapıştırma bağlantısında elde edilmiştir. Tüm deney numunelerinin çekme sonrası hasar bölgeleri makro boyutta değerlendirilmiş, adhezyon ve kohezyon hasarları tespit edilmiştir. En yüksek ve en düşük çekme kuvvetlerine sahip deney numunelerinin çekme deneyleri sonrası kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri alınmış ve hasar tipleri noktasında daha önceki çalışmalara dayanarak değerlendirmeleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Cam epoksi; Çekme; Nanopartikül; SEM; Yapıştırma

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF AA5754 ALLOY JOINED By USING DIFFERENT PROPORTIONS OF NANOPARTICLE INTO EPOXY ADHESIVE

Mustafa SARUHAN

**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, 64 Pages

Jury

Advisor Asst. Prof. Dr. Edip ÇETKİN

Asst. Prof. Dr. Anıl İMAK

Asst. Prof. Dr. Fatih DEMİR

Adhesive joints are widely used in automotive, aerospace, construction, electronics and many industrial fields. Proper preparation of materials, choice of adhesive and use of proper bonding technique are all important factors to achieve a successful bonding joint. In this study, the tensile behaviors of double-lap adhesive joints with different nanoparticles were investigated experimentally. In the study, DP460 was used as the adhesive material, AA5754 aluminum alloy was used as the bonding specimen, and glass epoxy composite material was used as the patch material. Nanoparticles, including Al_2O_3 , CuO , MgO , and TiO_2 , were added to the adhesive material at weight percentages of 2%, 4%, and 6%. Double patched bonding joints were prepared with reinforced and non-reinforced adhesives. The effects of nanoparticle reinforcement on the tensile force of the prepared samples were investigated. As a result of the experiments, it was observed that the tensile force of the nanoparticle reinforced adhesive joints increased significantly compared to the non-reinforced adhesive joints. The highest tensile force was obtained in the MgO -reinforced adhesive joint reinforced at 6% by weight. surface damages of all test specimens after tensile rupture were evaluated in macro dimension, adhesion and cohesion damages were determined. SEM images of the rupture surfaces of the test specimens with the highest and lowest tensile forces were taken after the tensile tests and evaluations were made based on previous studies in terms of damage types.

Keywords: Adhesion; Glass epoxy; Nanoparticle; SEM; Tensile

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında değerli katkılarını benden esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN'e, Öğr. Gör. M. Enver GÖKDEMİR'e, ağabeyim tarihçi Sedat SARUHAN'a, şükranlarımı sunarım. Bu çalışmamı Eşim Sevda kızım Azra ve oğlum Burak'a ithaf ediyorum.

Mustafa SARUHAN
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yapıştırma Bağlantılarının Kullanım Alanları	2
1.2. Literatür Çalışması.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER	10
2.1. Yapışma Olayı	10
2.1.1. Adhezyon Kuvveti	10
2.1.2. Kohezyon Kuvveti	11
2.2. Yapışma Teorileri	11
2.2.1. Adsorpsiyon Teorisi.....	11
2.2.2. Mekanik Tutunma teorisi.....	11
2.2.3. Elektrostatik Teorisi.....	12
2.2.4. Difüzyon Teorisi	12
2.3. Yapıştırma Bağlantılarının Diğer Bağlantı Yöntemleri ile Karşılaştırılması	12
2.3.1. Perçin Bağlantıları	13
2.3.2. Kaynak Bağlantıları	13
2.3.3. Lehim Bağlantıları	13
2.3.4. Vida ve Cıvata ile Yapılan Bağlantılar	13
2.3.5. Pres Bağlantıları.....	14
2.3.6. Yapıştırma Bağlantıları.....	14
2.4. Nanopartiküller	15
2.5. Yapıştırma Bağlantıları Yöntemleri.....	15
2.5.1. Çift Tesirli Bağlantı	16
2.5.2. Tek Tesirli Bağlantı	16
2.5.3. Tek Takviyeli Alın Bağlantı	16
2.5.4. Çift Takviyeli Alın Şerit Bağlantı.....	16
2.5.5. Kademeli Yapıştırma Bağlantısı.....	17
2.5.6. Pah Bağlantı.....	17
2.5.7. Silindir (tüp) Şeklinde Bağlantı	17
2.5.8. Alın Bağlantı.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19

3.1. Deneyde Kullanılan Materyaller.....	19
3.1.1. AA 5754 Alüminyum Alaşımı.....	19
3.1.2. Cam Epoksi Kompozit Malzemesi	20
3.1.3. DP460 Epoksi Yapıştırıcı	20
3.1.4. Nanopartikül Takviye Malzemeleri	21
3.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Yapıştırma İşlemi	22
3.2. Deney Numunelerinin Çekme Testleri	26
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1. Çekme Deney Sonuçları	27
4.1.1 Al ₂ O ₃ Takviyeli Yapıştırma Bağlantıları.....	27
4.1.2 CuO Takviyeli Yapıştırma Bağlantısı.....	28
4.1.3 MgO Takviyeli Yapıştırma Bağlantıları	29
4.1.4 TiO ₂ Takviyeli Yapıştırma Bağlantıları.....	30
4.2. Çekme Numunelerinin Kopma Sonrası Yüzey Görüntüleri	31
4.2.1. Çekme Testleri Sonrası Numunelerin Kopma Yüzeylerinin Makro Görüntüleri.....	32
4.2.1.1. %2, %4 ve %6 oranlarında Al ₂ O ₃ Takviye Edilmiş Numunelerinin Makro Görüntüleri	32
4.2.1.2. %2, %4 ve %6 Oranlarında CuO Takviye Edilmiş Numunelerinin Makro Görüntüleri	35
4.2.1.3. %2 , %4 ve %6 Oranlarında MgO Takviye Edilmiş Numunelerinin Makro Görüntüleri	37
4.2.1.4. %2, %4 ve %6 Oranlarında TiO ₂ Takviye Edilmiş Numunelerinin Makro Görüntüleri.....	39
4.2.2. SEM Görüntüleri.....	41
4.2.2.1. %2 ve %6 Al ₂ O ₃ Takviyeli Yapıştırma bağlantısının SEM Görüntüleri.....	41
4.2.2.2. %2 ve %4 CuO Takviyeli Yapıştırma bağlantısının SEM Görüntüleri.....	42
4.2.2.3. %2 ve %6 MgO Takviyeli Yapıştırma bağlantısının SEM Görüntüleri	42
4.2.2.3. %2 ve %6 TiO ₂ Takviyeli Yapıştırma bağlantısının SEM Görüntüleri.....	43
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	44
5.1 Sonuçlar	44
5.2 Öneriler	45
KAYNAKLAR	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yapıştırma bölgesinde oluşan adhezyon ve kohezyon kuvvetleri (Aydın 2012; Loctite 1988).....	10
Şekil 2.2. Polimer moleküllerin difüzyonu (Petrie, 2013).....	12
Şekil 2.3. Çift tesirli bağlantı (Adam ve Wake, 1986; Troughton, 2008)	16
Şekil 2.4. Tek tesirli bağlantı (Adam ve Wake, 1986; Troughton, 2008)	16
Şekil 2.5. Tek takviyeli alın bağlantı (Adam ve Wake, 1986; Troughton, 2008)	16
Şekil 2.6. Çift takviyeli alın şerit bağlantı (Adam ve Wake, 1986; Troughton, 2008)	17
Şekil 2.7. Kademeli bağlantı (Adams ve Wake, 1986)	17
Şekil 2.8. Pah bağlantı (Adams ve Wake, 1986)	17
Şekil 2.9. Silindirik şekilde bağlantı (Adam ve Wake, 1986)	17
Şekil 2.10. Alın bağlantısı (Adams ve Wake, 1986)	18
Şekil 3.1. AA 5754 Alüminyum alaşımı gerilme gerinme grafiği	19
Şekil 3.2. DP460 Epoksi yapıştırıcısı gerilme gerinme grafiği	20
Şekil 3.3. Yapıştırıcı içerisine takviye edilen nanopartiküllerin görüntüleri.....	21
Şekil 3.4. Yapıştırma bağlantısının şematik görüntüsü	23
Şekil 3.5. AA5754 Alüminyum alaşımının asetona daldırılması	23
Şekil 3.6. Yapıştırma işleminde kullanılan tabanca, karıştırıcı nozel ve DP460 yapıştırıcısı.....	24
Şekil 3.7. Partiküllerin ve DP460 yapıştırıcı karışımların hassas terazide ölçümleri.....	24
Şekil 3.8. Yapılan yapıştırma bağlantısının şematiği	25
Şekil 3.9. Yapıştırma bağlantılarının 3D çizimi (a: izometrik görünüş b: önden görünüş)	25
Şekil 3.10. Yapıştırmaları yapılan bazı numunelerin toplu gösterimi	25
Şekil 3.11. Çekme deneylerin yapıldığı çekme deney cihazı	26
Şekil 4.1. Takviyesiz ve Al_2O_3 takviyeli yapıştırıcıların çekme kuvveti- karışım oranı- deplasman grafiği.....	28
Şekil 4.2 Takviyesiz ve CuO takviyeli yapıştırıcıların Çekme kuvveti- karışım oranı- deplasman grafiği.....	29
Şekil 4.3. Takviyesiz ve MgO takviyeli yapıştırıcıların Çekme kuvveti- karışım oranı- deplasman grafiği.....	30
Şekil 4.4. Takviyesiz ve TiO_2 takviyeli yapıştırıcıların Çekme kuvveti- karışım oranı- deplasman grafiği.....	31

Şekil 4.5. Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırma bağlantısının kopma sonrası makro görüntüsü	33
Şekil 4.6. %2 oranında Al_2O_3 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	33
Şekil 4.7 %4 oranında Al_2O_3 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	34
Şekil 4.8. %6 oranında Al_2O_3 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	34
Şekil 4.9. %2 oranında CuO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	35
Şekil 4.10. %4 oranında CuO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	36
Şekil 4.11. %6 oranında CuO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	36
Şekil 4.12. %2 oranında MgO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	37
Şekil 4.13. %4 oranında MgO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	38
Şekil 4.14. %6 oranında MgO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	38
Şekil 4.15. %2 oranında TiO_2 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	39
Şekil 4.16. %4 oranında TiO_2 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	40
Şekil 4.17. %6 oranında TiO_2 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü.....	40
Şekil 4.18. %2 (a) ve %6 (b) Al_2O_3 takviyeli yapıştırma bağlantılarının 6000X büyütme-lerde SEM görüntüleri	41
Şekil 4.19. %2 (a) ve %4 (b) CuO takviyeli yapıştırma bağlantılarının 6000X büyütme-lerde SEM görüntüleri	42
Şekil 4.20. %2 (a) ve %6 (b) MgO takviyeli yapıştırma bağlantılarının 6000X büyütme-lerde SEM görüntüleri	42
Şekil 4.21. %2 (a) ve %6 (b) TiO_2 takviyeli yapıştırma bağlantılarının 6000X büyütme-lerde SEM görüntüleri	43

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1. AA5754 alüminyum alaşımı mekanik özellikleri	18
Tablo 3.2. Cam epoksi kompozit malzemesinin mekanik özellikleri	19
Tablo 3.3. DP460 Epoksi yapıştırıcısının Mekanik Özellikleri	19
Tablo 3.4. Partiküllerin ağırlıkça oranları	20
Tablo 3.5. Kullanılan partiküllerin özellikleri.....	20

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AA2024-T3	2024 alaşım Alüminyum
DP460	460 Epoksi yapıştırıcı
σ	Gerilme
SiC	Silisyum karbür
Al₂O₃	Alüminyum oksit
TiO₂	Titanyum dioksit
SiO₂	Silisyum dioksit
⁰ C	Santigrat derece
Nm	Newton Metre
mm	milimetre
MgO	Magnezyum oksit
CuO	Bakır(II) oksit
ε	Gerinme
Mpa	Megapaskal
Gpa	Gigapaskal
E_x,	X eksenindeki elastisite modülü
E_y	Y eksenindeki elastisite modülü
E_z	Z eksenindeki elastisite modülü
G_{xy}	XY eksenindeki kayma modülü
G_{xz}	XZ eksenindeki kayma modülü
G_{yz}	YZ eksenindeki kayma modülü
m²/g	Gram başına düşen metrekare alanı
Kg/m³	Metreküp başına düşen kilogram
Kg/cm³	Santimetreküp başına düşen kilogram
AA5754	Alüminyum 5754 alaşım
AR300	Kimyasal epoksi sertleştirici
R	Genlik
COOH	Karboksilik asit
RGO	İndirgenmiş grafen oksit
L	Boy
W	Genişlik

DP270	Epoksi yapıştırıcı
AV138	Epoksi reçine
Araldite2015	Epoksi yapıştırıcı
N	Newton

Kısaltmalar

UV	Ultraviole ışın
ABS	Kilitlenme Karşıtı Frenleme Sistemi
PVA	Polivinil Asetat
GNP	Grafen nanopartikül
SNP	Silika nanopartikül
MWCNT	Çok duvarlı karbon nanotüp
DCB	Çift konsol kiriş
SLJ	Tek bindirmeli bağlantı
CFTK	Karbon fiber takviyeli kompozit
SEM	Taramalı elektron mikroskobu

1. GİRİŞ

Son zamanlarda, geleneksel bağlantı yöntemleri olan perçin, cıvata, kaynak lehim vb. gibi metotlara alternatif olarak, yapıştırıcı ile birleştirme yöntemi mühendislerin ve bilim insanlarının ilgisini çekmiştir. Ev eşyaları, mutfak ürünleri gibi günlük malzemelerin tamiratında ve üretiminde sıkça kullanılan bu yöntem, teknoloji ve yapıştırma endüstrisinin gelişmesiyle daha karmaşık yapıların üretim ve tamirinde de etkin bir rol oynamaya başlamıştır. Üretim kolaylığı, hafif olmaları ve farklı türdeki malzemeleri yapıştırabilmesi nedeniyle, hava, deniz, uzay ve makine endüstrilerinde yapıştırma bağlantıları sıklıkla tercih edilmektedir. Günümüzde enerji tasarrufunun büyük önem taşıdığı çağda, hafif malzemeler ve düşük enerji tüketen üretim yöntemleri nedeniyle yapıştırma bağlantıları daha da değer kazanmıştır. Kırılan, hasar gören veya kopan malzemelerin mekanik yöntemlerle tekrar kullanılabilir hale getirilmesi mümkündür. Ancak yapıştırıcı ile bağlantı yöntemi, hem daha kısa sürede tamir imkanı sunması hem de daha düşük maliyetli olması açısından önemli bir yer tutmaktadır. Yapıştırma yöntemiyle tamir edilen malzemeler ve yapılar, geleneksel yöntemlere göre daha kısa bir kullanım ömrü sunsa da belli bir süre için düşük maliyetli kullanım olanağı sağlamaktadır.

Yapıştırma bağlantılarının avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Sırasıyla avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.

Avantajları.

- ✓ Farklı malzemelerin birleştirilmesine olanak sağlaması, örneğin; metal, plastik, cam, ahşap ve kompozit malzemeler gibi farklı yapı malzemelerini bir araya getirebilmesi, tasarımcılara ve mühendislere daha fazla esneklik sunması ve daha karmaşık yapıların oluşumunu sağlaması.
- ✓ Malzemeler arasında tam bir sızdırmazlık sağlaması. Bu da su, toz, hava veya diğer sıvı ve gazların geçişini engeller. Ayrıca, yapıştırma bağlantıları termal ve ses yalıtımı da sağlayabilir.
- ✓ Mekanik bağlantıların aksine (kaynak, cıvata ve perçin gibi), gerilme yorulması direncini artırabilir. Bu, malzemelerin tekrarlayan yükler altında uzun süre dayanıklı olmalarını sağlar.
- ✓ Maliyetinin diğer bağlantılara nazaran uygun olması
- ✓ Karmaşık yapıların tamir ve montajında hızlı ve düzgün sonuç alınabilmesi

- ✓ Daha hafif olması ve titreşimleri sönümleme özelliği, yapıştırma yöntemin avantajları olarak sıralanabilmektedir.

Yapıştırma bağlantılarının bu avantajları, birçok endüstri sektöründe tercih edilmelerinin ve kullanımlarının artmasının temel nedenleridir. Ancak, uygulama gereksinimlerini doğru bir şekilde değerlendirmek ve uygun yapıştırıcı ve işlem tekniklerini seçmek önemlidir.

Dezavantajları

- ✓ Yapıştırma bağlantıları, mekanik bağlantılara kıyasla geri dönüşümsüz bir bağlantı sağlar. Bu, birleştirilen malzemelerin ayrılması veya yeniden düzenlenmesi gerektiğinde zorluklar yaratabilir ve onarım veya bakım süreçlerini karmaşıktırabilir.
- ✓ Bazı yapıştırıcılar belirli sıcaklık aralıklarında optimum performans gösterirken, kimyasal maddelere veya çevresel koşullara duyarlı olabilir. Bu, yapıştırma bağlantılarının kullanımını sınırlayabilir veya özel koşullar gerektirebilir.
- ✓ Dayanıklılığı, mekanik bağlantılara kıyasla daha düşük olabilir. Özellikle yüksek sıcaklık, nem veya UV ışınları gibi faktörler altında yapıştırıcıların performansı etkilenebilir. Bu nedenle, uygulama gereksinimlerine uygun yapıştırıcı ve işlem seçimi önemlidir.
- ✓ Yapıştırma bağlantılarının dayanıklılığı, yapıştırılmadan önce yüzeylerin uygun şekilde hazırlanmasına bağlıdır. Yapıştırma işlemi esnasında yüzeylerin temiz, kuru ve yağsız olması gerekmektedir. Yüzey hazırlığı gereklilikleri, işlem süresini ve maliyetini artırabilir.

Bu dezavantajlar, yapıştırma bağlantılarının seçimi ve uygulanması sırasında dikkate alınmalıdır. Her uygulama için farklı koşullar ve gereksinimler bulunduğundan, yapıştırma bağlantıları, doğru şekilde değerlendirilerek tasarımın ve kullanımın gereksinimlerine uygun olarak seçilmelidir.

1.1. Yapıştırma Bağlantılarının Kullanım Alanları

Metal malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak ve lehimin yüksek miktarda oluşturduğu ısı, malzemelerde moleküler yapıda değişim, gerilme yığılması, mukavemet azalması ve çarpılmalar meydana getirir. Bu tip meydana gelen durumların yaşanmaması, farklı türdeki malzemeleri birleştirme, daha ucuza mal etme, karmaşık geometrilerde imalat ve tamirat işlemleri, bu yöntemi otomotiv, uzay ve uçak sanayisinde

kullanılır kılınmıştır. Yapıştırıcılar aynı zamanda elektronik, demir yolu ve deniz araçlarının yapımında da kullanılmaktadır (Şahin, 2011).

Yapıştırma bağlantılarının en sık kullanıldığı sektörlerden biri de otomotiv sektörüdür. Bu bağlantılar gövde altı koruyucu sızdırmazlık uygulaması, iç ve dış sacların birleştirilmesi, camların ve farların montajı, fren balata bataryaları, koltuk rayları, elektrik devre montajları, şasi montajları, elektronik elemanları, sensörlerin takılması ABS modülleri, yakıt sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Adin ve ark, 2011).

Günümüzde yapıştırma bağlantılarının en sık görüldüğü alanlarından biri de havacılık sektörüdür. Uçak gövdeleri ve kanatlarında yüksek miktarda yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu yapıların alt ve üst kısımlarındaki plakalar ve aradaki petek tipi yapılar yapıştırıcılar vasıtasıyla birleştirilmektedir.

Özenç (2007), kullanım kolaylığı ve sağladığı birçok avantaj dolayısıyla yapıştırıcı kullanımı yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde ambalaj üretimlerinden hava ve uzay endüstrisi gibi çok kritik uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

1.2. Literatür Çalışması

Aydın ve ark (2007), tek tesirli bindirme bağlantılarda yapıştırma bağlantısının kürleşme sırasındaki basınç değışikliğinin etkisini araştıran bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, esnek ve basınç hassasiyetine sahip yapıştırıcılarla birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantıları yapmıştır. Yapılan birleştirmelere de kürleşme süreci boyunca farklı basınçlar uygulanmıştır. Yapılan deneyler de kürleşme sürecinde uygulanan basıncın, esnek yapıdaki yapıştırıcılar için bağlantı üzerinde olumlu etkilere sahip olduğunu belirtilmiştir. Bu sonuçlar, kürleşme esnasında uygulanan basıncın esnek karakterli yapıştırıcılar için bağlantı gücünü artırabileceği vurgulanmıştır.

Çitil (2012), ortası boş ve dolu olarak klasik ve kapakları gömülü çift takviyeli yapıştırma bağlantıları yaparak hasarlı bölgelerin tamir edilmesini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda, kapakların dışarıda olması ve ortası boş bırakılan yapıştırma bağlantılarının daha fazla yük taşıdığı gözlenmiştir. Kapakları gömülü, ortası boş ve ara elemanlı yapıştırma bağlantıları karşılaştırıldığında ise, ortası boş yapıştırma bağlantılarının daha yüksek yük taşıdığı, ara elemanlı bağlantıların ise daha düşük yük taşıdığı görülmüştür. Her iki durumda da, kapakları dışarıda veya kapakları gömülü olan yapıştırma bağlantılarında, eğer kapak ara bölgelerinde boşluk oluşmuşsa, ara bölgeye herhangi bir ara eleman yerleştirmeden tamir etmenin daha uygun olduğu gözlenmiştir.

Panta ve ark. (2016), farklı tiplerde nano parçacıklarla takviye edilmiş epoksi yapıştırıcıların kullanıldığı tek etkili bağlantılarda, kayma direnci ve akma özelliklerini araştırmıştır. Araştırmacılar, nano parçacık takviyesinin epoksinin termal kararlılığını artırdığını ve kayma direncinin nano parçacık türüne bağlı olarak arttığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar, nano parçacık eklenmesinin epoksi yapıştırıcıların mekanik özelliklerini iyileştirebileceğini göstermektedir.

Temiz (2006), AA2024-T3 alüminyum plakaları çift yamalı yapıştırma yöntemi kullanılarak hazırlanan numunelerin dört nokta eğme yüklemesine maruz sonlu eleman analizini yapmıştır. Yapılan birleştirme bağlantılarının bindirme uçlarında oluşan gerilme yığılmalarını düşürmek için farklı yapıştırma seçeneklerini kullanmıştır. Bu seçimde ise bağlantı uçlarına esnek yapıştırıcı ve bağlantı ortalarına da sert yapıştırıcı kullanmıştır. Yapılan yapıştırma bağlantıların sonuçlarında tek tip yapıştırıcı ile yapılan bağlantıya göre ikili yapıştırıcının kullanıldığı bağlantıların yaklaşık olarak %50 civarında daha fazla yük taşıdığı belirtilmiştir.

Kuang-Tin ve ark. (2003), grafit fiber-epoksi kompozitlerinin yapıştırılması için farklı ağırlıklarda çok duvarlı karbon nanotüpler kullanmış ve kompozit plakalara kayma dayanımı testleri yapmıştır. Elde edilen sonuçlarda, nanotüp miktarının artmasıyla kayma dayanımının ortalama olarak arttığını göstermiştir. Maksimum kayma dayanımı, ağırlıkça %5 oranında karbon nanotüp kullanılarak elde edilmiştir. Araştırmacılar, bu artışın karbon nanotüp eklenmiş yapıştırıcı bağlantılarındaki kompozit fiber grafit yüzeylerinde oluşan hasarlardan kaynaklandığını tespit etmiştir.

Gültekin ve ark. (2014), tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında yapışma genişliğinin etkisini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. AA2024-T3 alüminyum alaşımını DP460 ile yapıştırarak farklı genişliklerde sekiz tip tek bindirmeli yapıştırma bağlantısı numuneleri hazırlayarak, çekme deneyleri gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak tek bindirmeli bağlantılarda yapışma bağlantısının genişliğindeki artışın, yapışma bağlantısındaki uzunluk artışına oranla mukavemetinin daha fazla arttığı görülmüştür. Ayrıca yapışma bölgesinin dikdörtgen geometriden dairesel geometriye değiştirildiği durumlarda yine kopma mukavemetinin arttığı, buna ek olarak sonlu eleman analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Khashaba ve ark. (2015), açılı bağlantılarda karbon fiber kompozit malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak, epoksi içerisine belirli oranlarda SiC ve Al₂O₃ nanopartiküller eklemiştir. Bu açılı bağlantıları kullanarak hazırlanan numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirdikleri deney sonucunda, nanopartiküllerle

takviye edilen yapıştırma bağlantılarının maksimum çekme kuvveti, takviyesiz epoksi yapıştırıcısına kıyasla önemli ölçüde yüksek elde edilmiştir.

Saraç (2018), epoksi içerisine farklı oranlarda nano partikül ilave ederek, çelik malzemenin tamiri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak nano partiküllerin yapışma mukavemeti üzerinde önemli etkilerinin olduğunu bulmuştur.

Gupta (2020), tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında, yapışma kenarlarında oluşan gerilme yığılmalarını azaltmak amacıyla, farklı oranlarda Al_2O_3 partikül takviyeleri epoksi yapıştırıcısına eklenmiştir. Ayrıca, Al_2O_3 parçacıkları nano-rods ve nano-spheres geometrik yapılar şeklinde kullanılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre, %1 Al_2O_3 nano-rods ve %1.5 Al_2O_3 nano-spheres takviyeli yapıştırma bağlantılarının, epoksi yapıştırıcısının takviyesiz kullanımına göre olumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Dorigato ve ark. (2010), yapışkan bağlantıların kesme mukavemetini artırmak için sentezlenmiş zirkonyum nano partiküllerinin sol jel tekniğiyle epoksi yapıştırıcılara eklenmesi üzerine testler yapmış, zirkonyum partikülünün %1 hacim oranında kullanılmasıyla yaklaşık olarak %60 oranında bir iyileştirme sağlandığını göstermiştir. Ayrıca zirkonyum partiküllerinin yapıştırıcı ile substrat arasındaki ara yüzeyin ıslanabilirliği ve kimyasal uyumluluğu dengesini artırdığı da belirtilmiştir.

Pinto ve ark. (2013), yapışkan bağlantıların kesme mukavemetini artırmak için polivinil asetatı (PVA) yapıştırıcı olarak kullanarak grafen nano partiküllerini (GNP) takviye etmişlerdir. Sonuçlar, GNP'nin ağırlıkça %0,1 oranında takviye edilmesinin kesme mukavemetini %50'den fazla artırdığını göstermiştir. Ayrıca GNP'lerin yapıştırıcıya eklenmesi, nano dolgu maddesinin hidrofobikliğine bağlı olarak denge teması açısından bir artış sağlamıştır. Bu kesme mukavemeti artışı, polimer zincirleri ile GNP'ler arasındaki güçlü ara yüzey etkileşimleriyle ilişkilendirilmektedir.

Akpınar (2016), farklı yapıştırıcılar içerisine Al_2O_3 ve TiO_2 ilave ederek oluşturduğu tek tesirli yapıştırma bağlantılarını çeki yükü altında mekanik özelliklerini belirlemek için deneyler yapmıştır. Deney sonuçları partikül takviyeli yapıştırma bağlantılarında çeki hasar yükünün arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmada ayrıca kuvvet- uzama grafikleri incelendiğinde, partikül takviyeli yapıştırma bağlantılarında bağlantıların yer değiştirme kapasitelerinin de arttığı sonucuna varılmıştır.

Zhai ve ark. (2006), farklı oranlarda nano alümina partiküllerini epoksi yapıştırıcısına ekleyerek oluşturulan yapıştırma bağlantılarının çekme-koparma testlerini yaparak, nano alümina partiküllerinin yapıştırma bağlantıları üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Sonuçlar, nano alümina partiküllerinin %2 oranına kadar yapıştırma

bağlantılarının mukavemetini artırdığını göstermiştir. Ancak %2'den daha fazla alümina katkısının yapıştırma bağlantıları üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, %2 ağırlıkça alümina ilavesinin ara yüzey ve kohezyon birleşimi yapısını değiştirmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Han ve ark. (2019), grafen ve karbon nanotüp takviyeli epoksi yapıştırıcıların mekanik ve elektriksel özelliklerini deneysel ve sayısal olarak analiz etmişlerdir. Grafen takviyesinin %0.25'in altındaki oranlarda mekanik özellikleri iyileştirdiği belirtilmiştir. Ancak karbon nanotüp takviyesi %0.25'in üzerindeki oranlarda daha iyi mekanik performans sağladığı vurgulanmıştır.

Razavi ve ark. (2018), silika nanopartikülleri (SNP) ve çok katmanlı karbon nanotüpleri (MWCNT) partikül takviyelerinin tek bindirmeli yapıştırma bağlantıları üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Yapılan deneyler, nano partikül takviyelerinin yapıştırma bağlantılarının ortalama kesme mukavemeti ve uzamaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının hasar mekanizmalarını ve kırılma yüzeylerini bağlantı mukavemetleriyle olan korelasyonunu da araştırmışlardır.

Sadigh ve ark. (2018), indirgenmiş oksit grafen partiküllerinin yapıştırma bağlantılarında yorulma ömrü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, indirgenmiş oksit grafen partiküllerinin kullanıldığı yapıştırma bağlantılarının yorulma ömrünün %300 oranında arttığını belirtmişlerdir.

Saraç ve ark. (2018), epoksi yapıştırıcısı içerisine Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 nano partikülleri takviye ederek farklı bindirme uzunluklarında tek kesirli bindirme yapıştırma bağlantılarını elde etmişlerdir. Daha sonra bu yapıştırma bağlantılarını çekme ve yorulma testlerine tabi tutmuşlardır. Partikül takviyesinin çekme hasar yükünü artırdığını ayrıca Al_2O_3 ve SiO_2 nano partikül takviyesinin yorulma hasar yükünü de artırdığını belirtmişlerdir.

Jia ve ark. (2018), grafen nanoplatelet takviyeli yapıştırıcının çift konsollu giriş bağlantılarındaki Mod I kırılma direnci üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmışlardır. %0.25 oranında grafen nanoplatelet takviyesinin, bağlantıların kırılma dirençleri üzerinde takviyesiz epoksi yapıştırıcıya göre 5 kat daha fazla bir dayanımının olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca grafen nanoplatelets oranı artırdıkça bağlantıların tokluğunun düştüğünü vurgulamışlardır.

Moriche ve ark. (2016), GNP/epoksi nano kompozit yapıştırıcıların ısı iletkenliği ve kesme mukavemeti üzerindeki etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. %8 ve %10 grafen

nanoplatelet epoksi yapıştırıcı içerisine takviyeleri sonucunda termal iletkenliğin sırasıyla %206 ve %306 oranlarında artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca kesme mukavemeti üzerinde net bir etkinin olmadığını vurgulamışlardır.

Neto ve ark. (2013), nanopartikül takviyeli yapıştırıcı malzemelerin verimliliğini araştırmışlardır. Çalışmada, 10 katman karbon elyaf ile güçlendirilmiş epoksi kompozit malzemeler yapıştırma için kullanılmış ve AR300 epoksi yapıştırıcı malzeme tercih edilmiştir. Yapıştırıcı epoksiye ağırlıkça %1 ve %2 oranlarında grafen nanopartikülleri eklenmiştir. Sonuçlar, ağırlıkça %1 grafen eklenmiş yapıştırıcı epoksinin dayanım yükünü %21 artırdığını, %2 grafen eklenmiş yapıştırıcı epoksinin ise dayanım yükünü %57 oranında artırdığını göstermiştir. Bu bulgular, nanopartikül takviyeli yapıştırıcı malzemelerin mekanik performansı artırma potansiyeline sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Srivastava (2011), tarafından yapılan çalışmada, yapıştırıcı olarak C/C ve C/C-SiC kompozit malzemeler ve %3 Karbon Nanotüp (CNT) takviyeli yapıştırıcı kullanılarak elde edilen yapıştırıcılarla bağlanan tek bindirmeli eklemlerin kesme özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, yapıştırıcıların Karbon Nanotüpler kullanılarak güçlendirilmesinin epoksi reçinesinin dayanıklılığını ve sağlamlığını artırdığını ve bunun da yapışkanla bağlanmış bağlantıların kayma deformasyonuna ve çatlak oluşumuna karşı direncini arttırdığını belirtmiştir.

Saeed ve Zhan (2007), MWCNT takviyeli kompozit polimid filmlerde yapıştırıcı dayanımı ile ilgili gerçekleştirdikleri araştırma çalışmalarında, elastisite modülü ve kopma mukavemetinin ağırlıkça yüzde oranıyla birlikte arttığını belirten araştırmacılar, belirli bir hassas değerden sonra ise azaldığını ifade etmişlerdir. Bu hassas değer polimid çeşidine bağlı olarak %1 ve %0.5 olduğunu belirlemişlerdir. Bu bulgular, MWCNT takviyeli kompozit polimid filmlerin mekanik özelliklerinin, takviye oranıyla birlikte artış gösterdiğini ancak belirli bir noktadan sonra doygunluğa ulaştığını göstermektedir.

May ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada, yapıştırma bağlantılarında kesme hasar yükünü artırmak için belirlenen sol-jel yöntemiyle yapıştırıcıya nano-karbon ilave etmişlerdir. Yapıştırıcıya nano-karbon partiküllerinin eklenmesiyle yapıştırma bağlantılarında kesme hasar yükü yaklaşık olarak %5 ile %8 oranında artırmıştır.

Zamani ve ark. (2021), araldite 2015 yapıştırıcısı içerisine farklı oranlarda grafen ve silica nano partikülleri takviye ederek tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarını elde etmişlerdir. Daha sonra elde edilen bağlantıların mekanik özelliklerini incelemek için

statik ve eğilme yorulma deneyleri yapmışlardır. Sonuçta %0.5 ve %1 takviye oranlarında grafenden elde edilen bulk numunelerin mukavemeti silica takviyesinden daha yüksek çıkmıştır. Ancak %1.5 takviye oranlarında ise silicanın etkisi daha yüksek olmuştur. R= 0.5, 1 ve -1 gerilme genliklerinde yapılan yorulma testlerinde ise en yüksek yorulma ömrü %1 grafen ve silica takviyeli bağlantılardan elde edilmiştir. En düşük yorulma ömrü ise araldite 2015 yapıştırıcısının kullanıldığı bağlantılardan elde edilmiştir.

Ekrem ve ark. (2018), elektrospun ile üretilmiş PVB nanofiber takviyeli alüminyum bağlantıların mekanik performansı, tek bindirmeli bağlantı (SLJ) ve çift konsol kiriş (DCB) kullanılarak incelemişlerdir. Epoksi yapıştırıcıya PVA nanofiber eklenmesi ile yapıştırılarak bağlanan bağlantıların Mod I kırılma tokluğu ve bindirme kesme mukavemetinin arttığı belirtmişlerdir.

Quan ve ark. (2018), çelik fiberlerin ara eleman olarak kullanıldığı yapıştırıcı ile yapıştırılmış havacılık sınıfı kompozitlerin bağlantıları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bunu için Kompozit yapıştırma bağlantıların mod-I ve mod-II kırılma davranışı, sırasıyla double cantilever beam test ve end-loaded split testleri kullanılmıştır. Çelik fiberlerin dâhil edilmesi, kullanılan yapıştırıcıdan bağımsız olarak hem mod-I hem de mod-II kırılma dayanıklılığını önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir.

Akpınar ve ark. (2017), yapıştırıcı içerisine %0.25, 0.5%, %1, %2 ve %3 oranlarında nano Grafen-COOH, Karbon Nanotüp-COOH ve Fullerene C60 takviyelerini kullanarak tek tesirli yapıştırma bağlantılarında etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak farklı oranlarda kullanılan takviyelilerin yapıştırma bağlantıları üzerinde karışım oranları ve takviyenin türüne bağlı olarak farklı oranlarda etkilerinin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca en iyi iyileşme %1 oranı ile Fullerene C60 takviyesinden elde edilmiştir.

Khoramishad ve ark. (2018), graphene oxide nano-platelet takviyeli nano kompozit yapışkan bağlantılarda sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. %1 ve %3 graphene oxide nano-platelet takviyelerinde yapılan deneylerde %1 takviye oranında kritik sıcaklığın 60⁰ C olduğunu ve %3 takviye oranı için ise 40⁰ C olduğunu belirtmişlerdir.

Sadigh ve Marami (2016), yaptıkları çalışmada, epoksi yapıştırıcı içerisine reduced (indirgenmiş) graphene oxide (RGO) takviyesi ile farklı uzatma oranlarında yapılan bağlantılarının çekme ve basma gerilmelerini deneysel ve numerik olarak araştırmışlardır. %0.5 reduced (indirgenmiş) grafen oksit takviyesi ile yapılan bağlantılarda, çekme ve basma gerilmelerin saf epoksi bağlantılarına göre sırasıyla %30 ve %26 daha iyi çıktığı görülmüştür. Deneysel ve nümerik sonuçlar kıyaslandığında başarılı sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir.

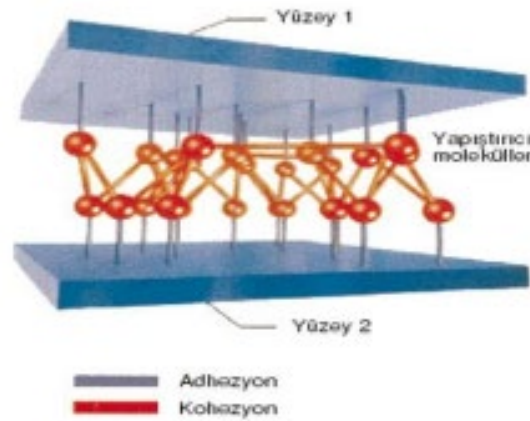
Yapılan bu tez çalışmasında, AA5754 alüminyum alaşımı yapıştırma numunesi, cam epoksi kompozit yama numunesi ve DP460 yapıştırıcı ile yapıştırma malzemesi olarak kullanılmıştır. 2000X1500 mm ticari olarak temin edilen AA5754 alüminyum alaşımı plazma ile 75x25x3 mm (uzunluk, genişlik ve kalınlık) ölçülerinde kesilmiştir. Benzer şekilde yama malzemesi olarak kullanılan cam epoksi kompozit yamaları da 40x25x3 mm ölçülerinde kesilmiştir. Yapıştırma işlemi için öncelikle takviyesiz olarak yapıştırmalar yapılmıştır. Daha sonra yapıştırıcı ile daha mukavim bağlantılar elde etmek için DP460 yapıştırıcısına Al_2O_3 , CuO, MgO ve TiO_2 nanopartiküllerinin farklı oranlardaki karışımları kullanılmıştır. Bu nanopartiküller, ağırlıkça sırasıyla %2, %4 ve %6 oranlarında seçilmiştir. takviyesiz ve takviyeli olarak yapılan bütün yapıştırmalarda bağlantı mukavemetini görmek için bütün numunelerin çekme testleri yapılmıştır. Ayrıca yapılan takviyeli yapıştırma bağlantılarında partikül ile DP460 yapıştırıcısı arasındaki yapıyı incelemek için makro ve mikro (SEM) düzeyde görüntü analizleri yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Yapışma Olayı

En az iki aynı ya da farklı malzemeyi birbirine adhezyon kuvvetleri ile güçlü bir şekilde bağlayacak ve mukavemet değerlerini koruyarak çok uzun süre birbirine bağlayacak bağlantı elemanına yapıştırıcı denir (Çalık, 2008).

Yapışma mekanizmaları iki ana parametreye bağlıdır. İlki, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme yüzeyinde oluşan fiziksel ve kimyasal bağlar neticesinde oluşan adhezyon kuvvetleridir. İkincisi de yapıştırıcının kendi içinde oluşan kohezyon olayıdır (Solmaz, 2008). Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin görüntüsü Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Yapıştırma bölgesinde oluşan adhezyon ve kohezyon kuvvetleri (Aydın, 2012; Loctite, 1988)

2.1.1. Adhezyon Kuvveti

İki farklı maddenin birbirine kenetlenmesini sağlayan çekim kuvvetine adhezyon kuvveti denir. Adhezyon kuvvetini meydana getiren iki farklı yüzey vardır. Adezivın uygulandığı maddeye adherent, adezyonu oluşturan maddeye ise adeziv adı verilir. Uygun bir adezyonun oluşması için adeziv ve adherent arasında tam bir temasın oluşması gerekir (Dayangaç, 2000). Yüzeyler üzerinde tam temas sağlanmaması halinde çekim kuvvetleri oldukça azalır. Bu yüzden yapıştırıcının tüm yüzeye temas etmesi oldukça önemlidir. Yapıştırılacak malzeme yüzeylerinde kir, yağ gibi artıkların bulunması adhezyon kuvveti üzerinde olumsuz etki göstermesinden dolayı yüzey temizliği oldukça önemlidir.

2.1.2. Kohezyon Kuvveti

Yapıştırıcının kendi içinde oluşan ve yapıştırıcıyı bir bütün halinde tutan kuvvetlerdir. Kohezyon; yapıştırıcıyı oluşturan maddenin fiziksel ve kimyasal kuvvetler sayesinde tutulumunun sağlanması olarak tanımlanır. Yapıştırıcının kürleşmesi sırasında bir takım zincirleme reaksiyonlar oluşarak meydana gelir.

2.2. Yapışma Teorileri

Yapışma mekanizmalarını açıklamak için bilim insanları yaklaşık kırk teori ortaya atmışlardır. Bu teorilerde moleküler, mikroskobik ve makroskobik düzeydeki kavramlar esas alınmıştır. Bu teorilerden hiçbiri tek başına yapıştırma bağlantılarının bütün yönlerini açıklayamaz ise de bir veya birkaç teoriyle yapıştırma bağlantılarının özelliklerini açıklamakta fayda sağlar (Temiz, 2003).

2.2.1. Adsorpsiyon Teorisi

Adsorpsiyon teorisi; en fazla kabul gören ve uygulanabilir olan teorilerden biridir. Malzeme ile yapıştırıcı arasında iyi bir temas sağlaması halinde ara yüzeyde atomlar ve moleküller arası kuvvetlerin oluşması sonucu yapışmanın meydana geldiği ileri sürülmektedir (Kinloch, 1980).

2.2.2. Mekanik Tutunma teorisi

Mcbain ve Hopkins (1925), bir katı düzlem üzerine yapıştırıcı sürüldüğünde yapıştırıcının gözeneklere gireceğini, mekanik tutunma olacağını ve bu yüzden iyi bir yapıştırma meydana geleceğini söylemiştir.

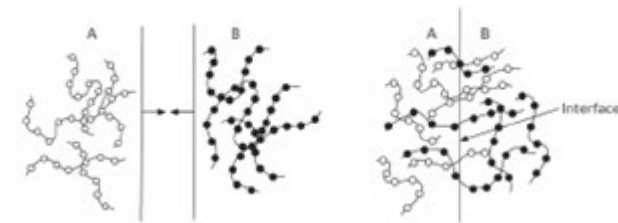
Mekanik tutunma teorisi, yapışmanın yapıştırılan malzemenin yüzeyinde bulunan gözenekler ve yüzey düzensizliklerine yapıştırıcının nüfuz etmesi sonucu oluştuğu belirtilmektedir. Yapıştırıcı, yapıştırılan bölgede sıkışan havayı yüzeyden uzaklaştırır. Böylece yapıştırıcı yüzeyde bulunan küçük boşluklara girer ve yapıştırılan iki malzeme birleşir. Bu sonuçla pürüzsüz yüzeylere nazaran gözenekli yüzeylerde meydana gelen yapışma bağlantıları daha güçlü olur. He ne kadar bu teori gözenekli yüzeylerde oluşan bağlantı mukavemetinin daha dayanıklı olduğunu söylese de pürüzsüz yüzeylerdeki yapışma bağlantılarında da iyi bağlantılar oluşabilir. Bu yüzden bu teori evrensel olarak uygulanabilir değildir. İyi bir yapışma bağlantısı için bir veya birden fazla sebep olabilir. Bunlar mekanik tutunma, temiz yüzey, reaktif bir yüzey ve yüzeye temas eden alanın artışı da mekanik tutunmadaki dayanaklığı arttırabilecek faktörler olarak ortaya çıkabilir.

2.2.3. Elektrostatik Teorisi

Derjaguin (1948), yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı arasında elektron transferinin yapışmayı meydana getiren bir çekim şarjı oluşturduğunu ileri sürmektedir. Bu teoride yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme arasındaki yapışma olayını bir kapasitöre benzetmiştir. Kapasitörün plakaları kaldırıldığında şarj boşalır vedeşarj oluncaya kadar artan bir potansiyel enerji meydana gelir. Bu teori en fazla tartışılan teorilerden biridir. Çünkü birçok araştırmacı bağlantılarda oluşan kuvvetlerin büyüklüğü noktasında aynı görüşe sahip değildir.

2.2.4. Difüzyon Teorisi

Difüzyon teorisi mekanik tutunma teorisine benzemekle birlikte oluşumu moleküler düzeydedir. Voyutski (1963), tarafından geliştirilen bu teori iki polimer malzemenin birbiri içine difüze olması sonucu oluştuğunu ifade etmektedir. Yapıştırıcının esas malzeme içerisinde erimiş halde, katılaşmadan ve yeteri kadar malzeme içine difüze olması sonucu meydana gelir. Bu teoriye göre her iki malzemenin de polimer olması gerekmektedir. Dolayısıyla difüzyonu arttıran etkenler yapışmayı da arttırmaktadır. Şekil 2.2’de polimer moleküllerin difüzyonun şematığı verilmiştir.



Şekil 2.2. Polimer moleküllerin difüzyonu (Petric, 2013)

2.3. Yapıştırma Bağlantılarının Diğer Bağlantı Yöntemleri ile Karşılaştırılması

Yapıştırıcı ile birleştirme tekniği her ne kadar son zamanlarda daha da fazla kullanım alanı bulduysa da geleneksel birleştirme tekniklerinin yerini alması söz konusu değildir. Çünkü geleneksel birleştirme bağlantılarının her birinin farklı şartlar altında üstünlükleri ve uygulanabilirlikleri vardır.

2.3.1. Perçin Bağlantıları

Perçin delikleri kesiti küçülttüğü ve çentik etkisi oluşturduğu için deliklerin kenarlarında gerilme tepeleri meydana gelir. Bindirme perçin bağlantılarında kuvvet tam olarak ortaya etki etmediği için ek olarak da bir eğilme momenti oluşturabilir. Düzgün olmayan gerilme dağılımından dolayı da mukavemet değerleri düşüktür. İş gücü gerektirmesi ve de üretim aşamalarının uzun olması bu geleneksel bağlantı yönteminin dezavantajlarından.

2.3.2. Kaynak Bağlantıları

İmalat sektöründe en çok kullanılan bağlantı yöntemidir. Üretilmek istenen makine veya parçaların yük durumu ve şekline göre tasarım yapmak mümkündür. Doğru metot ve iyi ustalık sonucu ana malzemenin mukavemet değerlerine yakın bir sonuç elde etmek olasıdır. Kaynak çok yüksek sıcaklıklarda oluşması sebebiyle yapımı sırasında malzemenin ergimesi ve hızlıca soğuması lokal gerilmelere ve iç yapıda değişmelere neden olabilmektedir. Malzemede oluşan iç gerilmeler ve insan kaynaklı hatalar mukavemet değerlerinde ciddi düşüslere sebep olabilmektedir.

Kaynak dikişlerinin test edilmesi güçtür. Emniyet gerilmesi kaynak kalitesine göre çok farklı değerlerde olur. Kaynak bağlantılarının kullanım alanını kısıtlayan bir diğer hususta sadece aynı türden malzemelerin kaynak edilebilmesidir (Çalık, 2008).

2.3.3. Lehim Bağlantıları

İki farklı malzemeyi lehimle birleştirmek mümkündür. Lehimleme sıcaklığı birleştirilmek için seçilen malzemenin ergime noktasından daha düşüktür. Sert lehimlemede içyapıda değişmeler de meydana gelebilir. Lehimlemede dekapan kullanıldığı için bağlantı yapılacak olan yüzeylerin iyi temizlenmemesi halinde korozyon tehlikesi meydana gelir. Farklı metallerin birleştirilmesinde galvanik korozyonlar oluşturabilir. Lehimleme değişik tipten pahalı malzemeleri gerektirir. Örnek olarak lehim en pahalı epoksi yapıştırıcıdan %30 daha pahalıdır (Solmaz, 2008).

2.3.4. Vida ve Cıvata ile Yapılan Bağlantılar

Vida ve cıvata bağlantılarını oluşturabilmek matkap ile delme veya darbe ile deliklerin açılması gerekmektedir. Yapılan bu işlemler birleştirilecek malzemelerin zayıflamasına sebebiyet verir. Aynı zamanda bu delinen yerlerin ara boşluklarına dolgu malzemeleri ile dolgu yapılması gerekir. Bu esnada bağlantılar yüklendiği zaman düzgün

olmayan gerilme dağılımı meydana gelir. Bu delmeler sonucunda delik etrafındaki gerilme değerleri diğer bölgede meydana gelen gerilme değerlerinin çok üstündedir. Artan bu gerilmeler sonucu oluşturulan yapıların dayanımını arttırabilmek için daha ağır malzemeler gerekir. Aynı zamanda kullanılan bu cıvata ve vidalar da yapının ağırlığını bir hayli yükseltmektedir. Artan ağırlık daha fazla enerji tüketimine neden olmaktadır. Düzensiz gerilme dağılımları yapının yorulma dayanımını da düşürmektedir. Cıvata ve vida bağlantılarını oluşturmak hem uzun süre hem de fazla işçilik isteyen durumlardır. Her ne kadar gelişen bilgisayar destekli tezgahlarda bu işlerin yapılması kolaylaşsa da bu yöntem teknik donanım ve maliyeti fazla olan makineler ile yapıldığından zaman ve maliyet açısından masraflıdır.

2.3.5. Pres Bağlantıları

Sınırlı bir kullanım alanına sahip olan pres bağlantıları sıcak ve soğuk pres olarak iki şekilde uygulanabilir. En çok silindirik parçaların bağlantılarında kullanılır. Çok düşük tolerans aralığında parçaların oluşturulması gerektiğinden parçaların üretim aşamaları çok hassas olmalıdır. Bu da yine yüksek maliyet ve uzun zaman gerektiren bir durumdur.

2.3.6. Yapıştırma Bağlantıları

Metal yapıştırma bağlantılarında yukarıda değindiğimiz diğer bağlantı yöntemlerindeki sorunlar genelde görülmez. Fakat yapıştırma bağlantıları tamamıyla diğer yapıştırma yöntemlerinin yerini de almaz. Bu yöntem ancak tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılır. Yüksek sıcaklık ve mekanik zorlama olmadan oluşturulabilen yapıştırma bağlantılarında birleştirilen parçaların özellikleri değişmez. Kaynak, sıcak perçinleme, lehim gibi bağlantı yöntemlerinde meydana gelen iç gerilmeler yapıştırma bağlantılarında görünmez. Bu da yapının dayanımına olumlu etki sağlar.

Metal yapıştırma bağlantılarının tasarımında gerekli hususlar (Cerit, 1994);

1. Yapıştırma bağlantısı yapılacak yüzeylerin genelde büyük olması gerekir.
2. Esas metalin akma sınırı dikkate alınarak yapıştırma bağlantıları hesaplanmalıdır.
3. Yapıştırılan malzemelerin rijitlik özelliği yüksek olmalıdır.
4. Farklı türden metallerin bağlantısı mümkündür.
5. Sızdırmazlık ve izolasyon özellikleri taşır.
6. Yerinde kullanılan yapıştırma konstrüksiyonların maliyeti düşüktür.

7. Yapıştırıcı içerisine eklenecek dolgu maddeleri yapıştırıcının özelliğini değiştirmektedir.
8. Özel bağlantı formları ve kombine bağlantılar kullanılarak bağlantıların dinamik mukavemeti yükseltilmelidir.

2.4. Nanopartiküller

Nano teknoloji, nano ölçekte 100 nm'den daha küçük boyuta sahip malzemeler olarak tanımlanır. 1-100 nm nano-malzemelerin kimyasal özellikleri, mikro ve makro ölçekteki malzemelerin özelliklerinden büyük ölçüde farklıdır. Nano-malzemeler, fiziksel ve kimyasal kararlılıklarının yüksek olması, fonksiyonel-leştirilebilme gibi çok yönlü kimyasal özellikleri ve yüksek yüzey alanı gibi benzersiz özelliklere sahip olduğundan dolayı bilimsel çalışmalarda oldukça ilgi görmektedir.

Parçacıklar arası mesafe, nanopartiküllerin boyutuna, şekline ve yoğunluğuna bağlıdır. Genel olarak, daha büyük nanopartiküllerin yerleştirilmesi için daha fazla mesafe gerekebilir. Aynı şekilde, daha yüksek nanopartikül yoğunluğuna sahip bir polimer matrisi, parçacıklar arası mesafeyi azaltabilir.

Sonuç olarak, nanopartikül takviyeli polimerlerde parçacıklar arası mesafe, nanopartikül boyutu, yoğunluğu, dağılımı ve polimer matrisi ile üretim yöntemine bağlı olarak değişebilir. Bu parametrelerin dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi, polimerin özelliklerini optimize etmek için önemlidir.

2.5. Yapıştırma Bağlantıları Yöntemleri

Yapıştırma bağlantıları, yapıştırıcı ve yapıştırılacak malzemenin birbirine temas etmesiyle oluşur. Bu bağlantıların mukavemet değerlerinin yüksek olabilmesi için özel tasarlanmış bağlantı çeşitleri tercih edilmelidir. Yapıştırma bağlantılarının uygun bağlantı tasarımının oluşturulabilmesi için mukavemet ve gerilme dağılımları hakkında geniş bir bilgiye sahip olmak gerekir.

2.5.1. Çift Tesirli Bağlantı

Merkezde bulunan malzemenin aynı veya farklı türden iki malzeme ile alt ve üst kısmından birleştirilmesi sonucu elde edilen bağlantıya çift tesirli bağlantı denir. Çift tesirli bağlantı geometrisi Şekil 2.3’ te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Çift tesirli bağlantı (Adam ve Wake, 1986; Troughton, 2008)

2.5.2. Tek Tesirli Bağlantı

Üretiminin kolay olması sebebiyle en çok kullanılan yapıştırma bağlantılarından biridir. Aynı ya da farklı türden malzemelerin Şekil 2.4’ deki gibi konumlandırıp yapıştırılması ile elde edilir.



Şekil 2.4. Tek tesirli bağlantı (Adam ve Wake, 1986; Troughton, 2008)

2.5.3. Tek Takviyeli Alın Bağlantı

Aynı ya da farklı iki ana malzemenin üstünde veya altında kalacak şekilde bir takviye malzemesi eklenerek yerleştirilmesiyle oluşan bağlantılara tek takviyeli alın bağlantı adı verilir. Tek takviyeli alın bağlantı geometrisi Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Tek takviyeli alın bağlantı (Adam ve Wake, 1986; Troughton, 2008)

2.5.4. Çift Takviyeli Alın Şerit Bağlantı

Aynı ya da farklı iki ana malzemenin hem üstüne hem de altına gelecek biçimde iki takviye malzemesi yerleştirilmesiyle oluşan bağlantılara çift takviyeli alın şerit bağlantısı adı verilir. Çift takviyeli alın şerit bağlantı geometrisi Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Çift takviyeli alın şerit bağlantı (Adam ve Wake, 1986; Troughton, 2008)

2.5.5. Kademeli Yapıştırma Bağlantısı

Aynı ya da farklı iki malzemenin basamak şeklindeki boşlukları yapıştırıcı malzemesi doldurulması neticesinde oluşan bağlantılara kademeli yapıştırma bağlantısı adı verilir. Şekil 2.7’de kademeli bağlantı tipi gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kademeli bağlantı (Adams ve Wake, 1986)

2.5.6. Pah Bağlantı

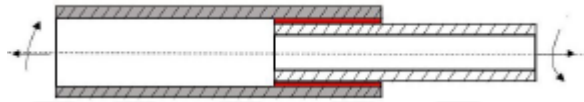
Yapıştırılacak olan iki malzemenin açılı oluşturacak şekilde yapıştırılması sonucu oluşan yapıştırma bağlantılarına denir. Şekil 2.8’de pah bağlantı tipi gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Pah bağlantı (Adams ve Wake, 1986)

2.5.7. Silindir (tüp) Şeklinde Bağlantı

Yapıştırılacak olan alanını arttırılması için silindirik malzemelerin kullanıldığı bağlantı çeşitlerine denir. Bu yöntem sayesinde bağlantı sonucu oluşan gerilmeler azalmaktadır. Şekil 2.9’da silindir şeklinde bağlantı tipi gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Silindir şeklinde bağlantı (Adam ve Wake, 1986)

2.5.8. Alın Bağlantı

Aynı veya farklı türden oluşan iki malzemenin alın altına yapıştırıldığı yapışma bağlantılarına denir. Şekil 2.10’da alın bağlantı tipi gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Alın bağlantısı (Adams ve Wake, 1986)

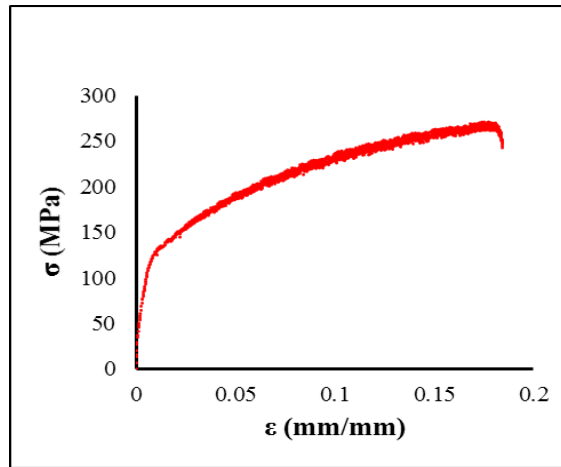
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, AA5754 alüminyum alaşımı, cam epoksi kompozit ve DP460 yapıştırıcı malzemeleri kullanılmıştır. Yapıştırma numunesi olarak AA5754 alüminyum alaşımı seçilmiş ve bu amaçla 75x25x3 mm (uzunluk, genişlik ve kalınlık) ölçülerinde plazma ile kesilmiştir. Cam epoksi kompozit yamaları ise 40x25x3 mm ölçülerinde kesilmiştir. Yapıştırıcı olarak DP460 yapıştırıcısı tercih edilmiştir. Ayrıca, DP460 yapıştırıcı ile daha iyi yapıştırma bağlantıları elde etmek için Al_2O_3 , CuO, MgO ve TiO_2 nanopartiküllerinin farklı oranlardaki karışımları takviye olarak kullanılmıştır. Bu nanopartiküller, ağırlıkça sırasıyla % 2, % 4 ve % 6 oranlarında seçilmiştir.

3.1. Deneyde Kullanılan Materyaller

3.1.1. AA 5754 Alüminyum Alaşımı

Bu çalışmada, deniz suyu ve endüstriyel kimyasal ortamlara son derece dayanıklı olan AA5754 alüminyum alaşımı, yapıştırılan malzeme olarak tercih edilmiştir. AA5754 alüminyum alaşımı, yüksek kaynak kabiliyeti ve yorulma dayanımı ile dikkat çekmektedir. Ayrıca, deniz suyu korozyonuna karşı direnç göstermesi ve yumuşak temper formunda soğuk işlenebilirliğinin iyi olması gibi özellikler, gemi inşaat sektöründen kimyasal cihazlara, depolama tanklarından basınçlı kaplara, katlanabilir köprülerden kaynaklı kamyon gövdelerine, askeri araç gövde ve zırhlarında yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Şekil 3.1'de, AA5754 alüminyum alaşımının gerilme-gerinme grafiği görülmektedir. Tablo 3.1'de ise AA5754 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri yer almaktadır.



Şekil 3.1. AA 5754 Alüminyum alaşımı gerilme gerinme grafiği

Tablo 3.1 AA5754 alüminyum alaşımı mekanik özellikleri (Çetkin, 2021)

Elastisite modülü	78.586 GPa
Poisson Oranı	0.324
Çekme gerilmesi	272.0561 MPa

3.1.2. Cam Epoksi Kompozit Malzemesi

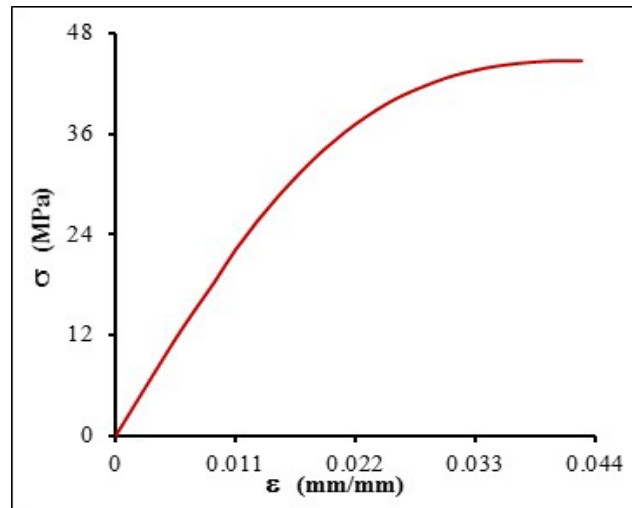
Bu tez çalışmasında yama malzemesi olarak cam epoksi kompozit malzemesi kullanılmıştır. Cam epoksi kompozit malzemelerinin mekanik özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Cam epoksi kompozit malzemesinin mekanik özellikleri (Adin, 2012)

Malzeme	Çekme Gerilmesi (MPa)	Elastisite Modülü (MPa), $[E_x, E_y, E_z]$	Kayma Gerilmesi (GPa), $[G_{xy}, G_{xz}, G_{yz}]$
Cam Epoksi	320	44000, 2000, 2000	4, 4, 3

3.1.3. DP460 Epoksi Yapıştırıcı

DP460 yapıştırıcısı ticari olarak 3M firmasından temin edilmiştir. Bu ürün epoksi ve sertleştirici olmak üzere iki bileşenden oluşur. Hacimsel olarak epoksi/sertleştirici oran 2/1 olduğundan yapıştırıcının dayanımı yüksektir. Şekil 3.2.’de gerilme şekil değişimi, Tablo 3.3’te ise DP460 yapıştırıcısının mekanik özellikleri verilmiştir.

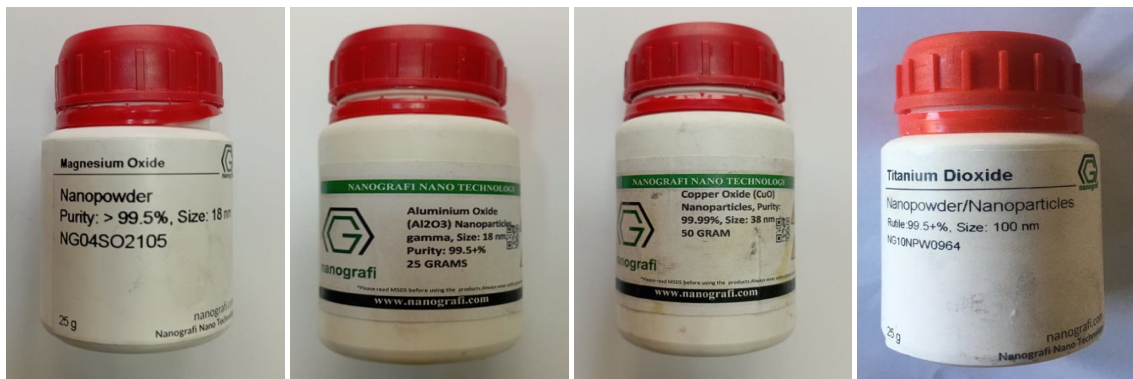
**Şekil 3.2.** DP460 Epoksi yapıştırıcısı gerilme gerinme grafiği

Tablo 3.3. DP460 Epoksi yapıştırıcısının Mekanik Özellikleri (Çetkin, 2021)

Elastisite Modülü	2077.1 Mpa
Poisson Oranı	0.38
Çekme Dayanımı	44.616 Mpa

3.1.4. Nanopartikül Takviye Malzemeleri

Yapılan deneysel çalışmada dört (4) çeşit nanopartikül kullanılmıştır. Tablo 3.4'te çalışmada kullanılan nanopartiküller ve karışım oranları verilmiştir. Tablo 3.5'te ise deneysel çalışmada kullanılan nanopartikül takviyeleri ve özellikleri gösterilmiştir. Şekil 3.3'te çalışmada kullanılan takviye partikülleri gösterilmiştir.

**Şekil 3.3.** Yapıştırıcı içerisine takviye edilen nanopartiküllerin görüntüleri

Nanopartikül takviyeler epoksi yapıştırıcı içerisine, çekme deneylerinde, her bir nanopartikül için sırasıyla %2, %4 ve %6 ağırlık oranlarında eklenmiştir.

Tablo 3.4. Partiküllerin ağırlıkça oranları

Malzemeler	Partikül Oranları (%)		
Al ₂ O ₃	2	4	6
CuO	2	4	6
MgO	2	4	6
TiO ₂	2	4	6

Tablo 3.5. Kullanılan partiküllerin özellikleri

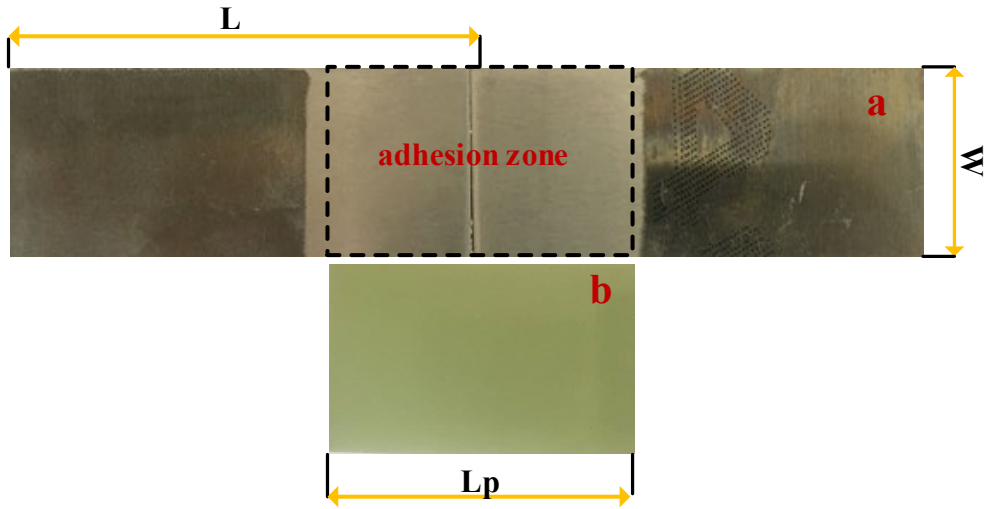
Özellikler	Nanopartiküller			
	Al ₂ O ₃	Cuo	Mgo	TiO ₂
Safılık (%)	99.5	99.9	99.5	99.5
Ortalama Partikül boyutu (nm)	18	38	18	100
Özgül yüzey alanı (m ² /g)	140	20	65	19
Gerçek yoğunluk	3900kg/m ³	6.5 kg/cm ³	3.6kg/cm ³	4.5 kg/cm ³
Şekilsel özellik	Küresel	Küresel	Küresel	Küresel
Renk	Beyaz	Siyah	Beyaz	Beyaz

3.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Yapıştırma İşlemi

AA5754 alüminyum alaşımı malzemesi 3 mm kalınlık, 2000 mm uzunluk ve 1500 mm genişliğinde temin edilmiştir. Daha sonra önceden belirlediğimiz deney numune ölçüleri olan 75x30 mm (LxW) ebatlarında lazerde kesimi yapılmıştır. Yapıştırma malzemeleri lazerde kesildikten sonra yapıştırma yapılacak olan bölgeye temizleme işlemi yapılmıştır. Yapışma bölgesine 80 numara zımpara ile temizleme işlemi uygulanmış, sonrasında asetona daldırma işlemi gerçekleştirilerek 30 dakika aseton içerisinde bekletilmiştir. Şekil 3.4'te numunelerin aseton içerisinde bekleme anında çekilen bir görüntüsü verilmiştir. Bu işlemden sonra numuneler kurumaya bırakılmıştır. Şekil 3.5'te yapıştırma işleminde kullanılan AA5754 alüminyum numunesi ve cam epoksi kompozit yamalarının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.4. AA5754 Alüminyum alaşımının asetona daldırılması



Şekil 3.5. Yapıştırma bağlantısının şematik görüntüsü (a: AA5754 yapıştırma numunesi, b: Cam epoksi yama numunesi)

75x25x3 mm ölçülerinde hazırlanan AA5754 alüminyum alaşımları 25 mm genişlik (W), 40 mm yükseklik (lym) ve 3 mm kalınlığında cam epoksi kompozit yamalarla çift taraflı olacak şekilde yapıştırılmıştır. Yapıştırıcı olarak DP 460 ve takviye malzemesi olarak Al_2O_3 , CuO, MgO ve TiO_2 nanoparçacıklar kullanılmıştır. Yapıştırma işlemi gerçekleştirilirken takviyesiz DP460 ve her nanoparçacık için kütlece %2, %4 ve %6 oranlarında karışım oluşturulmuş, toplamda 39 farklı numune üretilmiştir. Sonuçların daha güvenilir olması için her numuneden 3'er adet üretilmiştir. Şekilde 3.6'da numunelerin yapıştırma işleminde kullanılan tabanca, DP460 yapıştırıcısı ve karıştırıcı gösterilmektedir.

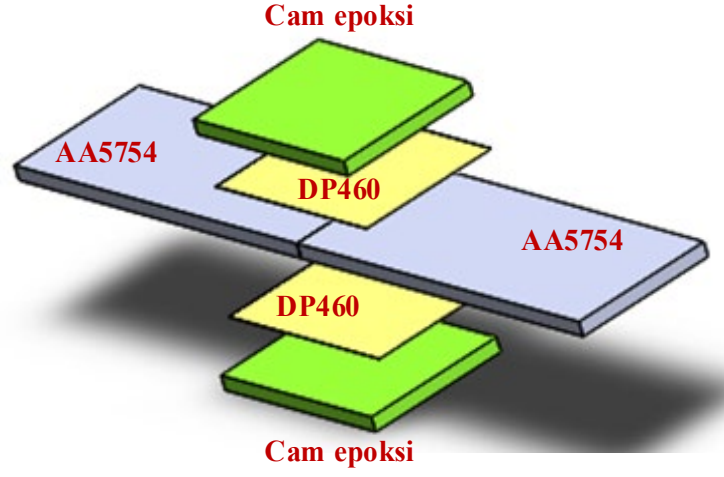


Şekil 3.6. Yapıştırma işleminde kullanılan tabanca, karıştırıcı nozel ve DP460 yapıştırıcısı

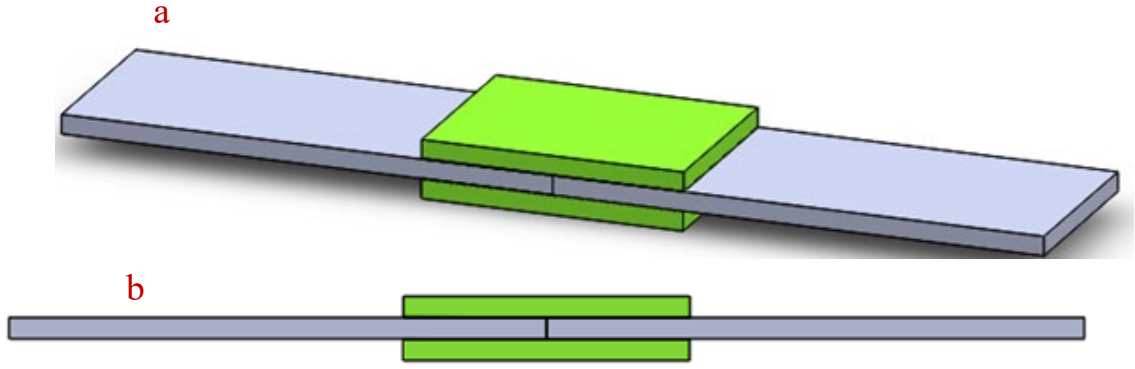
DP460 yapıştırıcısı içerisine farklı partikül ve farklı takviye oranlarında yapıştırıcı karışımı hazırlamak için hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 3.7’de ölçüm ve karıştırma esnasında çekilen bir görüntü verilmiştir. Yapıştırma bağlantıların şematik gösterimi 3.8’de ve 3D çizimi Şekil 3.9’da verilmiştir. Yapılan yapıştırma bağlantılarından çekilen bir görüntü Şekil 3.10’da verilmiştir.



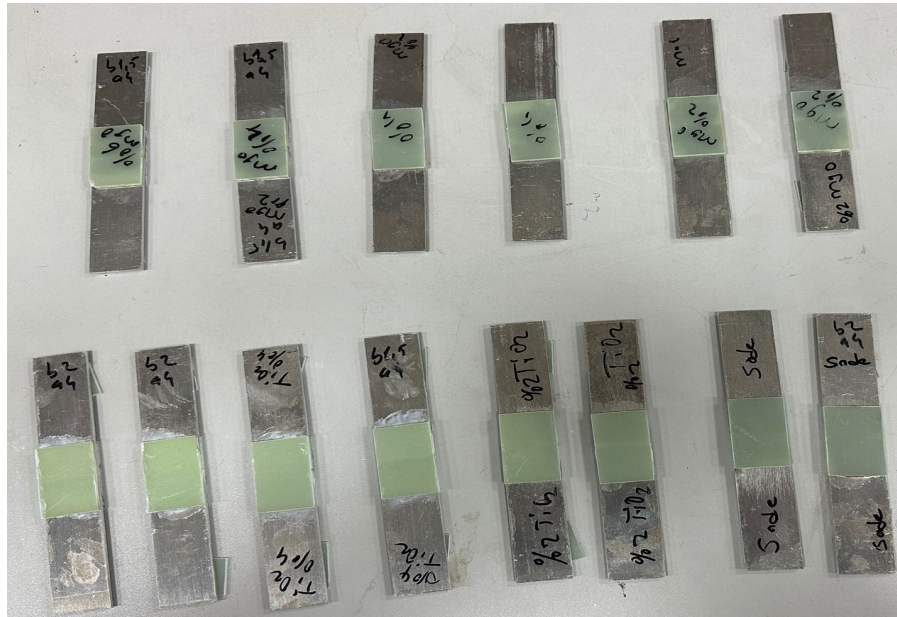
Şekil 3.7. Partiküllerin ve DP460 yapıştırıcı karışımların hassas terazide ölçümleri



Şekil 3.8. Yapılan yapıştırma bağlantının şematigi



Şekil 3.9. Yapıştırma bağlantılarının 3D çizimi (a: izometrik görünüş b: önden görünüş)



Şekil 3.10. Yapıştırmaları yapılan bazı numunelerin toplu gösterimi

3.2. Deney Numunelerinin Çekme Testleri

Çekme deneyleri 250 KN kapasiteye sahip SHIMADZU AG-IC marka çekme test cihazında 1mm/dk sabit ilerleme çekme hızında gerçekleştirilmiştir (şekil 3.11’de verilmiştir). Her bir parametre için 3 kez tekrarlanan çekme testinde ortalama çekme kuvveti ve ortalama deplasmanlar belirlenerek hata payı minimize edilmiştir. Daha sonra bu ortalama değerler kullanılarak kuvvet-deplasman eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 3.11. Çekme deneylerin yapıldığı çekme deney cihazı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

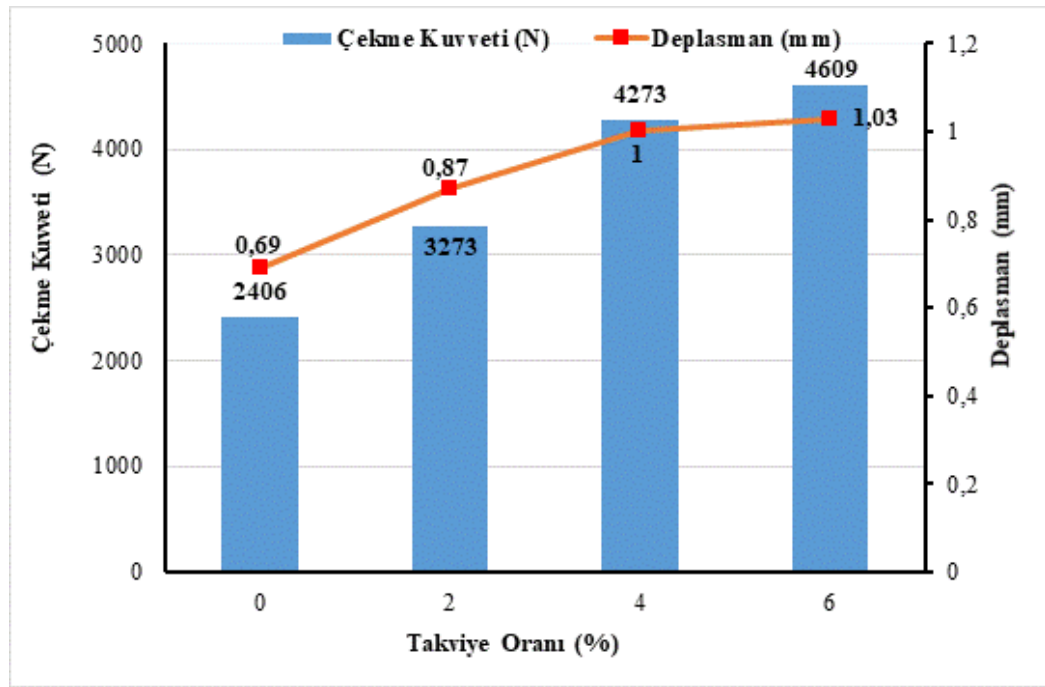
Bu çalışmanın ilk aşamasında, DP460 yapıştırıcısı kullanılarak sabit uzunluktaki çift taraflı yamalarla yapıştırmalar gerçekleştirilmiştir. Ardından dört farklı nano partikülün (Al_2O_3 , CuO, MgO ve TiO_2) DP460 yapıştırıcısıyla kullanımının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla DP460 yapıştırıcısına Al_2O_3 , CuO, MgO ve TiO_2 partikülleri ağırlıkça %2, %4 ve %6 oranlarında ilave edilerek yapıştırmalar yapılmıştır. Tüm yapıştırma işlemleri için AA5754 alüminyum alaşımından kesilen numuneler ve cam epoksi kompozit malzemeden hazırlanan yamalar kullanılmıştır. Yapılan yapıştırma bağlantılarında her parametrenin yapıştırma çekme dayanımına etkisini belirlemek amacıyla tüm numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Daha sonra dört farklı nanopartikül ve üç ayrı karışım oranıyla elde edilen deney numuneleri, takviyesiz DP460 yapıştırıcısı kullanılarak oluşturulan numunelerin mekanik özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Çekme testleri tamamlandıktan sonra numunelerin kopma yüzeylerinin makro ve mikro (SEM) görüntüleri alınmıştır.

4.1. Çekme Deney Sonuçları

4.1.1 Al_2O_3 Takviyeli Yapıştırma Bağlantıları

Öncelikle takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısı ile yapıştırmalar yapılmıştır. Daha sonra DP460 yapıştırıcısı içerisine ağırlıkça sırasıyla %2, %4 ve %6 oranlarında Al_2O_3 partiküllü ilave edilerek yapıştırmalar yapılmıştır. Takviyelerin etkilerini ve hata payını minimize etmek için her bir deney parametresinde üç defa numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Şekil 4.1’de çekme deneylerinde elde edilen kuvvet-partikül oranı-deplasman grafiği verilmiştir. Yapılan çekme deneylerinde; takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısının maksimum çekme kuvveti 2406 N, %2 Al_2O_3 takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 3273 N, %4 Al_2O_3 takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 4273 N ve %6 Al_2O_3 takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 4609 N (şekil 4.1) olarak tespit edilmiştir. Maksimum deplasman değerleri çekme kuvvetinde olduğu gibi %6 takviyeli yapıştırma bağlantısında 1.03 mm olarak elde edilmiştir. Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısına göre çekme kuvveti değeri %2 karışım oranında %36, %4 karışım oranında %77, %6 karışım oranında ise %91 oranında artış göstermiştir. Al_2O_3 partiküllü eklenmiş yapıştırma bağlantıları takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısına nazaran olumlu etki sağlamıştır. En yüksek çekme kuvveti %6 oranında Al_2O_3 takviye

edilmiş deney numunesinde elde edilmiştir. Saraç (2018), yaptığı tez çalışmasında epoksi yapıştırıcısı içerisine Al_2O_3 takviyesi ile yapılan yapıştırma bağlantılarında takviyesiz duruma göre hasar kuvvetlerinde artışların olduğunu belirtmiştir. Ayrıca çalışmasında %4 Al_2O_3 takviyesinde maksimum çekme hasarların elde edildiği görülmüştür. Benzer şekilde Zhai ve ark. (2007) %2 oranında Al_2O_3 partikül takviyeleri ile yapılan yapıştırma bağlantılarında çekme hasar yüklerin arttığını vurgulamışlardır.

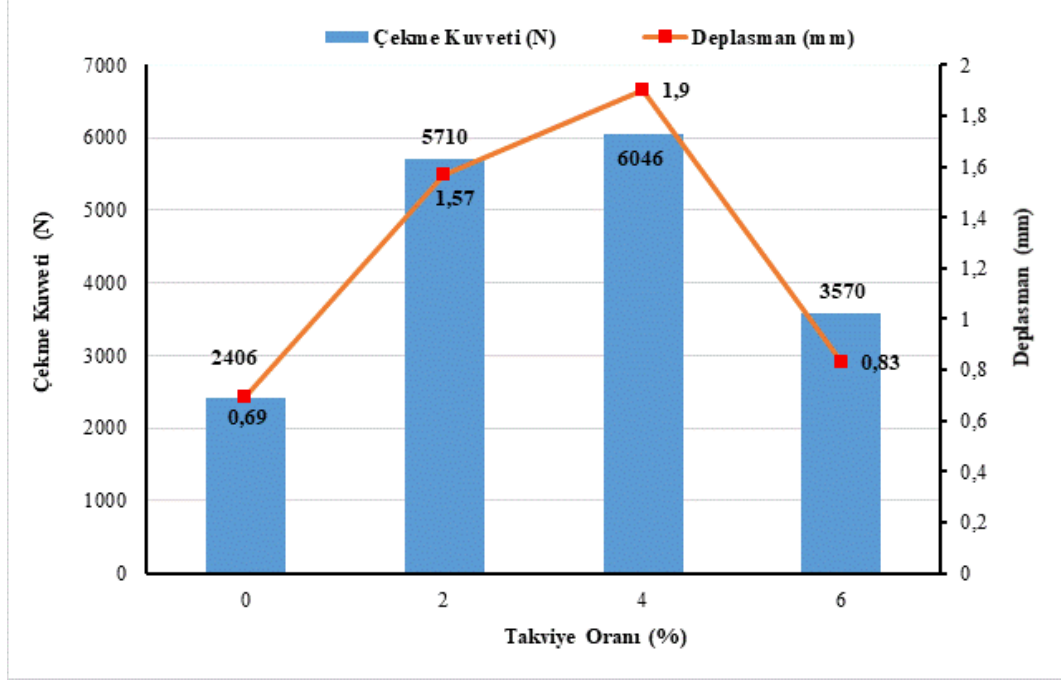


Şekil 4.1. Takviyesiz ve Al_2O_3 takviyeli yapıştırıcıların çekme kuvveti- karışım oranı-deplasman grafiği

4.1.2 CuO Takviyeli Yapıştırma Bağlantısı

Yapıştırma bağlantıları için takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısı ve bu yapıştırıcı içerisine %2, %4 ve %6 oranlarında CuO partikülü ilave edilerek yapıştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.2’de CuO takviyeli yapıştırma bağlantısının çekme kuvveti-karışım oranı-deplasman grafiği verilmiştir. Takviyelerinin etkisini belirlemek için yapılan çekme deneylerinde, takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısının maksimum çekme kuvveti 2406 N, %2 CuO takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 5710 N, %4 CuO takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 6046 N ve %6 CuO takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 3570 N olarak tespit edilmiştir. Maksimum deplasman değerleri çekme kuvvetinde olduğu gibi %4 takviyeli yapıştırma bağlantısında 1.9 mm olarak elde edilmiştir. Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısına göre çekme kuvveti değeri %2 karışım oranında %137, %4 karışım oranında %151, %6 karışım oranında ise %48

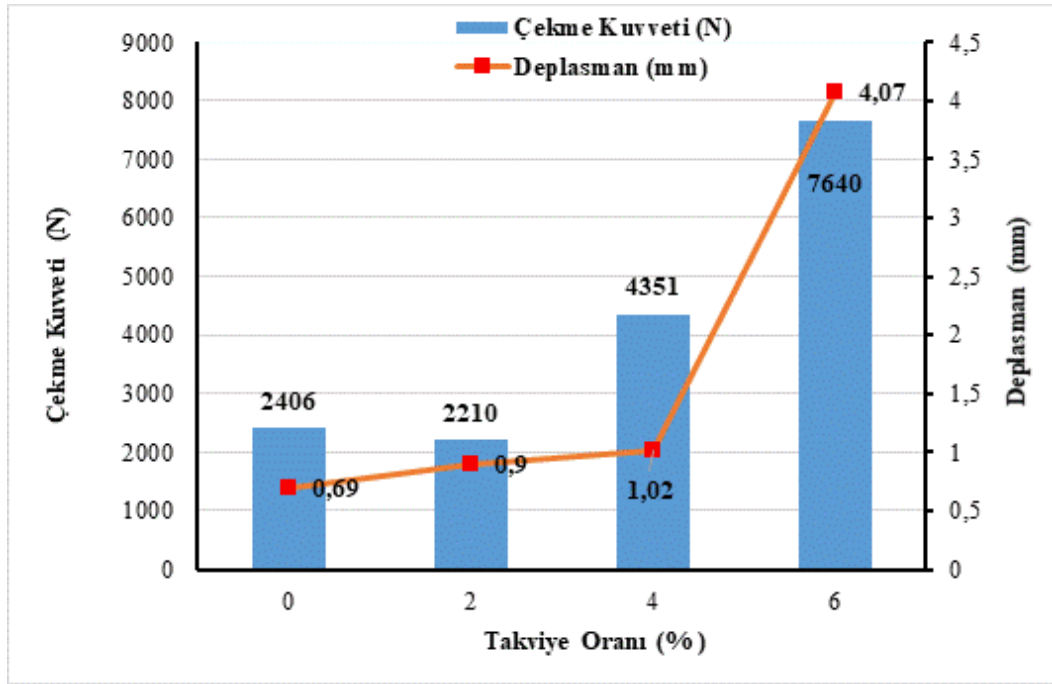
oranında artış göstermiştir. CuO partikülü eklenmiş yapıştırma bağlantıları, takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısına nazaran olumlu etki sağlamıştır. En yüksek değer %4 oranında CuO takviye edildiği numunede tespit edilmiştir.



Şekil 4.2 Takviyesiz ve CuO takviyeli yapıştırıcıların Çekme kuvveti- karışım oranı-deplasman grafiği

4.1.3 MgO Takviyeli Yapıştırma Bağlantıları

Yapıştırma bağlantıları için takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısı ve bu yapıştırıcı içerisine %2, %4 ve %6 oranlarında MgO partikülü ilave edilerek yapıştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.3'te MgO takviyeli yapıştırma bağlantısının çekme kuvveti-karışım oranı-deplasman grafiği verilmiştir. Sırasıyla; takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısının maksimum çekme kuvveti 2406 N, %2 MgO takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 2210 N, %4 MgO takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 4351 N ve %6 MgO takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 7640 N olarak tespit edilmiştir. Maksimum deplasman değerleri çekme kuvvetinde olduğu gibi %6 takviyeli yapıştırma bağlantısında 4.07 mm olarak elde edilmiştir. Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısına göre çekme kuvveti değeri %2 karışım oranında %8'lik bir azalma, %4 karışım oranında %80,83 artış, %6 karışım oranında ise %217 oranında artış göstermiştir. MgO partikül eklenmiş yapıştırma bağlantıları takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısına nazaran olumlu etki sağlamıştır. En yüksek çekme kuvveti %6 oranında MgO eklenmiş numunede tespit edilmiştir.

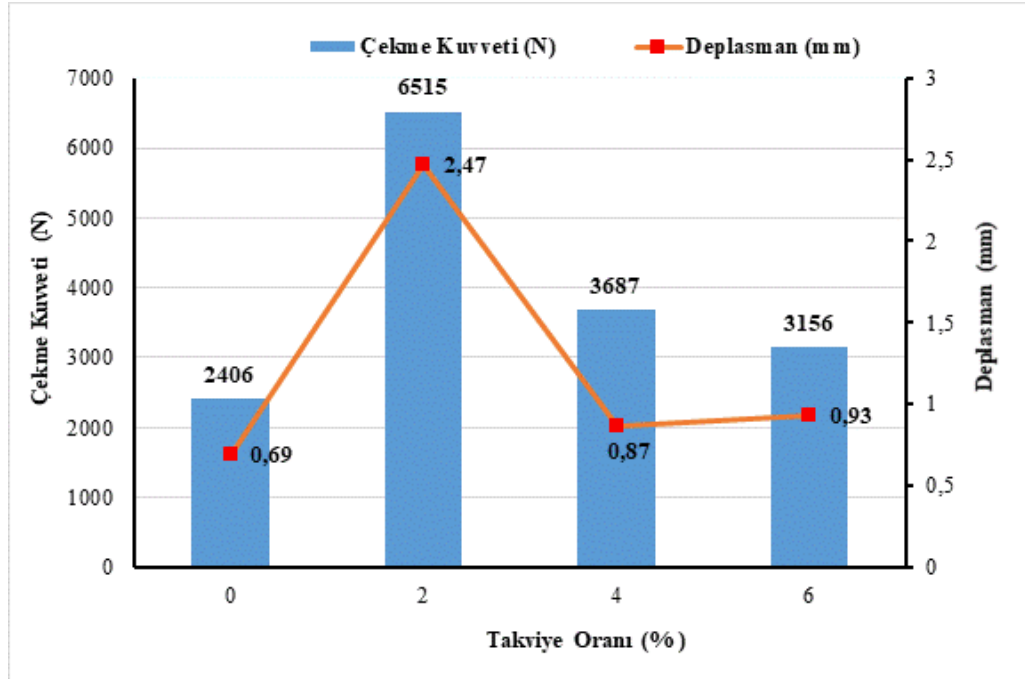


Şekil 4.3. Takviyesiz ve MgO takviyeli yapıştırıcıların Çekme kuvveti- karışım oranı-deplasman grafiği

4.1.4 TiO₂ Takviyeli Yapıştırma Bağlantıları

Yapıştırma bağlantıları için takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısı ve bu yapıştırıcı içerisine %2, %4 ve %6 oranlarında TiO₂ partikülü ilave edilerek yapıştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.4’de TiO₂ takviyeli yapıştırma bağlantısının çekme kuvveti-karışım oranı-deplasman grafiği verilmiştir. Yapılan yapıştırma bağlantılarında takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısının maksimum çekme kuvveti 2406 N, %2 TiO₂ takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 6515 N, %4 TiO₂ takviyeli yapıştırıcının maksimum çekme kuvveti 3687 N ve %6 TiO₂ takviyeli yapıştırıcın maksimum çekme kuvveti 3156 N olarak tespit edilmiştir. Maksimum deplasman değerleri çekme kuvvetinde olduğu gibi %2 takviyeli yapıştırma bağlantısında 2.47 mm olarak elde edilmiştir. Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısına göre çekme kuvveti değeri %2 karışım oranında %170, %4 karışım oranında %53, %6 karışım oranında ise %31 oranında artış göstermiştir. TiO₂ partikül eklenmiş yapıştırma bağlantıları takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısına nazaran olumlu etki sağlamıştır. Yapılan yapıştırma bağlantılarında en yüksek çekme kuvveti %2 oranında TiO₂ takviye edildiği numune elde edilmiştir. Tutunchi ve ark. (2015), TiO₂ partikülü yapıştırma bağlantılarında %3 takviye oranına kadar takviyesiz duruma göre çekme hasar yüklerinde artışların olduğu ancak %3 üzerindeki takviye oranlarında çekme yüklerini azalttığını belirtmişlerdir. Akpınar (2016), yaptığı çalışmada DP460, DP270, Araldite2015 ve AV138 yapıştırıcıları

içerisine ağırlıkça %1 ve %2 oranlarında TiO_2 kullanılarak tek bindirmeli yapıştırıcılar yapmıştır. Deneysel çalışmasında takviyesiz duruma göre TiO_2 ilavesinin çekme hasar yüklerini artırmıştır.



Şekil 4.4. Takviyesiz ve TiO_2 takviyeli yapıştırıcıların Çekme kuvveti- karışım oranı-deplasman grafiği

Bu sonuçlar ele alındığında partikül takviyesinin çekme mukavemetine etkisi olumlu yönde etki etmiştir. Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısı ve dört farklı nanopartikül eklenmiş haliyle oluşturulan deney numunelerinde en yüksek çekme mukavemeti %6 oranın da MgO eklenmiş numunelerde tespit edilmiştir.

4.2. Çekme Numunelerinin Kopma Sonrası Yüzey Görüntüleri

Bir yapıştırıcı bağlantısının yapışma mukavemeti iki yapışma yüzeyi arasındaki yapıştırma mukavemeti ve ara yüzey mukavemetine bağlıdır. Yapıştırıcı mukavemeti belirli bir yapıştırıcı için sabitken, yapışma yüzeyleri için bu durum yüzey durumuna bağlı olarak iyileştirilebilir. Örneğin, yüzey ile polimer yapıştırıcının mekanik kilitlenmesi için temizlik ve mikro yapılar olası bir durumdur (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

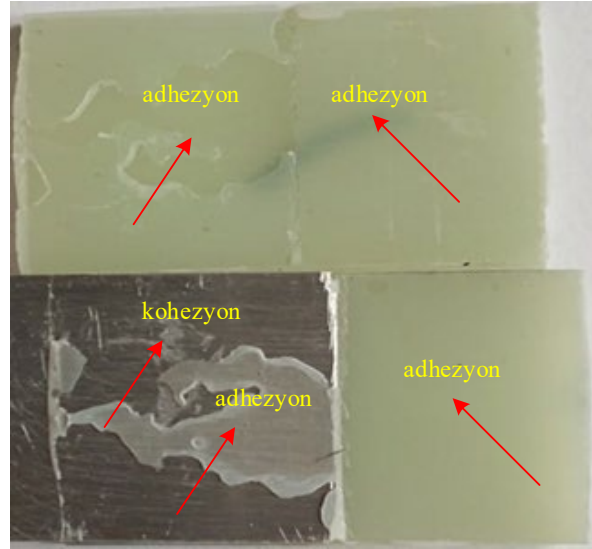
yapışkan tabaka içinde meydana gelir. (Brandtner, 2017), (iii) Bu iki türün karışık mod hasarları, hem yapışkan hem de kohezyon hasarları özelliklerine sahip farklı bağ alanlarında mümkündür. (iv) Yapışkan bir bağlantının genel yapışma mukavemeti, laminer kompozit yapıştırıcıların soyulma mukavemetinden daha yüksekse, cam fiber takviyeli kompozitler (CFTK) katmanlara ayrılmadan kaynaklanan yapısal hasarlar meydana gelebilir. Yapılan bu çalışmada yapışma bölgelerinin hasar analizi yapıp bunun yapışma mukavemeti üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Bunun için numunelerin çekme testinden sonraki makro ve SEM görüntüleri alınmıştır.

4.2.1. Çekme Testleri Sonrası Numunelerin Kopma Yüzeylerinin Makro Görüntüleri

Partikül takviyeleri ile DP460 yapıştırıcısı arasındaki karışımın yapısını incelemek için numunelerin çekme testleri sonrasında kopan yüzeylerin makro görüntüleri alınıp yüzey morfolojisi ile çekme kuvvetleri arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

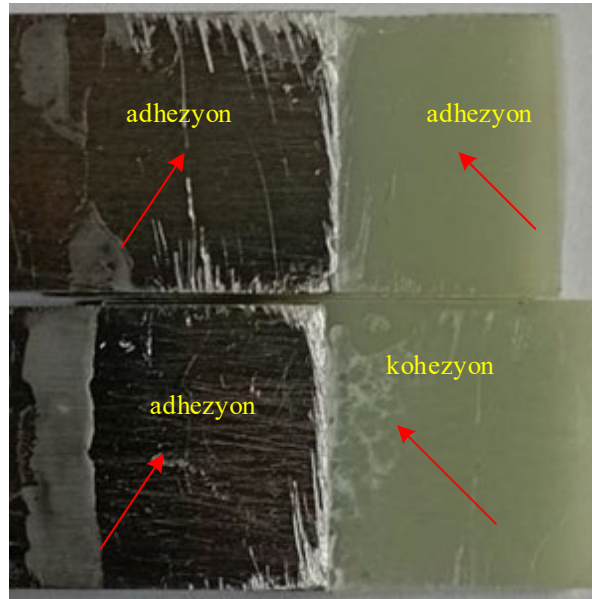
4.2.1.1. %2, %4 ve %6 oranlarında Al_2O_3 Takviye Edilmiş Numunelerinin Makro Görüntüleri

DP460 epoksi yapıştırıcısı içerine %2 oranında eklenmiş Al_2O_3 numunesinin kopma sonrası makro görüntüsü Şekil 4.6'da, %4 oranında eklenmiş Al_2O_3 numunesinin kopma sonrası makro görüntüsü Şekil 4.7'de ve DP460 epoksi yapıştırıcısına %6 oranında takviye edilmiş Al_2O_3 numunesinin kopma sonrası makro görüntüleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



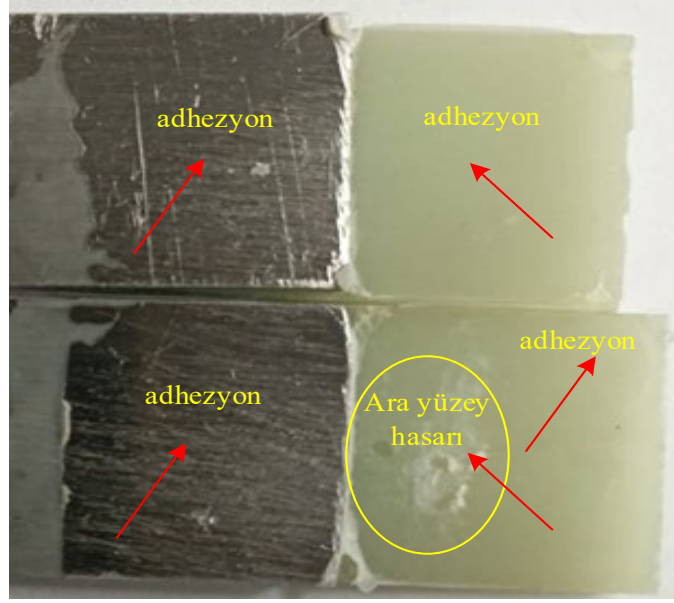
Şekil 4.5. Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırma bağlantısının kopma sonrası makro görüntüsü

Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırılmalı numunelerin çekme sonrası kopma yüzeyleri incelendiğinde daha çok adhezyon hasarları görülmüştür. AA5754 yapıştırma numunesi üzerinde az da olsa kohezyon hasarlarının da meydana geldiği gözlemlenmiştir.



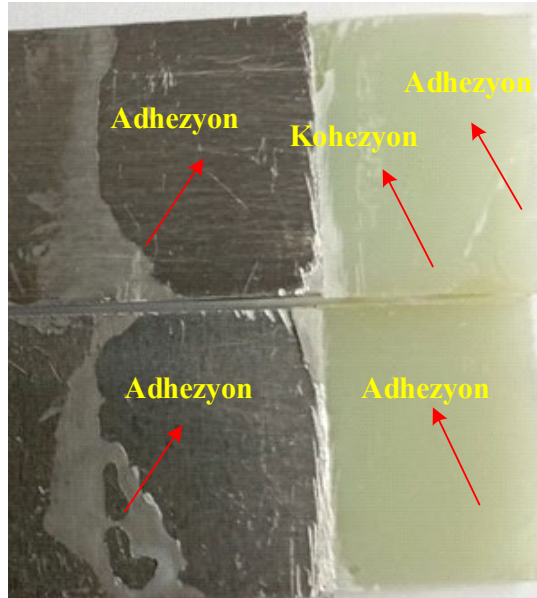
Şekil 4.6. %2 oranında Al_2O_3 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısı içerisine % 2 oranında Al_2O_3 partikülü takviye edilerek oluşturulmuş numunelerin çekme sonrası yüzeyleri makro ölçüde incelendiğinde daha çok adhezyon hasarlarının olduğu, yama malzemesi cam epoksi kompozit mazlemesinde kısmi kohezyon hasarlarının olduğu da gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7 %4 oranında Al_2O_3 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısı içerisine %4 oranında Al_2O_3 partikülü takviye edilerek yapıştırılmış numunelerin çekme sonrası kopma yüzeylerin makro görüntüleri incelendiğinde daha çok adhezyon hasarlarının olduğu, cam epoksi kompozit malzemesinin orta kısmında ara yüzey hasarlarının da meydana geldiği gözlemlenmiştir.

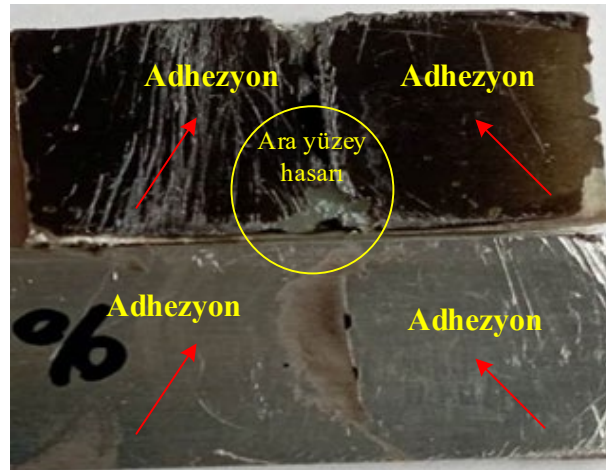


Şekil 4.8. %6 oranında Al_2O_3 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcı içerisine %6 oranında Al_2O_3 oranına partikül takviye edilerek oluşturulmuş numunelerin çekme sonrası yüzey görüntüleri makro ölçüde incelendiğinde daha çok adhezyon hasarların olduğu, yama malzemesi cam epoksi kompozit malzemesinde kısmi kohezyon hasarlarının olduğu gözlemlenmiştir. Bütün yapıştırma bağlantıları incelendiğinde yapışma yüzeylerinde yapıştırıcının kaldığı görülmüştür. Bunun sebebi yapıştırıcı ile yapıştırma numunesi arasındaki yerel kilitlemelerden dolayı olduğu düşünülmektedir.

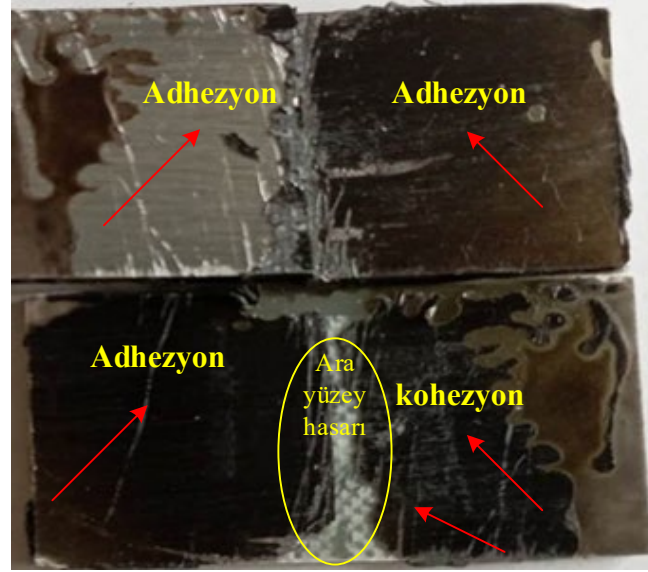
4.2.1.2. %2, %4 ve %6 Oranlarında CuO Takviye Edilmiş Numunelerinin Makro Görüntüleri

DP460 epoksi yapıştırıcısı içine %2, %4 ve %6 oranlarında CuO partikülü takviye edilmiş numunelerin çekme deneyleri sonrası yapışma kopma yüzeylerinin makro görüntüleri sırasıyla şekil 4.9, şekil 4.10. ve şekil 4.11’de verilmiştir.



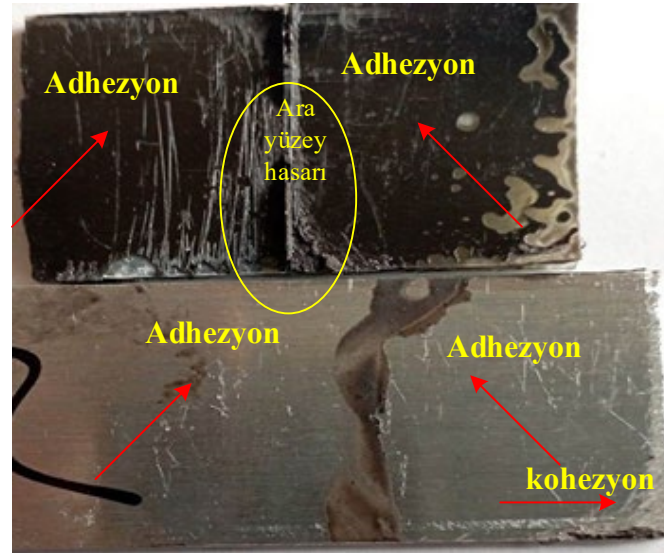
Şekil 4.9. %2 oranında CuO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcı içerisine %2 oranında CuO partikül takviye edilerek yapıştırılmış numunelerin çekme sonrası yüzey görüntüleri makro ölçüde incelendiğinde daha çok adhezyon hasarları oluşmuştur. Ayrıca yama malzemesi cam epoksi kompozit malzemesin ortam kısımlarında ara yüzey hasarlarının meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10. %4 oranında CuO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

%4 oranında CuO partikül takviye edilerek oluşturulmuş numunelerin çekme sonrası yüzey görüntüleri makro ölçüde incelendiğinde daha çok adhezyon hasarların olduğu, yama malzemesi cam epoksi kompozit malzemesin orta kısımlarında fiber hasarları ve ara yüzey hasarlarının meydana geldiği gözlemlenmiştir.



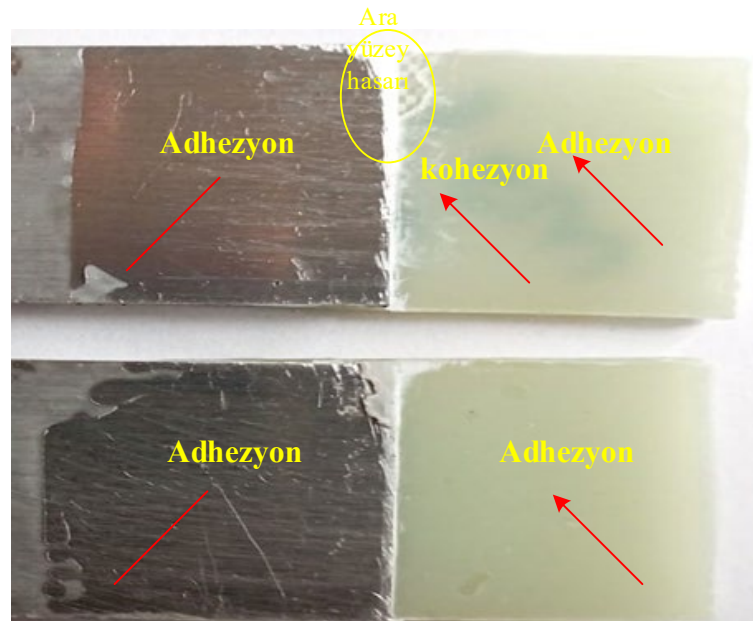
Şekil 4.11. %6 oranında CuO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

%6 oranında CuO partikül takviye edilerek oluşturulmuş numunelerin çekme sonrası yüzey görüntüleri makro ölçüde incelendiğinde daha çok adhezyon hasarların

oluştugu, yama malzemesi cam epoksi kompozit malzemesin alt köşesinde ara yüzey hasarlarının meydana geldiği ve AA5754 alüminyum alaşım malzemesinin köşe kısmında kohezyon hasarlarının olduğu gözlemlenmiştir.

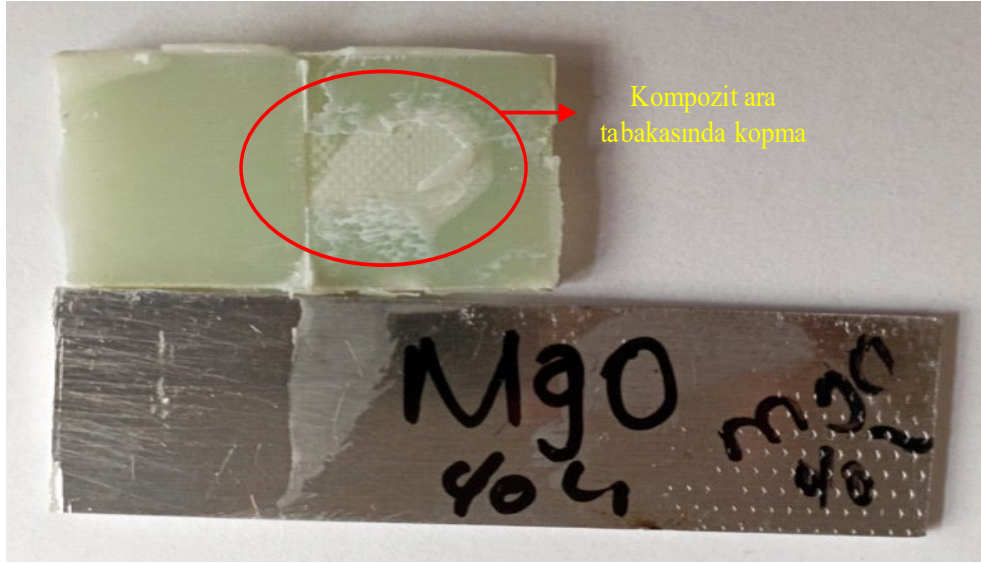
4.2.1.3. %2 , %4 ve %6 Oranlarında MgO Takviye Edilmiş Numunelerinin Makro Görüntüleri

DP460 epoksi yapıştırıcısı içerine %2, %4 ve %6 oranlarında MgO partikülü eklenmiş numunelerin çekme deneyleri sonrası yapışma kopma yüzeylerinin makro görüntüleri sırasıyla Şekil 12, Şekil 4.13. ve Şekil 4.14'te verilmiştir.



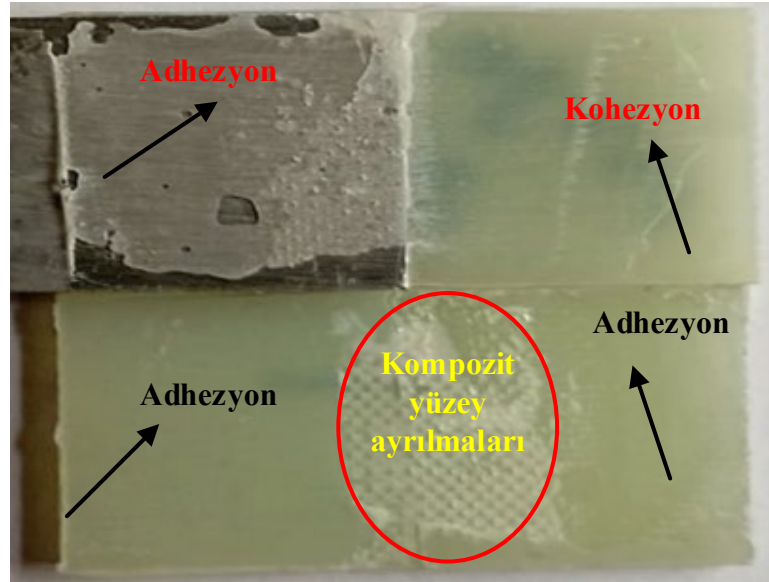
Şekil 4.12. %2 oranında MgO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcı içerisine %2 oranında MgO oranına partikül takviye edilerek oluşturulmuş numunelerin çekme sonrası yüzey görüntüleri makro ölçüde incelendiğinde daha çok adhezyon hasarların olduğu, yama malzemesi cam epoksi kompozit malzemesin üst köşesinde ara yüzey hasarlarının meydana geldiği ve AA5754 alüminyum alaşım malzemesinin köşe kısmında kohezyon hasarlarının olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. %4 oranında MgO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

Şekil 4.13'teki %4 MgO takviyeli yapıştırma numunesinin çekme sonrası yüzey görüntüleri incelendiğinde kopmanın yama kompozit malzemesinin ara katmanında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebi yapılan takviye oranı, takviye partikülü ve kullanılan DP460 yapıştırıcısı arasındaki homojen dağılım ve iyi bir yapışma karışımı elde edilmesine bağlı olduğu düşünülmektedir.



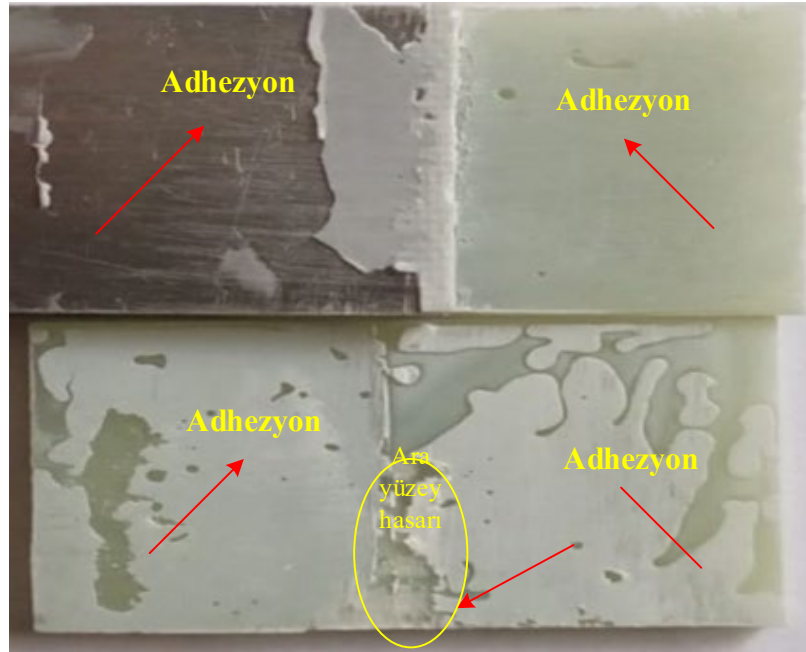
Şekil 4.14. %6 oranında MgO eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

Şekil 4.14'teki %6 MgO takviyeli yapıştırma numunesinin çekme sonrası yüzey görüntüleri incelendiğinde yama kompozit malzemesinin orta kısmında zorlanmaların

olduğu görülmektedir. Genel kopma olayı ise yapıştırıcı molekülleri ile AA5754 ve Cam epoksi arasında gerçekleşmiştir.

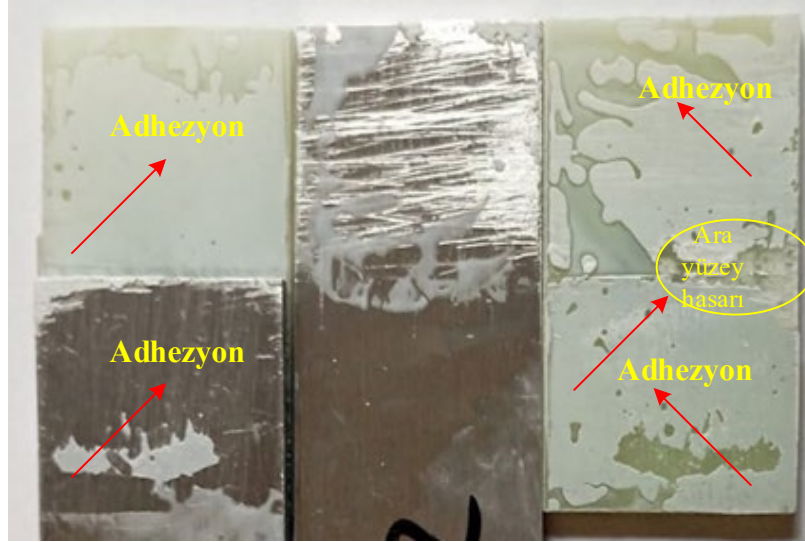
4.2.1.4. %2, %4 ve %6 Oranlarında TiO_2 Takviye Edilmiş Numunelerinin Makro Görüntüleri

DP460 epoksi yapıştırıcısı içerisine %2, %4 ve %6 oranlarında TiO_2 partikülü eklenmiş numunelerin çekme deneyleri sonrası yapışma kopma yüzeylerinin makro görüntüleri sırasıyla Şekil 4.15, Şekil 4.16. ve Şekil 4.17’de verilmiştir.



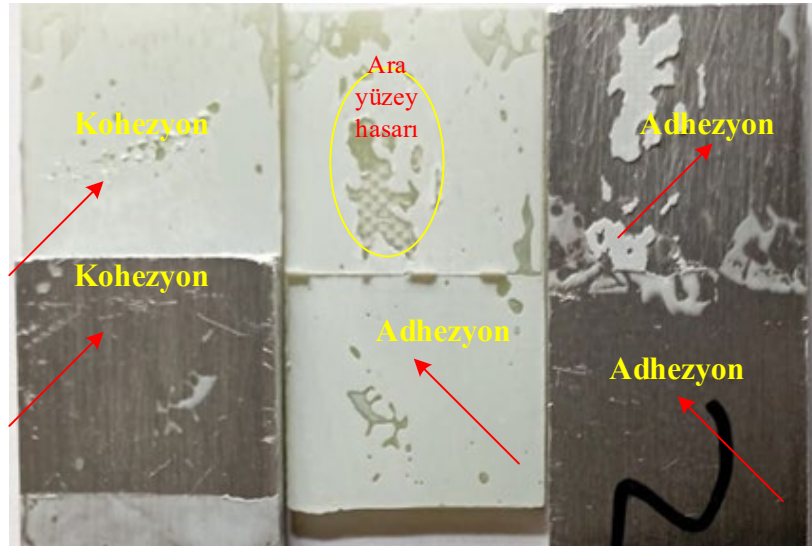
Şekil 4.15. %2 oranında TiO_2 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

Takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcı içerisine %2 oranında TiO_2 oranına partikül takviye edilerek oluşturulmuş numunelerin çekme sonrası yüzey görüntüleri makro ölçüde incelendiğinde daha çok adhezyon hasarların olduğu, yama malzemesi cam epoksi kompozit malzemesin orta kısmında ara yüzey hasarlarının meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.16. %4 oranında TiO_2 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

%4 oranında TiO_2 oranına partikül takviye edilerek oluşturulmuş yapıştırma karışımların kullanıldığı numunelerin çekme sonrası yüzey görüntüleri makro ölçüde incelendiğinde daha çok adhezyon hasarlarının olduğu, yama malzemesi cam epoksi kompozit malzemesin orta kısmında ara yüzey hasarlarının meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17. %6 oranında TiO_2 eklenmiş yapıştırma bağlantısının makro görüntüsü

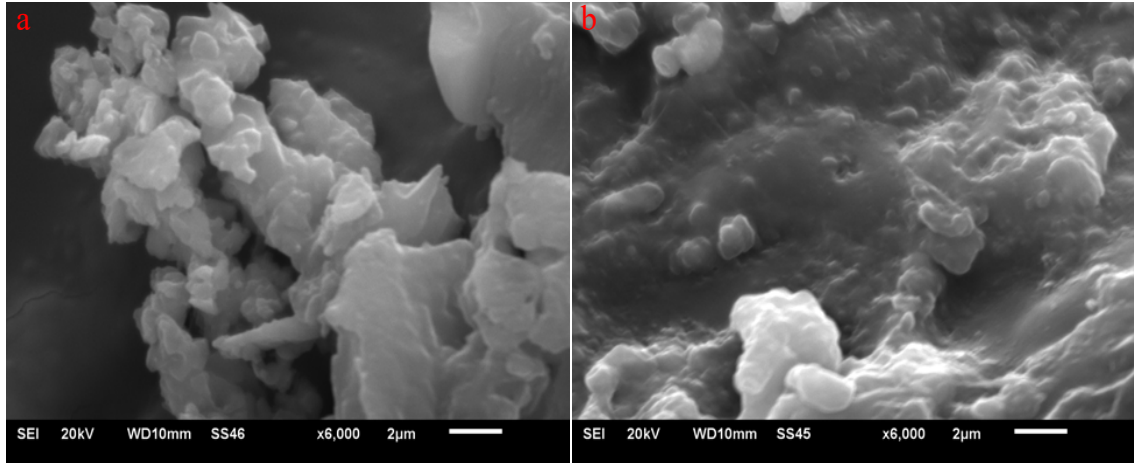
%6 oranında TiO_2 oranına partikül takviyesi ile yapılan yapıştırma numunelerin çekme sonrası yüzey görüntüleri makro ölçüde incelendiğinde daha çok adhezyon hasarlarının olduğu, kısmi kohezyon hasarlarının olduğu, yama malzemesi cam epoksi

kompozit malzemesin orta kısmında ara yüzey hasarlarının meydana geldiği gözlemlenmiştir.

4.2.2. SEM Görüntüleri

Makro görüntü incelemelerinde yüzeysel analizler yapılmıştır. Yapıştırıcı ile nanopartiküller arasındaki ilişkiyi daha yakından irdelemek için minimum ve maksimum çekme sonuçların elde edildiği yapıştırma bağlantılarının çekme sonrası kopma yüzeylerin SEM görüntüleri alınmıştır. Yapılan görüntü analizleri alt başlıklar halinde verilmiştir.

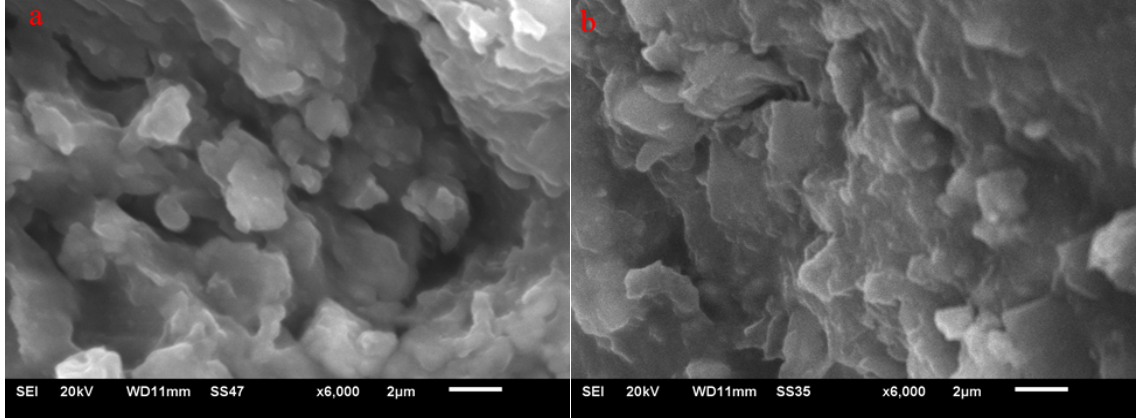
4.2.2.1. %2 ve %6 Al₂O₃ Takviyeli Yapıştırma bağlantısının SEM Görüntüleri



Şekil 4.18. %2 (a) ve %6 (b) Al₂O₃ takviyeli yapıştırma bağlantılarının 6000X büyütmelerde SEM görüntüleri

Şekil 4.18’de %2 ve %6 Al₂O₃ takviyeli yapıştırma bağlantılarının SEM görüntüleri incelendiğinde %6 Al₂O₃ (şekil 4.18-b) takviyeli yapıştırma karışımında geniş bir yapışma yüzey görüntüsünün olduğu görülmektedir. Şekil 4.18-a’da ise topaklanmanın olduğu görülmüştür. Buda yapışma esnasında numune ile yama arasında iyi bir yapışmanın olmasını engellemiştir. Nanoparçacıkların epoksi içerisinde belirli oranda kullanılması sonucu topaklanmanın meydana geldiği, ıslanabilirliğin düştüğü ve bu durumun malzemenin mukavemeti üzerinde olumsuz etkilere sebep olduğu, benzer çalışmalarda da görülmüştür (Özbek, Ö. ve ark., 2022; Bulut, 2017; Ulus ve ark., 2019; Romanov ve ark., 2015). Çekme deney sonuçları ile kıyaslandığında geniş bir yapışma yüzey yapının (Şekil 4.1) olduğu yapışma bağlantılarında daha büyük çekme kuvvetlerin elde edildiği söylenebilir.

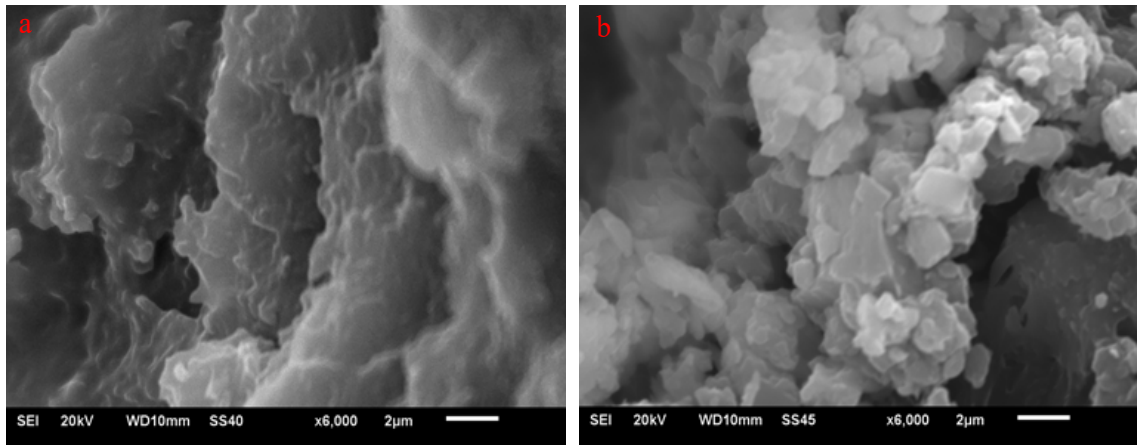
4.2.2.2. %2 ve %4 CuO Takviyeli Yapıştırma bağlantısının SEM Görüntüleri



Şekil 4.19. %4 (a) ve %6 (b) CuO takviyeli yapıştırma bağlantılarının 6000X büyütme SEM görüntüleri

Şekil 4.19 incelendiğinde %4 CuO takviyeli görüntüde ayrık partiküllerin varlığı rahatlıkla görülebilmektedir. Bu durum, çekme yükü altında numunenin ani kopmasından ziyade, yüke karşı bir direnç göstererek hasarın meydana geldiğini düşündürmektedir. Ayrıca %6 takviye oranına göre daha açık renkte olduğu görünmektedir. Bu durumun, takviye oranının ağırlıkça karışım oranına bağlı olduğu söylenebilir. Ağırlıkça karışım oranının %4 olduğu yapışma yüzeyinde çekme test sonuçları ile kıyaslandığında iyi bir ıslanabilirlik sağladığı söylenebilir (Maeva ve ark., 2011).

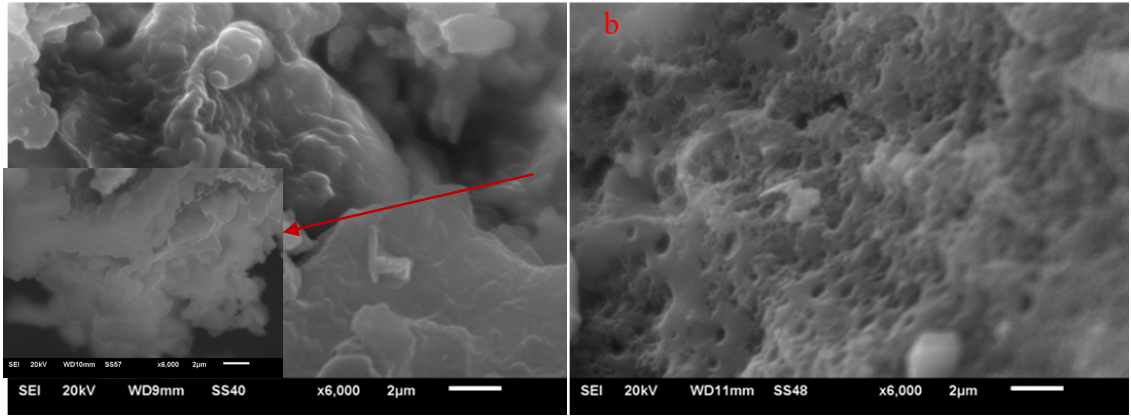
4.2.2.3. %2 ve %6 MgO Takviyeli Yapıştırma bağlantısının SEM Görüntüleri



Şekil 4.20. %2 (a) ve %6 (b) MgO takviyeli yapıştırma bağlantılarının 6000X büyütme SEM görüntüleri

Şekil 4.20’de %2 ve %6 MgO takviyeli yapıştırma bağlantılarının SEM görüntüleri incelendiğinde %2 MgO (şekil 4.20-a) takviyeli yapıştırma karışımında bir blok halinde tek yapılı bir yapışma yüzey görüntüsünün olduğu görülmektedir. Şekil 4.20-b’de ise homojen ince taneli ve kolaylıkla ıslanabilir bir yüzey elde edilebilen bir yapının olduğu görülmektedir. Islanabilirliğin iyi durumda olması, yapışmanın da iyi durumda olmasını sağlamaktadır (Zang ve ark., 2020) Çekme deney sonuçları ile kıyaslandığında ince taneli yapının (şekil 4.3) oluştuğu yapışma bağlantılarında daha büyük çekme kuvvetlerin elde edildiği gözlemlenmiştir (Moon ve ark., 2015).

4.2.2.3. %2 ve %6 TiO₂ Takviyeli Yapıştırma bağlantısının SEM Görüntüleri



Şekil 4.21. %2 (a) ve %6 (b) TiO₂ takviyeli yapıştırma bağlantılarının 6000X büyütmelede SEM görüntüleri

Şekil 4.21’de %2 ve %6 TiO₂ takviyeli yapıştırma bağlantılarının SEM görüntüleri incelendiğinde %2 TiO₂ (şekil 4.21-a) takviyeli numunenin görüntüsünde homojen ince taneli bir yapının oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.21-b’de ise homojen bir yapıdan ziyade DP460 ve partikül arasında topaklanmalar meydana geldiği için iyi bir yapışma karışımı gerçekleşmediği söylenebilir. Bu tür durumların, malzeme içerisindeki homojen yapıyı bozarak, yapıştırma bağlantısında zayıflıklara sebep olduğu belirtilmiştir (Tatar, A. C., 2019). Bu da yapışma esnasında yama ile yapıştırılan numune arasında sağlıklı bir yapışma gerçekleşmesini engellemiştir. Çekme deneylerinin sonuçları ile kıyaslandığında ince taneli yapının (Şekil 4.4) oluştuğu yapışma bağlantılarında daha büyük çekme kuvvetlerin elde edildiği gözlemlenmiştir (Moon ve ark., 2015).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan bu tez çalışmasında, takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcısı içerisine nanopartikül takviyesi ilave edilerek yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu deneysel çalışmada çift yamalı yapıştırma modeli uygulanmıştır. Yapıştırıcı olarak DP460 epoksi, yapıştırılan malzeme AA5754 Alüminyum alaşımı, yama malzemesi olarak cam epoksi kompozit malzemesi ve nanopartikül olarak da Al_2O_3 , CuO, MgO ve TiO_2 kullanılmıştır. Üretmiş olduğumuz deney numuneleri ilk önce çekme testine tabi tutulmuş daha sonra kopan bütün numune parçalarının hasar gören bölgeleri makro ölçekte görüntüleri alınmıştır. En yüksek ve en düşük çekme dayanımına sahip deney numunelerinin SEM görüntüleri alınıp makro görüntülerinin paralelinde yorumlanmıştır. Deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

- ✓ Al_2O_3 takviye edilen deney numuneleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde en yüksek çekme kuvvetinin ağırlıkça %6 oranında takviye edilmiş numunede 4609 N olarak tespit edilmiştir.
- ✓ CuO takviye edilen deney numuneleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde en yüksek çekme kuvvetinin ağırlıkça %4 oranında takviye edilmiş numunede 6046 N olarak elde edilmiştir.
- ✓ MgO takviyesi ile yapılan çift yamalı yapıştırma bağlantılarında en yüksek çekme kuvvetinin ağırlıkça %6 oranında takviye edilmiş numunede 7640 N olarak elde edilmiştir.
- ✓ TiO_2 takviyesi ile yapılan çift yamalı yapıştırma bağlantıların çekme deney sonuçlarında en düşük ve en yüksek çekme kuvvetinin sırasıyla ağırlıkça %6 ve %2 oranında eklenmiş numunede 3156 N ve 6515 N olarak elde edilmiştir.
- ✓ Bütün takviyeli deney numuneleri içerisinde en düşük ve en yüksek değerler incelendiğinde en düşük çekme kuvvetine sahip deney numunesi %2 oranında takviye edilmiş MgO 2210 N olarak ve en yüksek çekme kuvvetine sahip deney numunesi %6 oranında takviye edilmiş MgO 7640 N olarak tespit edilmiştir.
- ✓ DP460 epoksi yapıştırıcısı içerisine Al_2O_3 , CuO, MgO ve TiO_2 nanopartikülleri takviye edildiğinde takviyesiz DP460 epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan deney numunelerine göre daha yüksek çekme kuvvetleri elde edilmiştir.
- ✓ Makro görüntüler ele alındığında bütün deney numunelerinde yapıştırılan yüzey ve yapıştırıcı arasında kopmalar meydana gelmiştir. Ayrıca numunelerin

tamamında adhezyon şeklinde hasarların meydana geldiği ancak bazı bölgelerde az da olsa yapıştırıcının kendi içerisinde kopmaların meydana geldiği yani kohezyon hasarların da meydana geldiği görülmüştür.

- ✓ Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemesi sonucu hasarlı bölgelerde düşük çekme mukavemetine sahip bölgelerde topaklanmaların meydana geldiği ve iyi bir yapışmanın meydana gelmediği tespit edilmiştir. Yüksek çekme mukavemetine sahip hasarlı bölgeler incelendiğinde nanopartiküller ile DP460 epoksi yapıştırıcısının homojen bir yapıya sahip olduğu ve geniş bir yapışma yüzeyi meydana getirdiği tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Nanopartikül takviyeli deney numunelerinin çekme testi sonucu elde edilen değerlerde, nanopartikül takviyeli numunelerin, takviyesiz DP460 yapıştırma bağlantılı numunelere nazaran yüksek çıkmıştır. Ancak bu artışlar nanopartikül oranı bağlamında her bir nanopartikül grubunda benzer bir davranış sergilememiştir. Al_2O_3 ve MgO nanopartikül takviyeli numunelerde %6 ağırlık oranına kadar artış gösterirken, bu durum CuO ve TiO_2 takviyeli bağlantılarda farklı davranış sergilemiştir.

Bu bağlamda literatürde nispeten daha az çalışma yapılan MgO takviyeli yapıştırma bağlantılarında %6 takviye oranına kadar çekme kuvveti değerlerinde artış dolayısıyla maksimum değeri elde etmek için %6'dan daha fazla takviye oranları belirleyerek yeni çalışmalar yapılabilir ve en yüksek değerin elde edildiği takviye oranı belirlenebilir.

Takviye oranlarının yapıştırıcı içerisinde daha homojen bir yapı elde etmesi için farklı karıştırma teknikleri kullanılabilir.

Tamiri yapılan malzemelerin dayanımını arttırmak için yama malzemelerinin boyutları daha uzun seçilebilir ve böylece yapıştırma kabiliyetine etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Adams, R. D., Wake, W. C., 1986, Structural Adhesive Joint in Engeneering (15th ed.). Elsevier.
- Adin, H., Altun, S. and Yasar, F., 2011, Onarımda kullanılan darbe dayanımlı iki bileşenli yapıştırıcılar, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, 16-18 May.
- Adin, H., 2012, The effect of angle on the strain of scarf lap joints subjected to tensile loads. *Applied Mathematical Modelling*. 2012; vol. 36, 2858–2867. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.09.079>.
- Akpınar İ. A., Gültekin, K., Akpınar, S., Akbulut, H., Ozel A., 2017, Experimental analysis on the single-lap joints bonded by a nanocomposite adhesives which obtained by adding nanostructures, *Composites Part B*, 110 (2017), 420-428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.046>.
- 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, 244-252.
- Aydın, S., 2012, Yapıştırıcı ile birleştirilmiş prizmatik geçmeli bağlantıların mekanik analizleri, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Aydın, M.D., Temiz, S., Özel, A., 2007, Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlendiği Deneysel Yöntemler. Atatürk Üniversitesi, *Mühendis ve Makine* Cilt 45, Sayı 536.
- 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>.
- Bulut, M., 2017, Mechanical characterization of Basalt/epoxy composite laminates containing graphene nanopellets, *Composites Part B: Engineering*, 122, 71-78.
- 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.

- Dorigato, A., Pegoretti, A., Bondioli, F., Messori, M., 2010, Improving epoxy adhesives with zirconia nanoparticles, *Compos Interfaces*, 17(9):873–92.
- Ekrem, M., Avcı, A., 2018, Effects of polyvinyl alcohol nanofiber mats on the adhesion strength and fracture toughness of epoxy adhesive joints, *Composites Part B: Engineering*, Volume 138, 1 April 2018, Pages 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.11.049>.
- Gupta, K. S., 2020, Failure load and stress intensity factor of single-lap steel joints bonded with nano-Al₂O₃ reinforced epoxy adhesive, *Funct. Compos. Struct*, 2 (2020) 035002.
- Gültekin, K., Akpınar, S., 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*, Volume 60, Pages 736–745, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.01.022>.
- 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>.
- Jia, Z., Feng, X., Zou, Y., 2018, Graphene Reinforced Epoxy Adhesive for Fracture Resistance, *Composites Part B*, 155, 457–462. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.09.093>.
- Khashaba, U. A., Aljinaidi, A. A., Hamed, M. A., 2015, Development of CFRE composite scarf adhesive joints with SiC and Al₂O₃ nanoparticle, *Composite Structures*, 128, 415–427.
- Khoramishad, H., Ashofteh, R. S., Pourang, H., Berto, F., 2018, Experimental investigation of the influence of temperature on the reinforcing effect of graphene oxide nano-platelet on nanocomposite adhesively bonded joints, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 94, 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2018.01.010>.
- Kuang-Ting, H., Justin, A., Suresh, G. A., 2003, Use of epoxy/multiwalled carbon nanotubes as adhesives to join graphite fibre reinforced polymer composites, *Nanotechnology*, 14, 791–793.
- Maeva, E., Severina, I., Bondarenko, S., Chapman, G., O'Neill, B., Severin, F., Maev, R. G., 2011, Acoustical methods for the investigation of adhesively bonded structures: A review, *Canadian Journal of Physics*, 82(12): 981–1025.
- May, M., Wang, M. H., Akid, R., 2010, Effects of the addition of inorganic nanoparticles on the adhesive strength of a hybrid sol–gel epoxy system, *Int J Adhes Adhes*, 30(6):505–12.

- Moon, Chang-Kwon & Kim, Bu-Ahn, 2015, Nanoparticle Size Effect on Mechanical Properties of Carbon Fiber-reinforced Polymer Composites, *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 29, 186-190. 10.5574/KSOE.2015.29.2.186.
- Moriche, R., Prolongo, S. G., Sánchez M., Jiménez-Suárez, A., Chamizo J. F., Ureña, A., 2016, Thermal conductivity and lap shear strength of GNP/epoxy nanocomposites adhesives, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 68(2016)407–410. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.12.012>.
- Neto, A. S., da Cruz, D. T. L., Avila, A. F., 2013, Nano-modified adhesive by graphene: The single lap-joint case, *Mater Res-Ibero-Am J.*, 16 (3), 592-596.
- Özbek, Ö., Çakır, M. V., Doğan, N. F., 2022, Halloysit Nanotüp Katkısının Al-GFRP Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantısında Kayma Dayanımına Etkisi, *Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM)*, 3(1), 117-128.
- Özenç, M., 2007, Yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.
- Panta, J., Jagannatham, M., Prathap, H., Ram, G. D. J., Deshpande, A. P., Bakshi, S. R., 2016, Effect of Different Carbon Nano-fillers on Rheological Properties and Lap Shear Strength of Epoxy Adhesive Joints, *Composites A*, 82, 53–64.
- Pinto, A. M., Martins, J., Moreira, J. A., Mendes, A. M., Magalhães, F. D., 2013, Dispersion of graphene nanoplatelets in poly (vinyl acetate) latex and effect on adhesive bond strength, *Polym Int*, 62(6):928–35.
- Quan, D., Urdániz, J. L., Rouge, C., Ivanković, A. 2018, The enhancement of adhesively bonded aerospace-grade composite joints using steel fibres, *Composite Structures*, Volume 198, 15 August 2018, Pages 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.04.071>.
- Razavi, S. M. J., Ayatollahi M. R., Nemati, Giva, A., Khoramishad, H., 2018, Single lap joints bonded with structural adhesives reinforced with a mixture of silica nanoparticles and multi walled carbon nanotubes. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 80, 76–86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.10.007>.
- Romanov, V. S., Lomov, S. V., Verpoest, I., Gorbatikh, L., 2015, Stress magnification due to carbon nanotube agglomeration in composites, *Composite Structures*, 133, 246-256.
- Sadigh, M. A. S. and Marami, G., 2016, Investigating the effects of reduced graphene oxide additive on the tensile strength of adhesively bonded joints at different extension rates, *Materials and Design* 92, 36–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.12.006>.
- Sadigh, M. A. S., Marami, G., 2018, Enhancing fatigue life in adhesively bonded joints using reduced graphene oxide additive: Experimental and numerical evaluation,

- International Journal of Adhesion and Adhesives*, 84, 283–290.
<https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.04.001>.
- Saeed, M. B., Zhan, M. S., 2007, Adhesive Strength of Nano-size Particles Filled Thermoplastic Polyimides. Part-I: Multi-walled Carbon Nano-tubes (MWNT)-polyimide Composite Films, *Int. J. Adhes. Adhes.*, 27, 306–318.
- Saraç, İ., Adin, H., Temiz, S., 2018, Experimental determination of the static and fatigue strength of the adhesive joints bonded by epoxy adhesive including different particles, *Composites Part B: Engineering*, Volume 155, 15 December 2018, Pages 92-103. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.006>
- Saraç, İ., 2018, Tek tesirli Yapıştırma bağlantılarında Epoksi Yapıştırıcı İçerisinde Nanopartikül Kullanılmasının Bağlantının Statik ve Yorulma Mukavemetine Etkisinin Araştırılması, Doktora tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Solmaz, M. Y., 2008, Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik analiz ve tasarımları, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- 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, *Int J Adhesion Adhesives*, 2011;31:486-9.
- Şahin, A., 2011, Kompozit Metal Köpük Malzemelerin Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Kesme Mukavemetinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 55.
- Tatar, A. C., 2019, Saf suyun alüminyum-kompozit levhaların yapıştırma bağlantılarındaki naylon 6.6 nanofiber takviyeli yapıştırıcılara etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, *Konya Teknik Üniversitesi*.
- Temiz, Ş., 2003, Yapışma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 112.
- Temiz, S., 2006. Application of Bi-Adhesive in Double-Strap Joints Subjected to Bending Moment. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 20(14),1547–1560.
- 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.
- Troughton, M., 2008, Handbook Of Plastics Joining (2nd ed.), *William Andrew Inc*, <https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-1581-4.50019-6>
- Tutunchi, A., KAMALI, R., KIANVASH, A., “Steel-Epoxy Composite Joints Bonded with Nano-TiO₂ Reinforced Structural Acrylic Adhesive”, *Journal of Adhesion*, 91, 663-676, 2015.

- Ulus, H., Kaybal, H. B., Eskizeybek, V., Avcı, A., 2019, Enhanced salty water durability of halloysite nanotube reinforced epoxy/basalt fiber hybrid composites, *Fibers and Polymers*, 20(10), 2184- 2199.
- 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>.
- Zamani, P., Jaamialahmadi, A., da Silva, F. M. L., 2021, The influence of GNP and nano-silica additives on fatigue life and crack initiation phase of Al-GFRP bonded lap joints subjected to four-point bending, *Composites Part B*, 207, 108589. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108589>.
- Zhai, L., Ling, G., Li, J., Wang, Y., 2006, The effect of nanoparticles on the adhesion of epoxy adhesive, *Mater Lett*, 2006;60(25):3031–3.
- Zhai, L., Ling, G., Li, J., Wang, Y., 2007, Effect of nano-Al₂O₃ on adhesion strength of epoxy adhesive and steel, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 28 2007 23–28.
- Zhang, G., Chen, J., Meng, Y., Wang, S., Long, Z., 2020, Enhanced wettability and adhesion of carbon fibers with polyimide resin interfaces via grafted modified SiO₂ nanoparticles, *Composite Interfaces*, 27:1, 125-142, DOI: 10.1080/09276440.2019.1601940

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa SARUHAN
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi	2014
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	Devam ediyor
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2018	Enka Balaban Makine	Servis İmalat Müh.
2019-Devam	Adalet Bakanlığı Batman 6. Noterliği	Başkatip

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

YAYINLAR

Saruhan, M., Çetkin, E., 2023, Investigation of The Mechanical Behaviors of AA5754 Alloy Joined Using Nanoparticle, In Different Proportions into Epoxy Adhesive. 3. *INTERNATIONAL CONGRESS ON CONSTRUCTION MATERIALS ENGINEERING AND ARCHITECTURE*. Gaziantep-Turkey, 96-101.