

T.C.
KAFKAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI TİP DOLGU MALZEMELİ YAPIŞTIRICILAR İLE YAPIŞTIRILAN
ALÜMİNYUM ALAŞIM VE KARBON FİBER KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

BURCU ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI

EYLÜL 2021

KARS



T.C.
KAFKAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**FARKLI TİP DOLGU MALZEMELİ YAPIŞTIRICILAR İLE YAPIŞTIRILAN
ALÜMİNYUM ALAŞIM VE KARBON FİBER KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**BURCU ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ BENEK HAMAMCI**

Bu tez çalışması 2020FM09 nolu proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

**EYLÜL 2021
KARS**

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Burcu ÖZTÜRK’ün Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı “Farklı Tip Dolgu Malzemeli Yapıştırıcılar İle Yapıştırılan Alüminyum Alaşım Ve Karbon Fiber Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy ile kabul edilmiştir.

06/09/2021

	Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	: Doç.Dr. Jülide ERKMEN	
Üye	: Dr. Öğr.Üyesi Nesrin ADIGÜZEL	
Üye	: Dr. Öğr.Üyesi Benek HAMAMCI	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun . . / . . / 20. . gün ve / sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. FİKRET AKDENİZ
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

BURCU ÖZTÜRK

06.09.2021

ÖZET

(Yüksek Lisans Tezi)

FARKLI TİP DOLGU MALZEMELİ YAPIŞTIRICILAR İLE YAPIŞTIRILAN ALÜMİNYUM ALAŞIM VE KARBON FİBER KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Burcu ÖZTÜRK

Kafkas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI

Bu çalışmada AA7075-T6 alüminyum alaşımlarının yüzeyine kimyasal ve mekanik aşındırma işlemleri uygulanarak farklı yüzeyler elde edilmiştir. Yüzey aşındırma işlemi yapılan alüminyum alaşımının yüzey pürüzlülüğü, temas açısı değerleri ölçülmüş ve OWENS-WENDT metodu ile serbest yüzey enerjileri hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülük ve serbest yüzey enerji değerleri yapıştırıcı içerisine katılan dolgu malzemelerinin, karbon fiber plaka ve AA7075-T6 plakaların yapışma bağlantılarında, yapışma dayanımına etkisi üzerinde araştırma yapılmıştır. Farklı malzeme yüzeylerin topografyası; 3D profilometre, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile temas açısı verileri ise ganyometre kullanılarak elde edilmiştir. Farklı koşullarda elde edilen yapıştırma bağlantıların mekanik dayanım sonuçları karşılaştırılmıştır. Karbon fiber toz dolgu ve hibrit aşındırma yöntemlerinden kumlama+0.5M HCl asit ile oluşturulan yüzeylerin maksimum yük, kırılma yükü ve maksimum gerilme değerlerinde en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araldite 2015, AA7075-T6, Karbon Fiber Plaka, Dolgu Malzemeleri, Aşındırma İşlemleri, Çekme Testi

2021, 86 Sayfa

ABSTRAT

(M. Sc. Thesis)

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES FOR ALUMINUM ALLOY AND CARBON FIBER COMPOSITES ADHESIVE WITH DIFFERENT TYPES OF FILLER ADHESIVES

BURCU ÖZTÜRK

Kafkas University

Graduate School of Applied and Natural Sciences

Department of Mechanic

Supervisor: Assistant Professor Benek HAMAMCI

In this study, different surfaces were obtained by applying chemical and mechanical improvement processes to the surface of AA7075-T6 aluminum alloys. The surface roughness and contact angle values of the aluminum alloy with surface etching were measured and free surface energies were calculated by the OWENS-WENDT method. The surface roughness and contact angle values of the aluminum alloy with surface improvement were measured and the free surface energies were calculated with the Owens-Wendt method. Surface roughness and free surface energy values were investigated on the effects of the filler materials added in the adhesive on the adhesion strength of the carbon fiber plate and AA7075-T6 plates in the bonding joints. Topography of different material surfaces; 3D profilometer, scanning electron microscope (SEM) and contact angle data were obtained using goniometry. The results were compared by evaluating the effect of the mechanical properties of the obtained adhesive joints on different surfaces and the filling material. The best results were obtained in the maximum load, fracture load and maximum stress values of the surfaces formed with sandblasting + 0.5M HCl acid, one of the carbon fiber powder filling and hybrid etching methods.

Key Words: Araldite 2015, AA7075-T6 Aluminum Alloy, Carbon Fiber Plate, Filling Materials, Abrasion Processes, Tensile Test

2021, 86 pages

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam sürecinde anlayışlı yaklaşımı ile yol göstericiliğini esirgemeyen, edindiği her türlü değerli bilgi ve tecrübeyi benimle paylaşmaktan sakınmayan saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI 'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada malzeme ve kimyasalların tedarik edilmesi aşamasında yardımını ve desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Julide ERKMEN hocama yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan eğitimin, paylaşmanın ve çalışmanın önemini öğreten, bana her daim inanan Annem Türkan ÖZTÜRK ve Babam İmam Hüseyin ÖZTÜRK'e emeklerinden dolayı sonsuz teşekkür ederim. Aynı zamanda maddi manevi desteklerini esirgemeyen kardeşlerime ve özellikle ne olursa olsun varlığını hiç unutturmayan Abim İmam Hüseyin Öztürk'e sonsuz teşekkür ederim.

İmza

BURCU ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	IV
ABSTRAT.....	V
ÖNSÖZ.....	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ	XV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.1.1. Tarihçesi	2
1.1.2. Yapıştırma Bağlantılarının Endüstride Kullanım Alanları.....	2
1.2.Yapışma İşlemi	3
1.3. Malzeme Yüzeylerinde Meydana Gelen Çekim Kuvvetleri	3
1.3.1. Adezyon Kuvveti	3
1.3.2. Kohezyon Kuvveti	4
1.3.3. Karma Yapışma Kuvveti.....	4
1.4. Yapışma Teorileri	4
1.4.1. Mekanik Tutunma Teorisi.....	4
1.4.2. Adsorpsiyon Teorisi.....	5
1.4.3. Elektrostatik Teorisi.....	5
1.4.4. Difüzyon Teorisi	5
1.4.5. Zayıf Sınır Tabaka Teorisi	6
1.5. Yapıştırıcılar	6
1.5.1. Kimyasal Yapıştırıcılar	6
1.5.1.1. Epoksiler	6
1.5.1.2. Anaerobikler.....	7
1.5.1.3. Poliüretanlar	7

1.5.1.4. Sertleştirilmiş Akrilikler.....	7
1.5.1.5. Fenolikler	7
1.5.1.6. Siyanoakrilikler	8
1.5.1.7. Silikon	8
1.5.2. Fiziksel Yapıştırıcılar.....	8
1.5.2.1. Sıcak Eriyikler.....	8
1.5.2.2. Kaucuk Yapıştırıcılar	8
1.5.2.3. PVA'lar	8
1.5.2.4. Basınç Gerektirmeyen Yapıştırıcılar.....	9
1.5.3. Formları Açısından Yapıştırıcılar	9
1.5.3. 1. Macun Tip Yapıştırıcılar	9
1.5.3.2. Film Tip Yapıştırıcılar	9
1.5.3.3. Düşük Viskoziteli Yapıştırıcılar.....	9
1.5.3. 4. Düşük Yoğunluklu Yapıştırıcılar	9
1.5.3.5. Reçineler	9
1.5.3.6. Köpükler.....	10
1.5.3.7. Yüksek Sıcaklıklara Dayanaklı Yapısal Yapıştırıcılar.....	10
1.5.4. Yapıştırıcıların Bağ Durumuna Göre Sınıflandırılması	10
1.5.4.1. Termoset Yapıştırıcılar	10
1.5.4.2. Termoplastik Yapıştırıcılar	11
1.5.4.3. Elastomerik Yapıştırıcılar	11
1.6. Yapıştırma Bağlantılarının Diğer Bağlantılarla Karşılaştırılması	11
1.6.1. Perçin Bağlantıları.....	11
1.6.2. Kaynak Bağlantıları	12
1.6.3. Lehim Bağlantıları	12
1.6.4. Vida ve Civata Bağlantıları.....	12
1.6.5. Pres Bağlantıları.....	13
1.7. Yapıştırıcının Avantaj ve Dezavantajları	13
1.8. Yapışma Bağlantılarında Oluşan Gerilmeler	13
1.8.1. Kayma Gerilmesi	14

1.8.2. Çekme ve Basma Gerilmeleri	14
1.8.3. Soyulma	15
1.8.4. Çekme-Makaslama.....	15
1.9. Hasar tipleri.....	15
1.9.1. Adeziv Hasar.....	15
1.9.2. Koheziv Hasar.....	16
1.9.3. Karma Hasar	16
1.10. Islanabilirlik	16
1.11. Yapıştırılacak Yüzeylerin Hazırlama Metotları	17
1.11.1. Çözücüyle Silme	17
1.11.2. Buharla Yağ Giderme	17
1.11.3. Aşındırma.....	17
1.11.3.1. Kimyasal Aşındırma.....	17
1.11.3.2. Mekanik Aşındırma.....	18
1.11.3.3. Hibrit Aşındırma	18
1.12.Yüzey Enerjisi Metotları.....	18
1.12.1. Fowkes Metodu.....	19
1.12.2. Owens –Wendt-Rabel ve Kaelble metodu	19
1.12.3. Van Oss-Chaudhury Metodu	19
1.12.4. Zisman Metodu	20
1.13. Cihazlar	21
1.13.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	21
1.13.2. Çekme Test Cihazı.....	21
1.13.3. 3D Profilometre Cihazı	22
1.13.4. Temas Açısı Ölçüm Cihazı (ATM).....	22
1.14. Literatür Taraması.....	23
1.15.AMAÇ.....	31
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
2.1. Kullanılan Malzemeler.....	32

2.1.1. AA7075-T6 plaka	32
2.1.2. Karbon Fiber Plaka	33
2.1.3. Karbon Fiber Toz	33
2.1.4. Karbon Fiber Kırılmış Elyaf	34
2.1.5. Yüzey Temizleme İşlemleri	34
2.2. Yüzey Hazırlama	35
2.2.1. Kimyasal Aşındırma	36
2.2.2. Mekanik Aşındırma.....	37
2.2.3. Araldite 2015 Yapıştırıcı.....	37
2.2.4. Yapıştırıcı Karıştırma İşlemleri.....	38
2.2.5. Yapıştırma Bağlantısı ve Kürleme İşlemi	41
2.2.6 Bulk Numuneleri.....	43
2.3. Kullanılan Cihazlar	45
2.3.1. Temas Açısı Ölçüm Cihazı	45
2.3.2. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)	46
2.3.3. 3D Profilometre Test Cihazı	47
2.3.4. Çekme Test Cihazı.....	47
3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	48
3.1 Temas Açısı Verileri	48
3.2. Yüzey Enerjisi.....	51
3.3. SEM Görüntüleri.....	53
3.4. 3D Profilometre Görüntüleri.....	56
3.5. Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	58
3.6. Çekme Test Sonuçları	58
3.6.1. AA7075-T6/ AA7075-T6 Çekme Deney Sonuçları	59
3.6.2. AA7075-T6/ AA7075-T6 Yapışma Bağlantılarında Hasar Tipleri.....	62
3.6.3. AA7075-T6/ Karbon Fiber Kompozit Levhanın Çekme Deney Sonuçları.....	66
3.6.4. AA7075-T6/ Karbon Fiber Plakaların Yapışma Bağlantılarında Hasar Tipleri.....	70

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	75
KAYNAKLAR	79



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1: Gerilme tipleri (a) Kayma (b) Çekme-basma (c) Soyulma (d) Çekme-Makaslama	14
Şekil 1.2: Yapıştırma Bağlantılarında Hasar Tipleri; (a) Adeziv Hasarı (b) Koheziv Hasarı (c) Karma Hasar	15
Şekil 1.3: Bir Yüzeye yapıştırıcının yayılması örnekleri: a) yeterli ıslanma, b) yetersiz ıslanma [2].....	16
Şekil 1.4: Zisman Grafiği [44].....	20
Şekil 1.5: Gerilme -Uzama Diyagramı	22
Şekil 2.1: AA7075-T6 Plaka	32
Şekil 2.2: Karbon Fiber Plaka.....	33
Şekil 2.3: Toz Karbon Fiber	34
Şekil 2.4: Kırpılmış Karbon Fiber	34
Şekil 2.5: İşlemsiz ve Kimyasal Yüzey Hazırlama İşlemi Yapılmış Numune Görüntüleri	35
Şekil 2.6: Mekanik ve Hibrit Yüzey Hazırlama İşlemi Yapılmış Numune Görüntüleri	35
Şekil 2.7: Yüzey Hazırlama İşlemleri Şematik Gösterimi	36
Şekil 2.8: Ultrasonik Banyo.....	36
Şekil 2.9: Kumlama Numune Yüzeyi.....	37
Şekil 2.10: Araldite 2015.....	38
Şekil 2.11: Yapıştırma Bağlantı Şekli	39
Şekil 2.12: Yapıştırma Kalıbı	41
Şekil 2.13: Kalıp ve Numune Resimleri.....	41
Şekil 2.14: İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış AA7075-T6 Ve AA7075-T6 Alaşımların Yapıştırma Bağlantıları (a-Dolgusuz b- Karbon Fiber Toz Dolgulu c-Karbon Fiber Kırpılmış Dolgulu).	42
Şekil 2.15: İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış AA7075-T6 ve Karbon Fiber Plakaların Yapıştırma Bağlantıları (a-Dolgusuz b- Karbon Fiber Toz Dolgulu c-Karbon Fiber Kırpılmış Dolgulu)	42

Şekil 2.16: Kumlama ve Hibrit Aşındırma Yapılmış AA7075-T6 ve AA7075-T6 Plakaların Yapıştırma Bağlantıları (a-Dolgusuz b- Karbon Fiber Toz Dolgulu c-Karbon Fiber Kırılmış Dolgulu)	43
Şekil 2.17: Mekanik ve Hibrit Aşındırma Yapılmış AA7075-T6 ve Karbon Fiber Plakaların Yapıştırma Bağlantıları (a-Dolgusuz b- Karbon Fiber Toz Dolgulu c-Karbon Fiber Kırılmış Dolgulu)	43
Şekil 2.18: Bulk Numune Kalıbı	44
Şekil 2.19: Bulk Kalıbının Şematik Gösterimi	44
Şekil 2.20: Bulk Numune Standartı ve Bulk Numunesi	45
Şekil 2.21: Temas Açısı Ölçüm Cihazı.....	46
Şekil 2.22: Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)	46
Şekil 2.23: 3D Profilometre Test Cihazı	47
Şekil 2.24: Çekme Test Cihazı	47
Şekil 3.1: İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinden Saf Su ile Elde Edilen Temas Açısı Görüntüleri.....	48
Şekil 3.2: Mekanik ve Hibrit Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinin Saf Su ile Elde Edilen Temas Açısı Görüntüleri	49
Şekil 3.3: İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinden Kloroform Sıvısı ile Elde Edilen Temas Açısı Görüntüleri	50
Şekil 3.4: İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinden Kloroform Sıvısı ile Elde Edilen Temas Açısı Görüntüleri	50
Şekil 3.5: İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinin SEM Görüntüleri.....	53
Şekil 3.6: Kumlama ve Hibrit Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinin SEM Görüntüleri.....	55
Şekil 3.7: İşlemsiz Ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış 3D Profilometre Yüzey Görüntüleri	56
Şekil 3.8: Mekanik Ve Hibrit Aşındırma Yapılmış 3D Profilometre Yüzey Görüntüleri	57
Şekil 3.9: Dolgusuz AA7075-T6/ AA7075-T6 Yapıştırma Bağlantılarının Kuvvet-Uzama Grafiği	60

Şekil 3.10: Karbon Fiber Toz Dolgulu AA7075-T6/ AA7075-T6 Yapıştırma Bağlantılarının Kuvvet-Uzama Grafiği.....	61
Şekil 3.11: Karbon Fiber Elyaf Dolgulu AA7075-T6/ AA7075-T6 Yapıştırma Bağlantılarının Kuvvet-Uzama Grafiği.....	62
Şekil 3.12: AA7075-T6/AA7075-T6 Numunelerinde Dolgusuz Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri.....	63
Şekil 3.13: AA7075-T6/AA7075-T6 Numunelerinde Karbon Fiber Toz Dolgulu Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri	64
Şekil 3.14: AA7075-T6/AA7075-T6 Numunelerinde Karbon Fiber Elyaf Dolgulu Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri	65
Şekil 3.15: Dolgusuz AA7075-T6/ Karbon Fiber Kompozit Yapıştırma Numunelerin Kuvvet-Uzama Grafiği.....	68
Şekil 3.16: Karbon Fiber Toz Dolgulu AA7075-T6/ Karbon Fiber Kompozit Yapıştırma Numunelerin Kuvvet-Uzama Grafiği.....	69
Şekil 3.17: Karbon Fiber Elyaf Dolgulu AA7075-T6/ Karbon Fiber Kompozit Yapıştırma Numunelerin Kuvvet-Uzama Grafiği.....	70
Şekil 3.18: AA7075-T6/Karbon Fiber Plaka Numunelerinde Dolgusuz Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri	71
Şekil 3.19: AA7075-T6/ Karbon Fiber Plaka Numunelerinde Karbon Fiber Toz Dolgulu Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri	72
Şekil 3.20: AA7075-T6/Karbon Fiber Plaka Numunelerinde Karbon Fiber Elyaf Dolgulu Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri	73

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1: AA7075-T6 Mekanik Özellikleri.....	32
Tablo 2.2: AA7075-T6 Kimyasal Bileşeni	32
Tablo 2.3: Alüminyum Alaşım 7075-T6 Mekanik Özellikleri	33
Tablo 2.4: Araldite 2015 Mekanik Özellikleri	38
Tablo 2.5: Yapıştırıcı Karıştırma Oranı	39
Tablo 2.6: Deney Kodları.....	40
Tablo 2.7: Test Sıvılarının Yüzey Gerilim Parametreleri	45
Tablo 3.1: İşlemsiz, Kimyasal ve Hibrit Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinin Deiyonize Su İle Kloroform Sıvıları İle Elde Edilen Temas Açı Değerleri	51
Tablo 3.2: OWRK Metodu Kullanılarak Elde Edilen Serbest Yüzey Enerji Değerleri (mJ/m ²).....	52
Tablo 3.3: Farklı Yüzeylerdeki 7075-T6 Alüminyum Alaşım Yüzeylerin Yüzey Parametreleri	58
Tablo 3.4: AA7075-T6/AA7075-T6 Yapıştırılan Numunelerinin Çekme Test Sonuçları	59
Tablo 3.5: AA7075-T6/AA7075-T6 Yapıştırma Bağlantılarında Görülen Hasar Tipleri	66
Tablo 3.6: AA 7075-T6/ Karbon Fiber Kompozit Plaka Yapıştırma Numunelerinin Çekme Testi Sonuçları	67
Tablo 3.7: AA7075-T6/ Karbon Fiber Plaka Yapıştırma Bağlantılarında Görülen Hasar Tipleri.....	74

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA	: Alüminyum levha
CFFR	: Karbon fiber plaka
Kp	: Karbon fiber toz
Kf	: Karbon fiber kırılmış elyaf
HCl	: Hidroklorik asit
NaOH	: Sodyum hidroksit
ASTM	: Çekme test sonucu özelliklerinin standartı
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
µm	: Mikrometre

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Bağlama elemanları; malzemeleri birbirine ekleme, birleştirme ve aynı veya farklı özellikteki malzemeleri bir bütün olarak kullanmak için yapılan işlemdir. Bağlama elemanları farklı malzeme ve teknik uygulamalar kullanılarak gerçekleştirilmektedir [1]–[3]. Bağlama elemanları mekanik (cıvata, lehim, kaynak, çivi vb.) bağlama elemanları ve yapıştırma bağlama elemanları olarak sınıflandırılmaktadır. Günümüz endüstrisinde yapıştırma bağlama elemanları, havacılık, uzay, otomotiv, inşaat ve deniz endüstrisi gibi birçok alanda avantajlarından dolayı mekanik bağlama elemanları yerine tercih edilmektedir.

Yapıştırma ile yapılan bağlantılar, mekanik bağlama elemanlarına göre tercih edilme sebepleri maliyetinin düşük ve birleştirme aşamasının daha kolay olmasıdır. Yapıştırma bağlantısının bir diğer tercih edilme sebeplerinden biride, hafiflik ve özellikle uzun zaman diliminde bağlantı güvenirliliği sağlamasıdır [4]–[7].

Günümüz teknolojisinde yapıştırma bağlantı elemanını tercih etme sebeplerinden bir tanesi de enerji tasarrufu sağlamasıdır. Yapıştırma bağlantılarında enerji tasarrufu malzemenin ağırlığını azaltarak da mümkün olmaktadır. Aynı veya farklı özellikteki iki malzemeyi birleştirmek için kullanılan mekanik bağlama elemanlarının yerine daha hafif ve kolay uygulanabilir bir bağlantı elemanı olan yapıştırıcıların kullanımını tercih etmek, birleştirilen yapıları daha hafif hale getirmektedir [8]–[10].

Dünyada artan enerji ihtiyacı ile birlikte teknolojik uygulamalarda en az enerji kullanımına yönelik çözümlere ve uygulamalara yönelim artmaktadır. Gemi, otomotiv, uçak ve havacılık gibi ileri endüstri uygulamalarında, hafif yapıların ve korozyona dayanıklı uygulamaların geliştirilmesi için AR-GE ve mühendislik çalışmaları yapılmaya devam etmektedir [9], [11]. Bu sebepten yapıştırma bağlantılarının hafifliği, kolay uygulanabilirliği ve düşük maliyeti gibi avantajlarından dolayı yapıştırıcı malzeme araştırmaları ve dayanım çalışmaları giderek önem kazanmaktadır.

1.1.1. Tarihçesi

Yapıştırma bağlantı elemanları ve yapıştırıcı malzemelerinin kullanımı M.Ö. 4000 yılına dayanmaktadır [12]. Yapıştırma bağlantı elemanı; yaşamın oluşumundan günümüze kadar olan zaman diliminde; ağaç, kumaş ve lif gibi yapısal malzemelerin birleştirilmesinde kullanılmakta ve ilk yapıştırıcıların, hayvansal esaslı ve ağaç öz suyundan yapıldığı bilinmektedir [8].

İlk kullanım zamanından günümüze kadar ki süreçte farklı yapıdaki yapıştırıcılarda olumsuzluklar ve yetersizlikler gözlenmiştir. Farklı kimyasal bileşimlere sahip sentetik yapıştırıcılar üretme ve yapıştırıcı dayanımı iyileştirme araştırmaları yapılmıştır.

XX. yüzyıl başlarında doğal yapıştırıcıların yetersizliklerinden, sentetik yapıştırıcılar ve farklı malzemelerden elde edilen yeni yapıştırıcıların üretimine yönelinmiş ve bu yapıştırıcıların geliştirilmesine başlanmıştır. Bilim insanları tarafından yapılan araştırmalar ışığında geliştirilen sentetik yapıştırıcıların mekanik dayanımı ve mekanik bağlama elemanlarına göre korozyon direncinin yüksek olması endüstri alanında tercih edilme sebebi olmuştur [13]. Örnek verecek olursak I. Dünya Savaşı zamanında sentetik yapıştırıcılar, uçak gövde ve kanatlarının birleştirilmesinde, II. Dünya Savaşı zamanında otomotiv ve yine uçak endüstrisinde kullanılan metal malzemelerin birleştirilmesinde kullanıldığı bilinmektedir [14].

Epoksi reçinelerin ve fenolik yapıştırıcılarının kullanılmaya başlanması ile birlikte yapıştırıcı bağlantı elemanları endüstride önemli bir yer edinmiştir. Yapıştırıcı kullanım potansiyelinin artması ile birlikte daha üstün özellikli örneğin yüksek yorulma dayanımı ve yüksek yapışma dayanımlı yapıştırıcılar üretilmiştir. Ayrıca yapıştırıcı alanındaki gelişmeler devam ettikçe titreşimi sönmüleyen ve bağlantıya esneklik özellikler sağlayan yapıştırıcılar üretilmiş ve bu özellikte yapışma bağlantıları elde edilmiştir [14], [15].

1.1.2. Yapıştırma Bağlantılarının Endüstride Kullanım Alanları

Teknolojinin gelişimi ile kullanım alanlarında artış gösteren yapıştırıcı bağlantı işlemleri, mekanik birleştirme bağlantılarında malzemelerde meydana gelen kusurların (atomik ve molekül yapısındaki değişimler, artık gerilme yığılmaları, mukavemetindeki olumsuz yöndeki değişim gibi) oluşmasına engel olabilmektedir. Ayrıca yapıştırma bağlantılarının önemli avantajlarından bazıları da; düşük işletme maliyeti, hafif olması ve kolay uygulanabilirliğidir. Yapıştırma bağlantı elemanları otomotiv, uzay ve havacılık

endüstrisinde, farklı özellikteki iki malzemenin birleştirilmesinde kullanılmaları her geçen gün artış göstermektedir. Yapıştırıcıların, demiryolu ve deniz araçları yapım aşamalarında da kullanımı tercih edilmektedir [14]. Yapıştırma bağlantı elemanlarının mekanik özelliklerinin gelişmesi ile birlikte metallerin birleştirilmesinde de olumlu yönde ilerlemeler sağlanmıştır. İki farklı malzemenin kaynak veya diğer mekanik birleştirme elemanları ile bağlantıları sorunludur. Yapıştırıcılar, mekanik bağlama elemanlarına karşı örneğin; metal-kompozit gibi farklı malzemenin birleştirilmesine olanak sağladığı için daha avantajlıdır [14], [16]

Birçok alanda tercih edilen yapıştırma elemanları özellikle uzay, havacılık ve gıda endüstrisinde gövde ve kanat gibi dış cidarlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Uçağın gövde ve kanatlarında genel olarak alüminyum alaşım kullanılmaktadır [2], [14]. Ayrıca gıda endüstrisinde de yapıştırıcıların kullanıldığı görülmektedir. Günümüz teknolojisinde farklı mühendislik ve endüstri alanlarında da yapıştırma bağlantıları uygulamaları yapılmakta ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir [2], [14], [17].

1.2.Yapışma İşlemi

Yapışma işlemi; yapıştırıcının molekülleri arasında oluşan kohezyon kuvveti ile malzeme ve yapıştırıcı arasındaki adezyon kuvveti arasındaki çekim kuvvetlerinden meydana gelmektedir. Kısacası yapışma işlemi adezyon kuvveti ile kohezyon kuvvetinin kombinasyonu ile oluşur [18], [19].

Yapışma işlemi, aynı veya farklı özellikteki iki malzemenin yüzeylerine yapıştırıcı malzeme uygulandığı zaman; malzemeleri birbirine birleştirip, ayrılmaya karşı direnç gösteren yapı olarak tanımlanmaktadır. Yapıştırıcı; macun, tutkal, çimento, bant vb. gibi birleştirici malzemelerin genel adıdır. Yapıştırıcılar, fiziksel, kimyasal ve formlarına göre yapıştırıcılar olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır [20].

1.3. Malzeme Yüzeylerinde Meydana Gelen Çekim Kuvvetleri

1.3.1. Adezyon Kuvveti

Adezyon kuvveti, farklı veya aynı özellikteki iki malzemenin temas eden yüzeylerinde meydana gelen yapışma kuvvetidir. Adezyon yapışma kuvveti, iki farklı malzeme yüzeylerindeki çekim kuvvetinin malzemelerinin bir arada kalmasını sağlayan kuvvet

olarak da tanımlanır. İyi yapışma olabilmesi için yapıştırıcı ile malzeme arasında tam temas olmalıdır. Bu sebepten dolayı yapıştırıcının malzeme yüzeyine tam temas etmesi gereklidir [24], [25].

1.3.2. Kohezyon Kuvveti

Kohezyon malzemelerin molekülleri arasındaki çekim kuvvetinin, malzemeyi bir bütün halinde tutması olarak tanımlanır. Kısaca kohezyon kuvveti, yapıştırıcıyı oluşturan moleküllerinin çekim kuvveti olarak da tanımlanabilir [25].

1.3.3. Karma Yapışma Kuvveti

Adezyon ile kohezyon çekim kuvvetlerinin aynı anda oluşma olayıdır. Yapıştırıcı malzemesinin moleküller arası çekimi ile yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme ara yüzeylerinde oluşan çekim kuvveti olarak tanımlanabilir [24], [25].

1.4. Yapışma Teorileri

Yapıştırıcı kullanıldığı zamandan bu döneme kadar yapışma işlemi nasıl olmaktadır? Bu işlemin açıklanabilmesi için araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu araştırmalar sonucunda bazı bilim insanları tarafından yapışma teorileri ortaya atılmıştır. Bu teorilerde tam anlamı ile yapışma işlemini açıklayamamaktadır. Yapılan araştırmalarda yapışma işlemi; yapıştırıcı tipine ve yapıştırılan malzemeye göre de farklılık göstermektedir. Yapışma işleminin en önemli noktası yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemenin ara yüzeyindeki etkileşimdir. Yapışma teorisi beş farklı başlıkta sınıflandırılır; mekanik tutunma teorisi, adsorpsiyon teorisi, elektrostatik teorisi, difüzyon teorisi, zayıf sınır tabaka teorisi [27], [28].

1.4.1. Mekanik Tutunma Teorisi

Yapışma teorilerinin araştırılmaya başlanıldığında ilk ortaya atılan teori mekanik tutunma teorisidir. Bu teori 1925 yılında McBain ve Hopkins tarafından ortaya atılmıştır. Bu teori, yapıştırıcının malzeme yüzeyine sürülürken malzeme gözeneklerine ve mikro boyuttaki oyukları doldurup tüm yüzeye temas ederek yapışma gerçekleşeceği şeklinde tanımlanmıştır. Mekanik tutunma teorisinde, yapıştırıcı malzeme yüzeyine yerleştikten sonra yüzeyden ayrılmaz. Mekanik tutunma teorisine göre pürüzlü yüzeylerde yapışma dayanımı pürüzsüz yani parlak yüzeylerdeki yapışma dayanıma göre daha iyidir. Ayrıca

mekanik tutunmayı etkileyen diğ er bir etkende, yapıştırıcının malzeme yüzeyini iyi ıslatabilmesidir. Yapışma işlemleri daha iyi sonuç verebilmesi için yapıştırıcının malzeme yüzeyine boşluk kalmayacak şekilde dağılması yani iyi ıslatılabilmesi gerekmektedir. Akademik çalışmalarda, yapıştırılan malzeme yüzeyleri için en uygun yüzey pürüzlülük değeri $R_a = 1,5-2,5\mu m$ değ erleri arasında olması gerektiğ i belirtilmektedir [29].

1.4.2. Adsorpsiyon Teorisi

Kinloch tarafından 1980 yılında yapılan araştırmalar sonucunda yapışmanın, yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı arasında ki temas ile atomlar arası çekim kuvvetinden olduğu ileri sürülmüştür. Bu teori Sharpe ve Schornhorn tarafından geliştirilmiş ve çekim kuvvetleri iki ana gruba ayrılmıştır. Bunlar; birincil ve ikincil kuvvetleridir. Birincil kuvvet olarak kovalent, iyonik ve metalik bağları, ikincil kuvvetler ise asit-baz, indüklenmiş dipole dipole, dipole-dipole, Van der Waals ve hidrojen bağları olarak gruplandırılmıştır [29],[30].

1.4.3. Elektrostatik Teorisi

Elektrostatik teorisi, diğ er teorilerde olduğu gibi yapıştırıcı malzemesi ile yapıştırılan malzeme yüzeyleri arasında oluşan elektron alışverişi ile gerçekleşen çekim kuvveti olarak ifade edilmiştir. Elektron alışverişi ile yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme yüzeylerinde oluşan çekim kuvveti, yüzeylerin birbirinden ayrılmasını engelleyerek malzemeler arası yapışmayı gerçekleştirir. Malzemeler arası yapışma, yapıştırıcı ile malzeme yüzeyleri arasında pozitif ve negatif yüklerin elektriksel bir bölge oluşturması ile meydana gelir. Yapıştırıcı polimerlerinin yüzeyinde olan negatif iyonlar metal y  zerindeki pozitif iyonlar ile etkileşim oluşturarak bağlantı oluşturur. Bu teori polimer ile metal yüzeyler arasında gerçekleşir [31].

1.4.4. Difüzyon Teorisi

Rus bilim adamı Voyutskii (1963) tarafından keşfedilen difüzyon teorisinde, malzemeler arasında meydana gelen molekül alışverişi ve polimer zincirlerinin birbirleri arasında dağılması ile oluşmaktadır. Bu teori mekanik tutunma teorisi ile benzerlik göstermektedir. Bu teori, metal ile polimer arasında görülmez [30], [32].

1.4.5. Zayıf Sınır Tabaka Teorisi

Zayıf sınır tabaka teorisinde, yapıştırılan malzeme yüzeylerinin özellikleri ve çalışma alanlarının önemli olup olmadığı araştırılmıştır. Malzeme yüzeyinde oluşan yağ, pas ve kirlerden dolayı yüzey sınır tabakaları oluşmaktadır ve oluşan bu tabaka yapıştırıcı ile malzeme arasındaki yapışma dayanımını zayıflatarak hasara uğratar. Bundan dolayı temiz yüzeylerde yapışma bağlantısı daha kuvvetlidir. Bu teori 1967 yılında Bikerman tarafından bulunmuştur [30].

1.5. Yapıştırıcılar

Yapıştırıcılar aynı veya farklı özellikteki iki malzemenin yüzeylerinin teması ile bir arada tutulması olayıdır. Günümüzde yapıştırıcılar, daha rahat anlaşılması ve bulunması için sınıflandırılmıştır. Yapıştırıcılar; yapıştırılacak malzemeye, yapıştırıcı özelliğine, yapıştırıcı şartlarına göre sınıflandırılırlar [26],[33]. Kullanılan yapıştırıcılar üç ana gruba ayrılır. Bunlar kimyasal yapıştırıcılar, fiziksel yapıştırıcılar ve formları açısından yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılarda kendi aralarında gruplandırılırlar.

Kimyasal yapıştırıcılar; Aneorobikler, akrilikler, epoksiler, siyanoakrilatlar, silikonlar, fenolikler ve poliüretanlardır.

Fiziksel yapıştırıcılar; sıcak eriyikler, ultraviyole ve kauçuk yapıştırıcılar, polivinil asetatlar (PVA) olarak sınıflandırılmaktadır.

Formları açısından yapıştırıcılar; macun tipi, film tipi, düşük viskoziteli, düşük yoğunluklu yapıştırıcılar, reçineler ve köpükler olarak sınıflandırılmaktadır [8], [34].

1.5.1. Kimyasal Yapıştırıcılar

1.5.1.1. Epoksiler

Epoksi yapıştırıcılar, yüksek mukavemet ve dayanıma sahip yapıştırıcılardır. Epoksi yapıştırıcılar sertleştirici ve reçine olmak üzere iki bileşenli olarak piyasada bulunmaktadır. Kullanılırken katalog bilgilerine göre belirli oranda ve yapıştırma işlemi esnasında karıştırılmalıdır. Kürleşme süreleri marka ve tedarik edilen firmalara göre değişim gösterebilmektedir. Kullanım alanları geniş olan yapıştırıcılardır. Bazı ticari epoksilerin kürleşme sıcaklıkları değişmektedir. Molekülleri arasında çekim kuvveti diğer yapıştırıcı türlerine göre daha iyidir. Epoksi yapıştırıcıların, metallerde ve plastik

malzemelerde yapışma dayanımı düşüktür. Bundan dolayı bağlantılardaki hasarları adeziv hasardır [28].

1.5.1.2. Anaerobikler

Bu tip yapıştırıcılar tek bileşenlidir ve kürleşebilmeleri için oksijenin ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun için yapıştırma işlemi yapıldıktan sonra yapıştırıcı uygulanan alanın hava girişi engellenmelidir. Çözeltilere ve rutubete karşı yüksek dirence sahip yapıştırıcılardır. Genelde yüksek derecedeki metallerin yapıştırılması için kullanılmaktadırlar. Anaerobik yapıştırıcılar sızdırmazlık istenilen alanlarda tercih edilmektedirler [12].

1.5.1.3. Poliüretanlar

Poliüretan yapıştırıcılar hem termoset hem de termoplastik özelliktedir. Bu yapıştırıcılar reçine ve katalizör olarak iki bileşen olduğu gibi tek bileşenli olarak da bulunabilmektedir [12]. Diğer epoksi reçinelerle kıyaslandığında neme karşı daha dayanıksız ve çalışma ömrü daha azdır. Kürleşme şekli oda sıcaklığında ve ısıtılarak da yapılabilir. Aynı zamanda toksik özellikte olduğu için zararlı olabilmektedir [4].

1.5.1.4. Sertleştirilmiş Akrilikler

Akrilik yapıştırıcılar neme karşı dirençlidir. Bu yapıştırıcılar aynı zamanda yanıcıdır ve yüksek sıcaklıklarda dayanıksızdır. Soyulma mukavemetleri metallerde de plastik malzemelerde de iyidir. Bu yapıştırıcı türünün uygulama şekli ise yapıştırılacak yüzeyin bir yüzeyine reçine diğer yüzeyine katalizör uygulanarak yapışma işlemi yapılmaktadır [12].

1.5.1.5. Fenolikler

Fenolik yapıştırıcılar gevrekler ve yüksek sıcaklıklarda kürleşmektedir aynı zamanda çevresel faktörlere dayanıklı olmasından dolayı tasarım uygulamalarında tercih edilmektedir. Fenolikler, benzen halkarından elde edilmiştir. Fenolik yapıştırıcılar doğal olmayan ilk yapıştırıcı türüdür [35].

1.5.1.6. Siyanoakrilikler

Bu yapıştırıcılar piyasada süper yapıştırıcı olarak bilinmektedir. Süper yapıştırıcı denmesinde ki amaç hem hızlı yapışma sağlaması ve bu yapıştırıcının yapısında akriliğin yanı sıra siyano bulundurmasından kaynaklanmaktadır. Siyanoakrilik yapıştırıcıların uygulandığı malzeme yüzeyinin temizliği iyi yapılmalıdır ve pürüzsüz olmalıdır [13].

1.5.1.7. Silikon

Silikon yapıştırıcıların çalışma sıcaklık aralığı -60°C ile 350°C ' dir. Silikon yapıştırıcı, adeziv dayanıma ve sınırlı olarakta kohesiv dayanıma sahiptir. Soyulma mukavemeti yüksek olan yapıştırıcılardandır. Silikon yapıştırıcılar neme, kimyasallara ve dış hava şartlarına dayanıklı yapıştırıcı türüdür. Yüksek yapışma kuvvetine sahiptir. Düşük ve yüksek sıcaklıklarda esnekliğini korurlar [13].

1.5.2. Fiziksel Yapıştırıcılar

Fiziksel yapıştırıcılar, kimyasal reaksiyon ile sertleşmez fiziksel değişim ile sertleşirler. Yapısal olmayan yapıştırıcılar olarak da adlandırılırlar. Genel olarak kullanılan örnekleri ise PVA'lar, kauçuk yapıştırıcılar, basınç gerektirmeyen yapıştırıcılar, sıcak eriyiklerdir. Fiziksel yapıştırıcıların diğer yapıştırıcılara göre dayanımı daha düşüktür [13].

1.5.2.1. Sıcak Eriyikler

HMA olarakta bilinen sıcak eriyik yapıştırıcılar, hafif yüklere maruz kalan malzemelerin yapıştırılmasında kullanılırlar. Mukavemetli yapıştırıcı değillerdir. Hızlı yapıştırılacak alanlarda ve hafif yük taşınacak yerlerde tercih edilirler [13].

1.5.2.2. Kauçuk Yapıştırıcılar

Fiziksel değişim ile sertleşen bu tür yapıştırıcılar yüke maruz kalan alanlarda tercih edilmezler [13].

1.5.2.3. PVA'lar

Yüke maruz kalmayan alanlarda tercih edilirler. Genellikle gözenekli yapıların yapıştırılması için kullanılırlar [13].

1.5.2.4. Basınç Gerektirmeyen Yapıştırıcılar

Diğer fiziksel yapıştırıcılar gibi yüke maruz kalan alanlar için uygun değildir. Farklı çevre koşullarında bozunma meydana gelmektedir. Bu yapıştırıcılar etiket ve gıda sektörü gibi yüke maruz kalmayan alanlarda tercih edilirler [13].

1.5.3. Formları Açısından Yapıştırıcılar

1.5.3. 1. Macun Tip Yapıştırıcılar

Macun tipi yapıştırıcılar yüksek mukavemet gerektiren alanlarda kullanılırlar. Yüksek viskoziteye sahip oldukları için iyi yapışma elde edilir. Metal ve kompozit malzemelerin yapıştırılmasında kullanılırlar. İki fazda bulundukları için karışım oranlarına dikkat edilmelidir. Oda sıcaklığında sertleşirler [12].

1.5.3.2. Film Tip Yapıştırıcılar

Film tipi yapıştırıcılar epoksi esaslı yapıştırıcı türüdür. Kullanım alanları geniştir. Metal ve kompozit malzeme birleştirilmesinde kullanılırlar. Kompozit malzeme birleşiminde kalın film, metal malzeme birleşiminde ise ince filmler kullanılır [12].

1.5.3.3. Düşük Viskoziteli Yapıştırıcılar

Düşük viskoziteli yapıştırıcılar, kürleşme esnasında genişleme olmadığından belirli alanda tutmak için özel bir aparat veya malzemeye ihtiyaç duyulmaz. Oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda kürleşebilirler. Kayma mukavemetleri iyidir [12].

1.5.3.4. Düşük Yoğunluklu Yapıştırıcılar

Reçineler gibi iki formda bulunurlar iyi yapışma istenilen alanlarda ve tamir amaçlı kullanılırlar. Oda sıcaklığında da kürleşirler [13].

1.5.3.5. Reçineler

Epoksi ve sertleştirici olmak üzere iki formda bulunurlar. Yapıştırma işlemi tamamen kurutulduktan sonra oluşur. İki farklı formda bulundukları için karıştırılarak elde edilirler. Daha iyi sonuç elde etmek için karıştırma oranını iyi ayarlamak gerekir. Kompozit malzeme elde etmek için de sıklıkla kullanılırlar [28].

1.5.3.6. Köpükler

Epoksi esaslı yapıştırıcı çeşididir. İki malzemeyi yapıştırma işleminde köpük yapıştırıcı kürleşmesi sırasında genişlemektedir. Genişlediği için boşlukları doldurarak iyi yapışma sağlamaktadır [28].

1.5.3.7. Yüksek Sıcaklıklara Dayanaklı Yapısal Yapıştırıcılar

Organik esaslı olan polimerlerin yüksek sıcaklıklara dayanımları düşüktür. Polimer esaslı olan yapıştırıcılar termoplastik, termoset ve elastomerik yapıştırıcı olarak üç gruba ayrılırlar. Termoset ile termoplastik yapıştırıcı arasında ki temel fark moleküler bağlarıdır. Termosetlerde çapraz bağ oluşurken termoplastiklerde çapraz bağ oluşmaz. Termoset yapıştırıcılar sertleştikten sonra tekrar şekil verilmez iken termoplastik malzemeler ısıtılıp tekrar şekil verilebilir.

Termoset yapıştırıcılar termoplastik malzemeler göre sıcaklığa daha dirençlidirler. Yapıştırıcılar, kimyasal özelliklerini belirli bir sıcaklığın üzerinde kaybederler. Bu tip yapıştırıcılar yüksek sıcaklığa dayanıksız yapıştırıcılardır. Kimyasal özelliğini kaybettiği noktaya yumuşama noktası adı verilir. Polimer esaslı yapıştırıcılar yumuşama noktası düşük yapıştırıcılardır. Bundan dolayı yapıştırıcıların yüksek sıcaklığa dayanımını arttırmak için, yapıştırıcının kimyasal bileşimdeki fenolik veya epoksi reçine oranı arttırılmalıdır [36].

1.5.4. Yapıştırıcıların Bağ Durumuna Göre Sınıflandırılması

Yapıştırıcılar katılaştıktan sonra tekrar kullanıp kullanılmamasına yani bağ yapısına göre üç ana grupta sınıflandırılabilir. Bunlar termoset yapıştırıcılar, termoplastik yapıştırıcılar ve elastomerik yapıştırıcılardır.

1.5.4.1. Termoset Yapıştırıcılar

Termoset yapıştırıcılar ısı ile katılaştıran yapıştırıcı olarak adlandırılabilir. Termoset yapıştırıcılar ilk kürleşmeden sonra tekrar tekrar ısıtılıp yumuşatılamayan yapıştırıcı türüdür. Termoset yapıştırıcılar, yapıştırıcı tipine bağlı olarak oda sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda geri dönüşümü mümkün olmayan yapıştırıcılardır. Güçlü bağlantı elde edilmesi için yüksek basınçlar gerekebilir ancak bazen küçük bir basınç ile de güçlü bağlanma sağlayabilen termoset yapıştırıcılar vardır. Termoset yapıştırıcılar fırça ya da sprey ile uygulayabilmek için çözücü içerisinde kullanılabilir. Fakat çoğunlukla sıvı,

pasta ve katı şekillidirler. Termoset yapıştırıcılara örnek olarak epoksi ve üretan yapıştırıcılar söylenebilir [36].

1.5.4.2. Termoplastik Yapıştırıcılar

Termoplastik yapıştırıcıların termoset yapıştırıcılardan farkı, sıcaklık ile kürleşme reaksiyonu olmamasıdır. Genellikle katı haldedirler. Ancak ısıtıldıklarında erirler. Bunun nedeni, çapraz bağa sahip olmamalarıdır. Termoplastik yapıştırıcıların termoset yapıştırıcılardan en önemli farkı sıcaklık altında kürleşme reaksiyonu göstermemeleridir [37]. Termoplastik yapıştırıcılarda, yapıştırıcı uygulandıktan sonra aralarında bağlantı oluşur ve soğudukça sertleşme gerçekleşir. Bu tip yapıştırıcıyı uygulanır hale getirmek için çözücü kullanılmalıdır. Daha hızlı kürleştirmek için hızlandırıcı kullanılmaktadır. Çapraz bağ olmadığı için düşük sıcaklıklarda daha iyi mekanik özellik gösterse de yüksek sıcaklıklarda düşük mekanik özellik göstermektedir [38].

1.5.4.3. Elastomerik Yapıştırıcılar

Elastomer yapıştırıcılar hem termoplastik hem de termoset yapıştırıcı özellik gösterirler. [38], [39]. Kendilerine has özelliklerinden dolayı ayrı olarak gruplandırılmışlardır. Elastomer yapıştırıcıların en iyi özellikleri titreşim sönümleyici ve yüksek enerji absorbe edici olmalarıdır. Aynı zamanda araştırmalar neticesinde düzgün olmayan yükleme dağılımlarında ki bağlantı elemanlarında mukavemeti arttırdığı gözlemlenmiştir [40].

1.6. Yapıştırma Bağlantılarının Diğer Bağlantılarla Karşılaştırılması

Yapıştırıcı bağlantı elemanlarının, mekanik bağlantı elemanlarının yerini tamamen alacağı düşünülmemelidir. Mekanik bağlantı elemanlarının farklı koşullar altında avantaj ve dezavantajları vardır.

1.6.1. Perçin Bağlantıları

Perçin bağlantılarında, açılan perçin delikleri, kesiti küçülttüğü için çentik etkisi oluşmaktadır. Bundan dolayı delik kenarlarında artık gerilmeler meydana gelir. Perçin bağlantılarında kuvvet tam ortaya etki etmediğinden dolayı eğilme momenti oluşmaktadır. Perçin bağlantıları malzemenin mukavemetini düşürmektedir. Perçin bağlantıları malzeme ağırlığını artırır. Ayrıca perçin bağlantılarında, düzgün olmayan

gerilmelerinden dolayı mukavemet değerleri düşer. Perçin bağlantı işlemi, fazla iş gücü isteyen birleştirme yöntemlerinden biridir [41].

1.6.2. Kaynak Bağlantıları

Kaynak bağlantılarında, malzeme üzerindeki yük durumuna göre isteğe bağlı tasarım yapılmaktadır. Kaynak bağlantılarında dayanım malzeme mukavemetine yakın değerlerdedir. Bu bağlantılar otomotiv sektöründe yoğun şekilde kullanılmaktadır. Kaynak yapılan malzemelerin ergitilip hızla soğuması esnasında ana malzemenin iç yapısında değişim, çarpılma ve bölgesel gerilmeler oluşmaktadır. Kaynakta yapılacak herhangi bir küçük hata malzemenin dayanımını düşürmektedir. Kaynak bağlantılarında gerilme dağılımları düzgün değildir. Kaynak bağlantılarının kontrolü zordur ve emniyet gerilmesi kaynağın kalitesine göre değişmektedir. Kaynak bağlantı elemanlarındaki dezavantaj, farklı özellikteki malzemelerin kaynak edilememesidir. Ve kaynak bağlantı kalitesi kaynak makine kalitesine, kullanılan elektrotlara, kaynağı yapan kişinin el becerisi gibi faktörlere bağlıdır [13], [41].

1.6.3. Lehim Bağlantıları

Lehim bağlantılarının epoksi yapıştırıcı bağlantılarına göre maliyeti yüksektir. Lehim bağlantılarında farklı özellikteki iki metali birleştirebilmek mümkündür. Ancak hafif metallerin lehimlenmesi zordur. Lehimde dekaplan kullanılmaktadır ve lehim yapılacak yüzeyler iyi temizlenmezse korozyona uğrayabilir. Ayrıca sert lehimleme sırasında malzemenin iç yapısında farklılaşma meydana gelebilir [42].

1.6.4. Vida ve Civata Bağlantıları

Vida ve civata bağlantılarında, birleştirme yapabilmek için malzemeye delikler açılması gerekmektedir. Deliklerin açılması malzemenin dayanımının azalmasına neden olmakta ve açılan deliklere bağlantılar yüklendiği zaman artık gerilmeler oluşmaktadır. Malzemenin artık gerilmelere dayanabilmesi için daha kalın ve daha dayanıklı malzeme kullanılarak yapılması gerekmektedir. Bu sebepten malzeme maliyeti ve ağırlığı artar. Ağırlık artışı zaman, enerji giderlerinde artışa sebep olur. Vida ve civata bağlantıları fazla zaman ve işçilik gerektiren bağlama yöntemlerindendir [13].

1.6.5. Pres Bağlantıları

Soğuk ve sıcak pres, küçük tolerans gerektiren alanlarda kullanılan bağlantı yöntemidir. Hassas işçilik ve montaj zorluğu sebebiyle özel işçilik gerekmektedir. Özel işçilik ve montaj zorluğu sebebiyle maliyeti yüksektir. Pres birleştirme işlemleri silindirik yapıların birleştirilmesinde sıklıkla tercih edilirler [13].

1.7. Yapıştırıcının Avantaj ve Dezavantajları

Bağlantı elemanı olarak kullanılmakta olan yapıştırıcıların, mekanik bağlantı elemanlarının yerine tercih edilme sebepleri ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların sonucunda yapıştırma bağlantılarında gözlemlenen avantaj ve dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [21], [22].

Yapıştırıcı bağlantı avantajları;

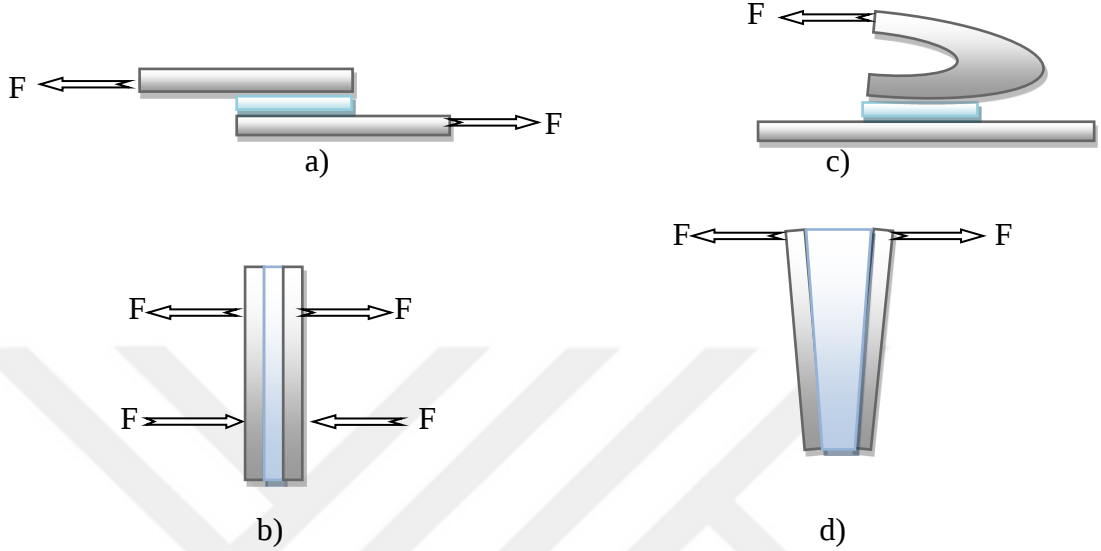
- Farklı kalınlıkta iki malzeme birleştirilebilir.
- Mekanik bağlantı elemanında oluşan artık gerilmelerin oluşmasını engelleyerek daha düzenli gerilme dağılımları elde edilir
- Farklı özellikteki iki malzemenin birleşimine olanak sağlar
- Sızdırmazlık istenen alanlarda sızdırmazlık elemanı olarak kullanılır
- Daha kolay uygulanabilir olması nedeniyle mekanik bağlantı elemanına göre daha az maliyetlidir
- Daha hafif ve yüksek darbelere karşı titreşimleri sönmüleme kabiliyeti vardır
- Bağlantı noktalarında korozyon en aza indirgenir

Yapıştırıcı bağlantı dezavantajları

- Kürleşme süreleri uzun olabilir
- Belirli sıcaklık aralığında kullanılır. Yüksek ve düşük sıcaklıklarda kullanımı uygun değildir
- Darbe ve soyulma dayanımı düşüktür [22], [23].

1.8. Yapışma Bağlantılarında Oluşan Gerilmeler

Yapışma bağlantı elemanlarına uygulanan ve etki eden kuvvetler ile dört gerilme türü oluşur. Bu gerilme türleri şekil 1.1' de gösterildiği gibi kayma, çekme-basma, soyulma ve kesme-makaslama gerilmeleridir.



Şekil 1.1: Gerilme tipleri (a) Kayma (b) Çekme-basma (c) Soyulma (d) Çekme-Makaslama

1.8.1. Kayma Gerilmesi

Yapıştırıcının uygulandığı yüzeye paralel olarak kuvvet uygulanması, yapışma bağlantısını kaymaya maruz bırakmaktadır. Kaymaya maruz kalan ve yükü taşıyan alan yapıştırıcının malzeme ile temas alanıdır. Bu alanın geniş ve yüke paralel olması yapışma dayanımının artmasına sebep olur. Böylelikle yapışma bağlantısının ömrü uzar ve dolayısıyla bağlantı ekonomik olur. Yapıştırma bağlantıları kullanılır iken bağlantının daha çok kayma yüküne maruz kalacak şekilde uygulanması daha doğru olur [22].

1.8.2. Çekme ve Basma Gerilmeleri

Çekme ve basma gerilmesi, yapışma alanına dik olarak uygulanan kuvvetlerin yapışma bağlantısını kesmeye maruz bırakır. Bağlantının her zaman sadece kesmeye maruz kaldığını söylemek mümkün değildir. Yapıştırma bağlantısında, yapışma bölgesinin dışına doğru gerilme yığılması oluşabilir. Yığılma gerilmelerinden kaynaklı yapışma alanına eşit gerilme olmayacağından yapışma bağlantısında hata oluşabilir [22].

1.8.3. Soyulma

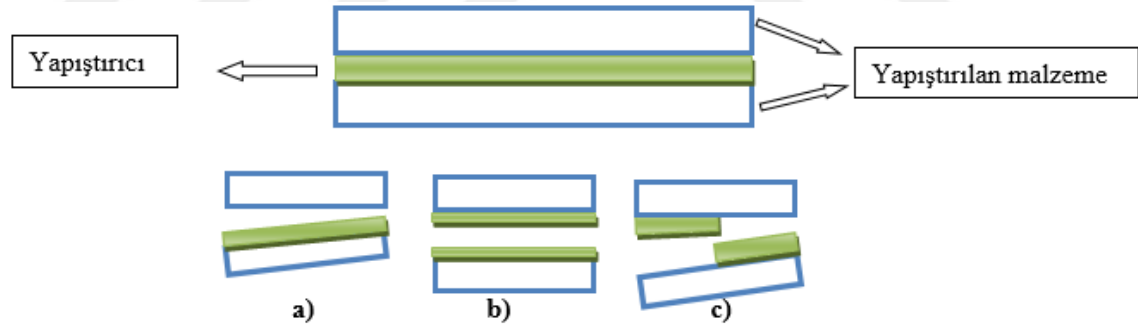
Soyulma gerilmesinin oluşması için yapıştırılan malzemenin bir tanesi esnek olmalıdır. Bu tip yapıştırma bağlantılarında oluşan gerilme yüksektir. Bu yapışma bağlantılarında yük az olmalı veya bağlantı alanı büyük olmalıdır. Bu tarz bağlantılardan veya aşırı yüklemelerden uzak durulmalıdır [8].

1.8.4. Çekme-Makaslama

Bu tip yükleme çekme yüküne maruz bırakılmış ancak yüklemedeki eksen kayıklığından kaynaklı diğer gerilmelerin tersine yapışma alanına eşit oranında değilde bir tarafa gerilme yoğunlaşmaktadır. Bu tarz gerilmenin dayanımını artırmak için daha fazla yapışma alanına ihtiyaç vardır. Daha fazla alan olması maliyeti ve yükü arttırdığından bu tarz bağlantı tercih edilmez [27].

1.9. Hasar tipleri

Yapıştırma bağlantı elemanlarında yapıştırıcı ve malzeme arasında hasarlar görülmektedir. Temel olarak üç farklı hasar tipi mevcuttur. Şekil 1.2’de adeziv hasar, koheziv hasar ve karma hasar görülmektedir [28].



Şekil 1.2:Yapıştırma Bağlantılarında Hasar Tipleri; (a) Adeziv Hasarı (b) Koheziv Hasarı (c) Karma Hasar

1.9.1. Adeziv Hasar

Adeziv hasar, yapıştırılan malzeme yüzeyleri ile yapıştırıcının ara yüzeyinde meydana gelen ayrılma olayıdır. Bu tip hasar ayrılma olarak isimlendirilir. Yapışma bağlantısında, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme yüzeyleri arasındaki en zayıf olduğu noktadan hasar oluşmaya başlar. Yapıştırılan malzeme yüzeylerini ve yapıştırıcı arasındaki dayanımı

artırmak için yapıştırıcının malzeme yüzeyini tam ıslatabilmesi gerekmektedir. Adeziv hasarda yapıştırıcı tek malzeme yüzeyinde kalır [8].

1.9.2. Koheziv Hasar

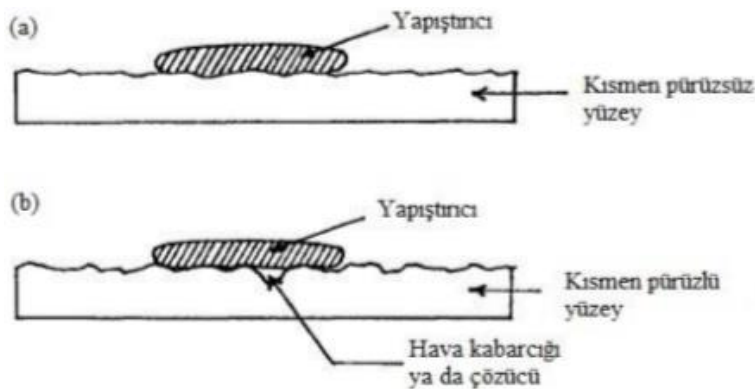
Koheziv hasar yapıştırma bağlantısında yapıştırıcının molekülleri arasında meydana gelen hasar tipidir. Yapıştırılan iki malzeme yüzeyinde de yapıştırıcı malzemesi kalarak oluşur [8].

1.9.3. Karma Hasar

Adeziv ve koheziv hasarların aynı malzeme üzerinde görülmesi olayıdır. Yapıştırılan çoğu malzemede iki hasarın meydana gelmesi ile oluşur ve karma hasar olarak adlandırılır [28].

1.10. Islanabilirlik

Islanabilirlik, yapıştırıcı ve yapıştırılacak malzeme yüzeyindeki moleküllerin etkileşimi ve çekim kuvvetinin sonucu oluşmaktadır. İyi yapışma elde edilebilmesi için yapıştırıcı, yapıştırılacak malzeme yüzeyindeki her alana nüfus etmelidir. Yapıştırıcı malzeme yüzeyine tamamen nüfuz etmez ise malzeme yüzeyindeki nano veya mikro boyutta ki kusurlar yapışma dayanımını azaltabilir. Yapıştırıcının katı malzeme yüzeyi iyi bir şekilde ıslatabilmesi için, katı malzemenin yapıştırıcı malzemesindeki yüzey geriliminden daha yüksek yüzey gerilimine sahip olmalıdır. Yapıştırıcı ile malzeme yüzeyinin katı yüzeyde temas açısını şematik olarak şekil 1.3’de gösterilmektedir.



Şekil 1.3:Bir Yüzeye yapıştırıcının yayılması örnekleri: a) yeterli ıslanma, b) yetersiz ıslanma [2].

Yapıştırıcı ve malzeme arasında istenilen şekilde ıslanabilirlik sağlanırsa yüksek bağlanma dayanımı elde edilir. Bu sebepten dolayı malzemelerde farklı yüzey işlemi yapılarak yüzey enerjisi artırılır [26].

Organik yapıştırıcılar daha düşük yüzey gerilimlerine sahip oldukları için malzemelerin yüzeylerini daha kolay ıslatabilirler [24].

1.11. Yapıştırılacak Yüzeylerin Hazırlama Metotları

Yapıştırıcı, yapıştırılacak olan malzeme yüzeylerine uygulanmadan önce malzeme yüzeyleri ön işleme tabi tutulur. Bu ön hazırlık işlemleri malzeme yüzeyinin temizlenmesi ve aşındırılması ile gerçekleşir [8].

1.11.1. Çözücüyle Silme

Çözücü ile silme işleminde, malzeme yüzeyine çözücü damlatılarak yapılan yüzey temizleme işlemidir. Çözücü ile temizleme işlemi çok kullanılmaktadır ancak tek başına iyi sonuç elde edildiği pek söylenemez. Malzeme yüzeyini silmede kullanılan çözücülere aseton, tolüen, metil alkol vb. kimyasallar örnek verilebilir [8].

1.11.2. Buharla Yağ Giderme

Buharla yağ giderme işlemi, yapıştırılacak malzeme yüzeylerine damıtılmış çözücü buharı uygulanarak gerçekleştirilir. Buharla temizleme işlemi iyi nitelikli temizleme yöntemidir [24].

1.11.3. Aşındırma

Yapışma dayanımında, malzeme yüzeyinin özellikleri büyük ölçüde etkilidir. Malzeme yüzeyinin etkisi, yapıştırılacak olan malzemenin temas yüzeyini arttırarak, malzeme ve yapıştırıcı arasındaki kimyasal bağı arttırmak açısından önemlidir. Malzemenin temas yüzeyini arttırmak için malzeme üzerinde kumlama, püskürtme, zımparalama, kimyasallar ile dağlama gibi işlemler yapılmaktadır [29]. Yüzey hazırlama metotları 3 temel grupta toplanabilir. Bunlar kimyasal aşındırma, mekanik aşındırma ve hiprit aşındırmadır.

1.11.3.1. Kimyasal Aşındırma

Yapışma dayanımını arttırmak için kullanılan işlemde biride kimyasal çözeltiyle aşındırma işlemidir. Kimyasal çözeltiyle aşındırma işleminde malzeme yüzeyinde

kimyasal ve fiziksel değişimler oluşmaktadır. Bazik ve asidik çözeltiler ile dağlama işlemi yapılmaktadır [43].

1.11.3.2. Mekanik Aşındırma

Malzeme yüzeyinin fiziksel özelliğini değiştirmek amacıyla kumlama, lazer ile çizme, zımparalama vb. uygulamalar yapılarak elde edilmektedir. Malzeme yüzeyine uygulanan işlemler ile mikro ve nanoboyutta çukurcuklar ve tepecikler oluşturularak yüzey alanı artırılmaktadır. Bundan dolayı yapışma dayanımı artış göstermektedir.

1.11.3.3. Hibrit Aşındırma

Malzeme yüzeyini parlak ve düz yapısını daha girintili çıkıntılı bir yapı elde etmek için mekanik aşındırma işleminin sonra yüzeye kimyasal aşındırma işleminin uygulanması sonucu elde edilmesidir. Yani malzeme yüzeyine mekanik ve kimyasal aşındırmanın üst üste uygulanma olayıdır.

1.12.Yüzey Enerjisi Metotları

Katı maddelerin, yüzey enerji değerleri ve maddenin tanecik dizilimi önemli bir unsurdur. Katı maddelerin yüzey enerji değerleri; katı madde yüzeylerinin sıvı ile ıslanabilirliği ve homojen tanecikler olarak dağılabilirlik gibi özellikleri katı yüzeylerin yapıştırıcılarla olan etkileşimini belirlemektedir. Malzeme yüzey enerjisi; sıvı maddelerin katı yüzeylerde tutunma eğilimini büyük oranda etkilemektedir [44], [45].

Sıvının yüzey enerjisini hesaplamak için birçok teknik mevcut iken, katıların yüzey enerji değerlerinin belirlenmesi zordur. Katıların serbest yüzey enerjileri (SYE) doğrudan ölçüm yapılarak belirlenemez. Katıların serbest yüzey enerjilerinin hesaplanması için ilk önce katı yüzeye farklı sıvılar damlatılarak temas açısı değerleri bulunur. Daha sonra elde edilen bu sıvı katı arasındaki temas açıları ile farklı serbest yüzey enerji hesaplama yaklaşımında kullanılarak katı yüzeyin SYE' leri hesaplanabilmektedir. Katı malzemelerin yüzey enerji değerlerini hesaplamak için birkaç metot geliştirilmiştir. En çok kullanılan katı malzeme yüzey enerji metodları, Fowkes, Owens –Wendt-Rabel ve Kaelble, Varn Oss-Chaudhury ve Zisman metodlarıdır [44].

1.12.1. Fowkes Metodu

1964 yılında ortaya atılan Fowkes metodu kutupsal yüzeyler için en çok tercih edilen modeldir. Fowkes metodu, katı malzeme ile sıvılar arasındaki etkileşimler kullanılarak geliştirilmiştir. Bu metot da katı yüzey enerjisi sıvı ve katıların polar ve dispersiv enerji değerlerinin toplanması ile elde edilmektedir. Denklem 1, sıvıların yüzey gerilimini hesaplamak için kullanılmaktadır [44].

$$\gamma_s = \gamma_s^d + \gamma_s^p \quad (1)$$

Fowkes metodunda katı serbest yüzey enerjisi, katı sıvı arası temas açısı ilişkilendirilerek hesaplanabilmektedir. Bu teoride kullanılan sıvıların dispersiv ve polar değerleri bilinmelidir. Bilinen bu değerler denklem 2' de yerine konularak katıların serbest yüzey enerjileri hesaplanabilmektedir [44].

$$(1 + \cos\theta) \gamma_{ks} = 2[(\gamma_k^d * \gamma_s^d)^{\frac{1}{2}}] \quad (2)$$

1.12.2. Owens –Wendt-Rabel ve Kaelble metodu

Owens-Wendt-Rabel ve Kaelble (OWRK) metodu 1969 yılında geliştirilmiş, Fowkes metodu ile benzerlik göstermektedir. Bu metot da en az iki sıvı kullanılmaktadır. Yüzey enerjisinin hesaplanacağı malzeme yüzeyinde polar ve apolar iki sıvı damlatılarak, temas açısı değerleri bulunur. Temas açısı değerleri denklem 3'de yerine yazılıp katı serbest yüzey enerjileri hesaplanır [44]–[46].

$$\gamma_l(1 + \cos\theta) = 2\sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} + 2\sqrt{\gamma_s^p \gamma_l^p} \quad (3)$$

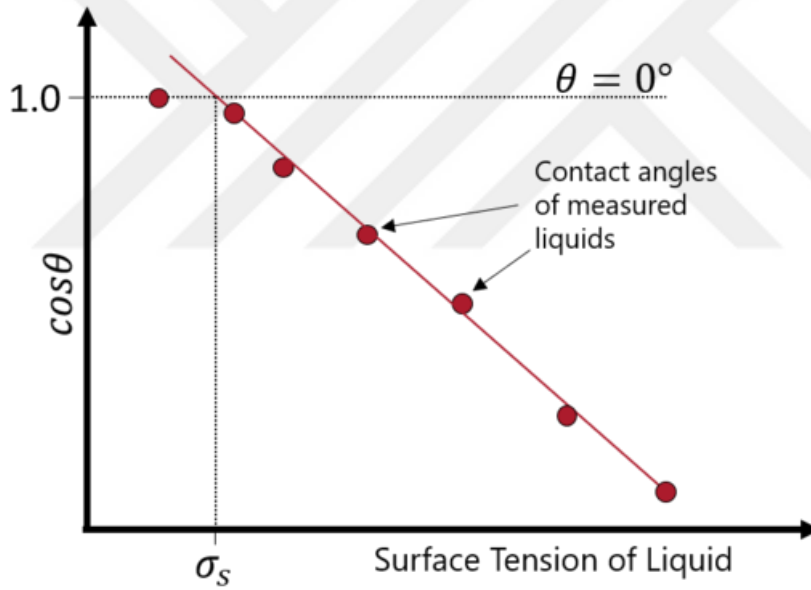
1.12.3. Van Oss-Chaudhury Metodu

Fowkes ve OWRK metotları Dispersiv ve polar etkileşim olan malzemelerde kullanılırken diğer etkileşimlerde bu teoriler kullanılmaz. Ancak bu metotta asit-baz etkileşim olan malzemelerin yanı sıra polar ve dispersiv etkileşimlerinde kullanılır. Denklem 4'de katıların serbest yüzey enerjileri hesaplanır [44], [46].

$$(1 + \cos\theta) \gamma_s = 2[(\gamma_k^{LW} * \gamma_l^{LW})^{\frac{1}{2}} + (\gamma_k^+ * \gamma_s^-)^{\frac{1}{2}} + (\gamma_k^- * \gamma_s^+)^{\frac{1}{2}}] \quad (4)$$

1.12.4. Zisman Metodu

Yüzey enerji hesaplama yöntemlerinden biri olan zisman metodu çok tercih edilmektedir. Bu metot bir katının temas açısı değerinin 0° de maksimum yüzey gerilimi sıvı değeri ile denk olduğunu varsaymaktadır [44,46]. Birkaç sıvı ile malzeme üzeylerinin temas açısı değerleri yüzey gerilimine karşı çizilmektedir. Malzeme yüzeyine damlatılan farklı sıvıların temas açılarının kosinüs değeri ile sıvıların yüzey gerilim değerleri kullanılarak bir grafik oluşturulur. Noktaların eğimleri $\cos 0=1$ olan doğru ile karşılaştırılır. Çakıştırılan noktanın yüzey gerilim değeri okunur ve katının yüzey gerilimi bu değer kabul edilir. $\theta = 0^\circ$ değeri katı malzemenin yüzey enerjisine denktir. Temas açısının yüzey gerilimine karşı çizildiği grafik Şekil 1.5' de gösterilmiştir.



Şekil 1.4:Zisman Grafiği [44].

Zisman teorisi apolar yüzeyler için kullanılmaktadır. Polar yüzeyler için katı serbest yüzey enerjisi hesaplamada diğer metotlar tercih edilmektedir.

1.13. Cihazlar

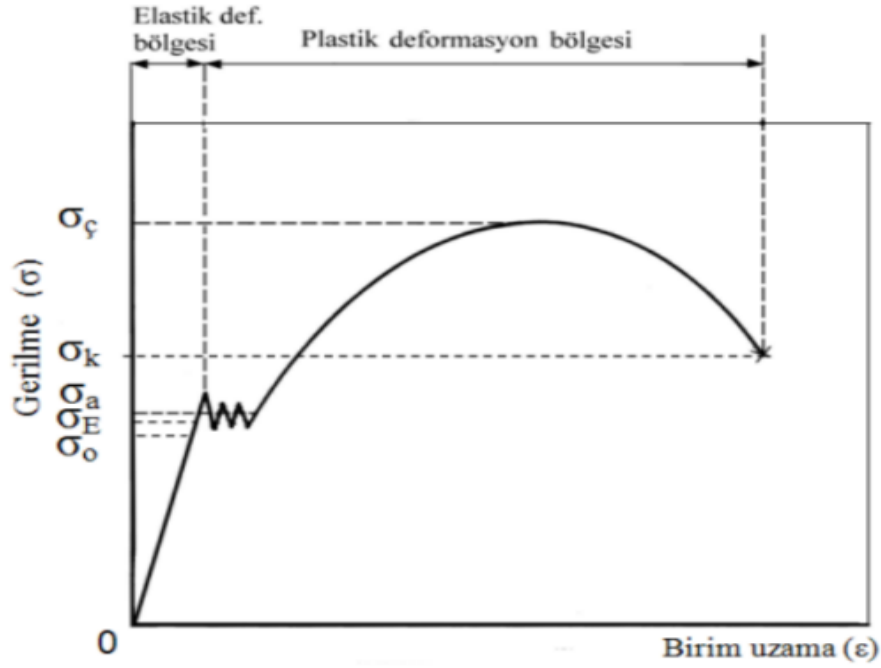
1.13.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskopu (SEM), organik ve inorganik malzemelerin nanometre (nm)- mikrometre (μm) ölçeğinde incelenmesi ve karakterizasyonu için kullanılmaktadır [47]. SEM görüntüleri malzeme yüzeyindeki faz sınırını, yüzeylerdeki çatlak ve çizici, malzemeler arasında ki çekimi, malzemenin yüzey pürüzlülüğünü incelemek için kullanılmaktadır [48]. İncelenmek istenilen malzeme yüzey alanına ya da analiz yapılmak istenilen yüzeyin mikro yapısına odaklanan bir elektron ışını gönderilerek analiz süresince malzeme yüzeyinin görüntüleri taranır ve malzeme yüzeyindeki pürüzlülük görüntü değerleri gözlemlenir. Malzeme yüzeyinde gözlemlenen yüzey pürüzlülüklerin iyi ıslatabilmesi yapışma için önemli bir unsurdur. Akışkanların malzeme yüzeyine yapışma, tutunma eğilimi katı malzemelerin ıslatabilme özelliği ile ilişkilidir [49].

Malzeme yüzeyinin SEM görüntülerini elde etmek için malzeme iletken olmalıdır. Malzeme iletken değilse SEM ile analiz yapabilmek için malzeme yüzeyi iletken bir malzeme ile kaplanmalıdır [47].

1.13.2. Çekme Test Cihazı

Çekme test cihazı, malzemelerin ve bağlantı elemanlarının çekme ve kayma dayanımını değerlendirmek için kullanılan cihazdır. Mukavemet ve dayanım istenilen endüstri alanlarında malzemelerin mekanik özellikleri için malzemeler ilk önce test edilmektedir. [50]. Çekme test cihazlarında çekme ve kayma dayanımlarını değerlendirmek için standartlar tanımlanmıştır. Test için kullanılan malzeme boyutları standartlara uygun şekilde hazırlanmalıdır. Çekme testi ile elde edilen gerilme-uzama grafiği şekil 1.5’de gösterilmektedir [50],[51].



Şekil 1.5: Gerilme -Uzama Diyagramı

1.13.3. 3D Profilometre Cihazı

3D profilometre cihazı malzeme yüzey profilinin basamak yüksekliğini, kalınlığını ve pürüzlülük değerini dokunarak tarama metodu ile ölçüm yapan cihazdır. Malzeme yüzeyindeki çalışma alanında ileri geri hareketler ettirilerek malzeme yüzey pürüzlülüğünün angstrom hassasiyetinde ölçümü yapılabilmektedir. 2 boyutlu ve 3 boyutlu görüntü eldesi için 3D Profilometre cihazı ile uyumlu olan yazılımın z eksenine göre yüzey pürüzlülük ve kalınlık parametreleri elde edilir [52].

1.13.4. Temas Açısı Ölçüm Cihazı (ATM)

Temas açısı katı malzeme ile malzeme yüzeyine damlatılan sıvı veya buhar damlacığının arasında oluşan açı, temas açısı olarak adlandırılır. Temas açısı katı bir yüzeyin bir sıvı tarafından ıslatılabilirliği olarak tanımlanabilir. Bu açı, sıvı ile katı malzeme arasında oluşan atomik ve moleküler kuvvetlerden ve malzemelerin fiziksel yapısından dolayı oluşmaktadır.

Temas açısının tespiti için optik teleskop (ganyometre) cihazı kullanılmaktadır. Bu yöntemde katı malzeme yüzeyine sıvı damlatılarak katı ve sıvı arasında oluşan temas

açısını büyütme lensi veya göz merceği bulunan mikroskop kullanılarak çekilen resmin tanjat değerini belirleyen bilgisayar kontrollü ganyometre ile ölçümü yapılmaktadır [53]. Temas açısı ölçüm değerlerinde gözlemlenen açı değerleri 0° ile 90° arasında olduğu zaman katı malzeme yüzeyi hidrofilik durumundadır, 90°' den büyük olması durumunda hidrofobik olarak adlandırılmaktadır [35].

1.14. Literatür Taraması

Zhai ve ark. (2008), epoksi yapıştırıcının içine belirli oranlarda nano Al_2O_3 dolgu katarak çelik malzemelerdeki yapışma dayanımını incelemişlerdir. Dolgu katkılı epoksi yapıştırıcı ve dolgusuz epoksi yapıştırıcıların deneysel sonucu karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda dolgu katkılı epoksi yapıştırıcının çekme dayanımını dolgusuz yapıştırıcının çekme dayanımına göre daha fazla arttırdığı gözlemlenmiştir [54].

Özdemir Y. (2018) alüminyum levha malzemesini birleştirmek için kullanılan epoksi esaslı yapıştırıcılara farklı oranlarda nano parçacıklı dolgu malzemeleri katarak deneyler yapılmış ve bağlantıların mekanik özellikleri incelemiştir. Ayrıca epoksi yapıştırıcının termal özelliklerini de araştırmıştır. Yapılan çalışmanın araştırılması için alüminyum plakaların yüzey temizliğini yapmıştır ve daha sonra yapıştırıcı elde edilerek alüminyum numuneler yapıştırılarak çekme dayanımlarının ölçmüştür. Sonuç olarak ise KNT ve grafen katkılı yapıştırma numunelerinin mekanik özelliklerinde düşük katkı oranlarında dayanımı ve şekil değiştirebilirliği arttırdığı, yüksek katkı oranlar da ise reçine içerisinde toplanarak dayanımı azalttığını görmüştür [55].

Kınay D., Çakır M.V. (2016), çalışmalarında alüminyum ve cam elyaf plakaların farklı özellikteki yapıştırıcılarla deneysel olarak yapışma dayanımlarını araştırmışlardır. Alüminyum ve cam elyaf plakaların farklı oranda bindirme uzunluklarının, yapışma dayanımındaki etkisi incelemişlerdir. Ayrıca yapılan çalışmada yapıştırıcının dayanımı arttırmak için malzeme yüzeylerine yüzey iyileştirme işlemleri uygulamışlardır. Araldite 2014-1 yapıştırıcı malzemesi ile yapıştırılan malzemenin yapışma dayanımının diğer yapıştırıcıya göre daha düşük olduğunu görmüşlerdir. Karbonkleber CG-49 ile yapışan yapıştırma işleminde, iki malzeme yüzeyinde de daha iyi yapışma dayanımı olduğu gözlemlenmiştir [56].

Gültekin K. (2018), yapıştırma bağlantı elemanı ile birleştirilecek olan alüminyum alaşımının yüzeyleri farklı numaralarda ki zımpara ile zımparalanarak pürüzlü yüzey elde etmiştir. Kullanılan yapıştırıcılara farklı boyut ve özellikte dolgu malzemeleri ilave edilerek elde edilen yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerini araştırmıştır. Yapılan çalışmada, dolgu malzemesinin özellikleri yapıştırıcı özelliği ve dolgu malzemesinin yüzde oranları yapışma dayanımında değişimine neden olduğunu gözlemlemiştir. Çalışmada çift tesirli bağlantılarda eğme hasar yükleri, yapıştırıcı içerisine katılan dolgu malzemeleri olan grafen, karbon nanatüp ve fulleren katkısız bağlantılara göre sırası ile %24, %95, %100 oranında artış olduğu görmüştür. Sonuç olarak dolgunsuz yapıştırıcıların dolgulu yapıştırıcılara göre daha az yük taşıdıklarını gözlemlemiştir. Mekanik değerlerde en iyi sonuç ise fulleren katkılı yapıştırıcı bağlantılarında olduğunu gözlemlemiştir [34].

J. Li ve A. Dasgupta (1993) çalışmalarında alüminyum alaşımının yüzeyine farklı tip uygulanan iyileştirme işlemi ile yapışma dayanımını araştırmışlardır. Bağlantı yüzeylerine iyileştirme işlemi olarak kataforik ve toz kaplamalar yapılmış ve mekanik dayanımlarına etkisi incelemiştir. Yapılan deneyler esnasında EN AW-5754 alüminyum alaşımının yüzeyine uygulanan kaplamaların ve yapıştırıcı içine katılan farklı özellikteki sertleştiricinin, yapıştırma dayanımını değiştirdiğini gözlemlemiştir [38].

Özel A. ve ark. (2014) DP 460 yapısal yapıştırıcı kullanılarak, alüminyum alaşım ve epoksi kompozit malzemeleri yapıştırmış ve yapışma dayanımlarını incelemiştir. Çalışmanın amacı yapıştırılan malzemenin bindirme uzunlukları ve yapışma kalınlıklarının yapışma dayanımına etkisi incelenmesidir. Alüminyum-kompozit, alüminyum-alüminyum ve kompozit-kompozit malzemelerin yapıştırma bağlantıları elde edilmiştir. Sonuç olarak alüminyum-kompozit yapıştırma bağlantısının, alüminyum-alüminyum, kompozit-kompozit yapıştırma bağlantısına göre daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemiştir [39].

Alvesa D.L. ve ark. (2014) iki farklı malzeme olan kompozit ve alüminyum plakalar farklı yapıştırıcılar kullanarak yapıştırılmış ve dayanımlarını araştırmışlardır. Bağlatılar için kırılma ve sünek yapıştırıcılar olan AV138 ve Araldite 2015 yapıştırıcılar

kullanmışlardır. Birleştirme işleminde kullanılan yapıştırıcıların bağlantı açıları farklılık göstermektedir ve bağlantı açılarının mekanik dayanımına etkileri incelemişlerdir. Abagus yazılımı ile kesme ve soyulma gerilmeleri bularak ve sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal analizi yapmış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. AV138 yapıştırıcı ile yapılan çalışmada 30° de daha iyi mekanik sonuç elde edilirken Araldite 2015 yapıştırıcı ile yapılan çalışmada 45° açı ile daha iyi mekanik sonuç elde edildiği gözlemlenmiştir [40].

İşcan B. ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada üç farklı yapısal yapıştırıcıların karıştırma sırasında oluşan gaz boşluklarını gidererek mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Üç farklı yapıştırıcı olarak epoksi, 2 Ton epoksi ve welder yapıştırıcılarını karşılaştırmışlardır. Deneyler sonucu elde edilen birim-şekil değişim grafiğinde, üç farklı yapıştırıcının da eğrileri yaklaşık olarak aynı değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Fakat Welder yapıştırıcının mekanik değerlerinin daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. 2 ton epoksi yapıştırıcısının birim şekil değişim grafiğinde ise kullanılan diğer yapıştırıcılarla karşılaştırıldığında daha düşük değerde olduğunu tespit etmişlerdir. Dayanım iyi olması istenilen alanlarda welder yapıştırıcı, dayanım fazla önemsenmediği alanlarda ise 2 ton epoksi yapıştırıcı tercih edilebilir sonucuna varmışlardır [60].

Yue ve ark. (2014) yaptığı çalışmada karbon nanotüp ve grafen nanoplakadan farklı oranlarda kullanarak hibrit kompozit malzeme üretmişlerdir. Üretilen bu malzemelerin elektriksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Karbon nanotüp ve grafen nanoplakalarının 8,2 oranında katılması ile elde edilen kompozitin daha iyi mekanik sonuç elde edildiğini gözlemlenmiştir. Bu oranda gözlemlenen eğilme rijitliğinin artış gösterdiği, elektriksel sızmada ise azalma olduğunu ifade etmişlerdir [61].

Şenyurt M.A ve ark. (2017) çalışmasında farklı oranlarda nano elyaf, grafen nano partükül (GNP) ile güçlendirilmiş epoksi yapıştırıcıların mekanik dayanımını ve yapıştırıcı dayanımının farklı sıcaklıkların etkisi ile nasıl değişim gösterdiğini incelemişlerdir. AA 2024-T3 ve kompozit malzemenin tek bindirmeli bağlantılarının yapışma dayanımı tespit etmişlerdir. Kullanılan nano elyaf, grafen nano partükül dolgu malzemeleri ağırlıkça %1, %3 ve %5 oranında katmışlardır. Tek taraflı bindirme

bağlantılarında GNP ve nano elyaf katkılı epoksi yapıştırıcının mekanik değerlerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir [16].

Alfano M. (2018) çalışmasında otomotiv sektöründe farklı özellikte olan malzemelerin birleştirilmesi için farklı tip yapıştırıcılar tercih etmiştir. Çalışmada çift ve tek bileşenli akrilik yapıştırıcıların farklı kürleşmesine göre mekanik özelliklerini araştırmıştır. Galvanizli çelikle imal edilen parçaların birleşiminde akrilik yapıştırıcıların daha iyi mekanik sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Bu çalışmada yapıştırıcıların kırılma dayanımları araştırılırken yapışkan kalınlığının da önemli olduğu sonucuna kanaat getirmiştir [47].

Aydın M.D. ve ark. (2015) çalışmalarında üç farklı özellikte ki yapıştırıcının mekanik özelliklerini deneysel çalışmalar yaparak incelemişlerdir. İlk başta FM 73 yapıştırıcı ile deneyler yapmışlar ve diğer akademik çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Daha sonra SBT 9244, DP 460 yapıştırıcılar ile deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda yapıştırıcıların gerilme-gerinme davranışlarını gözlemlemişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda gözlemlenen; DP 460, SBT 9244 yapıştırıcısına göre daha gevrek yapıştırıcı olduğunu tespit etmişlerdir [1] .

Ayaz Y. ve ark. (2015) araştırmalarında hasar görmüş malzemeler ve parçaların tamiratı için tercih edilen yapıştırıcıların, çift bindirmeli birleştirme bağlantılarında oluşan gerilme analizi yapmışlardır. Alüminyum alaşımların tamiratında yama malzemesi olarak paslanmaz çelik tercih etmişlerdir. Yapıştırıcı malzemesi olarak FM 73 OST ve CYTEC yapıştırıcılar kullanmışlardır. Farklı tip yapıştırıcılardan; esnek olan yapıştırıcı bağlantının uç kısımlarına sert olan yapıştırıcı ise bağlantının orta kısmına uygulanarak deneysel çalışma yapmışlardır. Tek tip yapıştırma bağlantı elemanlarına göre daha fazla yük taşıdığını tespit etmişlerdir. Çalışmada yama kalınlığı, bindirme uzunluğu, parça kalınlığı, ara parça boyu gibi özellikleri yapışma dayanımını ve mukavemete etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak kapak kalınlığı, ara parça boyu arttıkça hasar yükünde azalma olduğunu, parça kalınlığı ve bindirme uzunluğunun da artmasıyla hasar yükünde de artış olduğunu gözlemlemişlerdir [62].

Viljanma ve Arkadaşları (2002) biyo bozunur HMA malzemesinin mekanik özelliklerinin ambalaj uygulamaları için uygunluğunu araştırmışlardır. Çalışmada 160°C’de 15 dk boyunca eritilen yapıştırıcıyı mukavvaların yüzeyine uygulamışlardır. Yapıştırıcı uygulanan mukavvalar silindire sıkıştırılmış ve soğutulmuştur. Elde edilen mukavvalar çekme testine tabi tutulmaları için test numuneleri kesilmiştir. Test numuneleri %50 nem ve oda sıcaklığında 4 saat bekletmişlerdir. Yapıştırıcının uygulama ve katılma sürelerinin ölçümleri yapmışlardır. Mukavvaya uygulanan yapıştırıcı kalınlığı 2mm olarak ayarlanarak 160°C’de ve 1 bar basınç altında uygulanmış ve yapıştırıcı uygulama süresi ile katılma süreleri sırasıyla 1,2-1,4sn ve 30-35sn de uygulama süresi tespit edilmiştir. Yapıştırıcının uzun katılma süresi ve orta seviyede uygulama sıcaklığı ile HMA’larda çok iyi sıcak yapışma olduğunu gözlemlemişlerdir. Gıda sektöründe paketlemede yapıştırıcı bozunması paketlerin raf ömrünü azaltacağı bilindiğinden bu çalışmada yapılan HMA’ların kullanılması raf ömrünü ve artmakta olan çevre problemleri için avantaj sağladığını tespit etmişlerdir [63]

Wang ve Pidaparti, (2002), V-tipi çentik açılmış yamasız ve kompozit yama kullanılan 7075-T6 alüminyum alaşım numunelerin statik ve yorulma yükleri altında test ve deneylerini yapmışlardır. Çentik açılmış numunelerin statik ve yorulma değerlerini analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan test ve deneyler sonucunda kompozit yamalı numunelerin mukavemet değerlerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir [64].

Hadavinia ve ark., (2003), yapılan bu çalışmada epoksi yapıştırıcı ile alüminyum alaşımlı plakaların tek tesirli bindirme bağlantılarındaki yorulma çatlak başlangıcı ve ilerleyişini sonlu elemanlar yaklaşımı kullanılarak incelemişlerdir. Yapıştırıcı yorulma ömrünü analitik ve sayısal verilerin tahmini değerleri üzerinde çalışmışlardır [65].

Mengel ve ark., (2007), mil-göbek bağlantılarında yapışma bağlantı elemanlarının mekanik değerleri incelemişlerdir. Yapıştırma elemanı olarak tek bileşenli anaerobik yapıştırıcısı ve iki bileşenli epoksi yapıştırıcısı tercih etmişlerdir. Yapıştırılan malzeme olarak ise alüminyum – magnezyum alaşımlı metal göbek kısmında kullanmış, şaft olarak ise CK45 çeliği kullanmışlardır. Yapışma işlemi, farklı kütleme basınçları altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bağlantı numuneleri statik ve çevrimsel yüklere maruz

birakıldıktan sonra test ve deneye tabi tutulmuştur. Test ve deneyler sonucu incelendiğinde, yapışma işlemindeki kürleşme basınç değerlerindeki sonuç olarak ise hidrostatik basıncın atmosferik basınca göre yorulma dayanımının daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir [66].

Veer ve Zuidema, (2008), yaptıkları çalışmalarında, asimetrik çift takviyeli bindirmeli yapıştırma bağlantı şeklini kullanmışlardır. Yapıştırma bağlantı elemanında yorulma davranışı ve kayma mukavemeti test ve deneyler yapılarak araştırmışlardır. Yapıştırma bağlantısında, bağlantıların orta kısmın parçalarını polikarbonat, kenar parçalarını cam olarak seçmişlerdir. Yapıştırma elemanı olarak da DELO photobond 4455 yapıştırıcı tercih etmişlerdir. Yapılan deney ve test sonucunda yapıştırma bağlantılarının yorulma ömrü ve maksimum kayma gerilme dayanımları arasında herhangi bir ilişki olmadığını tespit etmişlerdir [67].

Bezemer ve Ark. (1998) çalışmalarında, beş farklı kalınlıktaki numuneyi üç çeşit yapıştırma elemanı ile üç farklı teste tabi tutmuşlardır. Yapılan testler neticesinde silindirik çubuk numunesinin darbe testinde daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Aynı darbe hızı uygulanan numunelerden poliüretan ile 0,5mm yapıştırıcı kalınlığı ile elde edilen numunelerde darbe enerjisindeki enerjiyi en iyi absorbe ettiğini gözlemlemişlerdir. Epoksi yapıştırıcı için maksimum yapıştırma kalınlığı ise 0,25mm olarak tespit etmişlerdir. Hava tabancası uygulanan testlerde 15J'lük darbe enerjisi uygulandığı zamanlarda epoksi ile yapıştırılan numunelerin 0,1mm yapıştırma kalınlığında ağırlık düşürme testine kıyasla statik yük değerine göre %90 daha fazla enerji absorbe ettiği testler sonucunda görülmüştür. Yapılan test ve deneyler sonucunda yüksek test hızlarında daha yüksek enerji absorbe edildiği gözlemlenmiştir [68].

Mazumdar ve Mallick (1998) kompozitlerin yapıştırma tekniği ile birleştirilen bağlantıları elemanları üzerine çalışmışlardır. Epoksi yapıştırıcı elemanı ile iki kompozit (SMC) plaka birleştirilip, yorulma ve statik dayanımları test ve deneyler sonucunu incelemişlerdir. Elde edilen veriler sonucunda, statik kopma mukavemetinin yapıştırıcı kalınlığının önemli olduğu kadar bindirme uzunluğunda önemli olduğu tespit etmişlerdir. Elde edilen numunelerin 0,33 yapıştırıcı kalınlığında, yapıştırıcının

maksimum kesme dayanımı olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapıştırma bağlantısının 106N yük altındaki yorulma dayanım değeri ve statik dayanım değeri %50 ile %54'ü arasında farklılık olduğunu gözlemlemişlerdir [69].

Kwon ve Lee (2000) çalışmalarında yapıştırıcı olarak epoksi reçine ve yapıştırma elemanı olarak ise çelik silindirik malzemeler kullanmışlardır. Malzemeler burulma yorulmasına maruz bırakılarak yapılan testler sonucunda maksimum yorulma dayanımı $R_a = 3\mu\text{m}$ ve yapıştırıcı kalınlığı 0,17mm de olduğu tespit etmişlerdir. Yapılan test ve deneyler sonucunda, gerilme değerlerini teste tabi tutmuşlardır. Çalışmada yapıştırılan malzeme yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığının yorulma dayanımını incelemişlerdir. Pürüzlülük değerleri $R_a = 0,56-5\mu\text{m}$, yüzey pürüzlülük değeri ve yapıştırıcı kalınlığının etki ettiği gözlemlemişlerdir. Gerilme değerleri yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığı arttıkça düştüğünü gözlemlemişlerdir [70].

Li ve Lee-Sullivan (2001), Çalışmalarında yapıştırma bağlantı elemanı, tek tesirli bindirmeli yapıştırma tekniği ile yapıştırmışlardır. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantı ile elde edilen numunelere sonlu elemanlar yöntemi ile deneyler yapmışlardır. Tek tesirli bindirmeli yapıştırma işlemi ile elde edilen numuneleri iki boyutlu olarak incelemişlerdir. Tek tesirli bindirme bağlantı ile elde edilen numunelerin birim-şekil ölçer kullanılarak yapıştırma bağlantı elemanının birim-şekil değişimlerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada elde edilen birim-şekil değiştirme ve sonlu elemanlar yöntemi sonucunda elde edilen birim-şekil değişim verileri kıyaslamışlardır [71].

Wong vd (2004) bu çalışmada iletken yapıştırıcıların dinamik özellikleri ve darbeye karşı dirençlerini araştırmışlardır. Aynı zamanda yapıştırıcı malzemesinin sonlu elemanlar metodu ile elektronik devrelerini modellenmiş ve analizi yapmışlardır. Ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapıştırıcının vibrasyon frekansı gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak yüksek sönümleme özelliğine sahip olan yapıştırıcı malzemesinin vibrasyon frekansı aralığında daha iyi darbe dayanımı gösterdiğini tespit etmişlerdir [72].

Bagheri ve Marouf (2007) çalışmalarında epoksi yapıştırıcıları dayanımın önemsendiği alanlarda sıklıkla tercih edilen alüminyum levhaların birleştirilmesi için kullanmışlardır.

Kullanılan yapıştırıcı farklı tip kimyasallar ile özellikleri değiştirilmiştir. Ve elde edilen yapıştırıcı ile malzeme arasında ki dayanım ve yapıştırıcının mekanik davranışı darbe testi ile mekanik özellikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca yapıştırıcının ara yüzey kırılma enerjisi DCB (double cantilever beam) testine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak yapıştırıcı içine SiC parçacıklarının katılması ile ara yüzey kırılma enerjisinde azalma gözlemlenir iken plastik parçacıkların yapıştırıcı malzemesinin ara yüzey enerjisini arttırdığını gözlemlemişlerdir [73].

Apalak vd (2003), çalışmaları silindirik malzeme bağlantısı üzerinedir. Tek tesirli yapıştırma bağlantısının sonlu elemanlar metodu ile analizini yapmışlardır. Çalışma sonucunda silindirik malzemenin tek tesirli yapıştırma bağlantısında ki yapıştırıcı tabakanın serbest uç noktalarında gerilme yığılmaları ve bu bağlantıda deformasyonların oluştuğu tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra yapıştırıcı kalınlığının ve bindirme uzunluğunun artmasıyla gerilme değerlerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir [74].

Kihara vd (2003) yapılan bu çalışmada, yapıştırıcı bağlantı elemanın darbe ve yük altında kayma gerilmelerinin ölçümünü kolaylaştırmak için deneysel ekipmanlar bulmuşlardır. Deneysel çalışmada yapıştırılacak numuneler üstünde gerilme gideren çatlak olan iki tane dikdörtgen malzeme ve bir tane hegzagonal prizmadan oluşmaktadır. Daha sonra bu ekipmanın güvenilirliği ve doğruluğunu tespit etmek için sonlu elemanlarda elde edilen sonuçlar ve ekipmanlar ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak ise her ikisinde de elde edilen bağlantılardaki kırılma davranışı ve gerilme dalgasının seviyesine bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir [75].

Ramani ve Zhao (1997) yapıştırma bağlantı çalışmasında yapıştırılacak numunelerin yüzeyinin hazırlanması, kürleşme süreleri, birleştirme esnasında uygulanan basıncın bağlantının dayanımını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Kullanılan malzeme ve yapıştırıcıların mekanik özellikleri önem arz etmektedir. Çalışmada kullanılan yapıştırıcı ve malzeme bahsedilen özelliklere göre yapıştırılmış ve sonuç olarak yapıştırıcı ve malzeme ara yüzeyinde artık gerilmelerin oluştuğu ve elde edilen dokuz farklı yapışma bağlantısının her bir numune üzerinde farklı etkiler oluştuğunu gözlemlemişlerdir [76].

1.15. AMAÇ

Çalışmada; ASTM D5868 standardına göre imal edilmiş tek taraflı bindirme bağlantılarında yüzey pürüzlülüğünün, yapıştırılan malzemenin ve yapıştırıcı içine katılan dolgu malzemelerinin yapışma dayanımına etkisi deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Alüminyum alaşım numune yüzeylerine uygulanan kimyasal, mekanik ve hibrit aşındırma işlemi uygulanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ve SYE değerleri bulunarak SYE'nin yapışma dayanımına nasıl etki ettiği ve yüzey pürüzlülük değerinin optimum hangi değerde daha iyi sonuç verdiği araştırılmıştır.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma sırasında kullanılan malzemeler, kimyasallar, mekanik aşındırıcı ve kullanılan cihazlar hakkında bilgiler bu bölümde verilmektedir.

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. AA7075-T6 plaka

AA 7075-T6 hafif ve kolay işlenebilir olması, yüksek dayanıma sahip olması, korozyon direncinin yüksek olması gibi sebeplerden otürü havacılık ve otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: AA7075-T6 Plaka

Seykoç firmasından tedarik edilen alüminyum alaşımların kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 2.1-2.2’ de verilmiştir.

Tablo 2.1: AA7075-T6 Mekanik Özellikleri

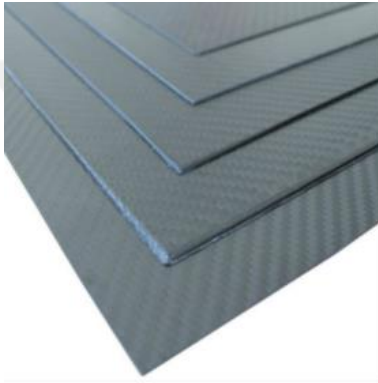
Mekanik Özellikler	
Çekme akma dayanımı, σ_y [MPa]	460-505
Çekme kopma mukavemeti, σ_f [MPa]	530-570
Çekme gerilme uzaması, ϵ_f [%]	10
Vickers sertliği, [HV]	140-160

Tablo 2.2: AA7075-T6 Kimyasal Bileşeni

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Zi+Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	1,2-2,9	0,3	2,1-2,9	5,1-6,1	0,18-0,28	0,25	0,15	Kalan

2.1.2.Karbon Fiber Plaka

Çalışmada mühendislik, mimarlık, denizcilik, havacılık, medikal, modelcilik, makine, IHA, drone, motor sporları da dahil olmak üzere geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan 0/90°' li karbon fiber düz dokuma kompozitler (CFFR) kullanılmıştır. Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. Ltd. Şti. tarafından üretilmiş olup, kürleşmesi 100°C'de 1 saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir. CFFR kompozit toplam kalınlığı 2 ± 0.2 mm'dir (Şekil 2.2). AA 7075-T6 ve CFFR kompozit plakalar ASTM D5868 standartlarına uygun şekilde 125*25*2mm boyutlarına getirilmiştir.



Şekil 2.2: Karbon Fiber Plaka

Çalışmada kullanılan CFFR kompozit malzemesinin mekanik özellikleri Tablo 2.3' de verilmiştir.

Tablo 2.3: Alüminyum Alaşım 7075-T6 Mekanik Özellikleri

Özellikleri	Karbon fiber plaka
Young modülü, E [GPa]	70.07 ± 0.83
Poisson oranı, ν	0.3
Çekme akma dayanımı, σ_y [MPa]	261.67 ± 7.65
Çekme kopma mukavemeti, σ_f [MPa]	324.00 ± 0.16
Çekme gerilme uzaması, ϵ_f [%]	21.70 ± 4.24
Vickers sertliği, [HV]	100

2.1.3. Karbon Fiber Toz

Karbon fiber toz, 100-400µm boyutlarında olup, epoksi ve polyester gibi reçine sistemlerinde çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Yüksek performanslı termoset ve termoplastik malzemelerin imalatlarında dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Elektrik

iletkenliğinin, aşınma dayanımının önemli olduğu alanlarda kullanımı sıklıkla tercih edilmektedir. Karbon fiber toz, Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. Ltd. Şti' den tedarik edilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Toz Karbon Fiber

2.1.4. Karbon Fiber Kırpılmış Elyaf

Karbon fiber elyaf 3mm boyutlarındadır. Karbon fiber kırpılmış elyafın mukavemeti, aşınma direnci elektrik iletkenliği gibi birçok özelliğinden dolayı endüstriyel alanlarda, termoset ve termoplastik malzemelerin mekanik olarak güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Karbon fiber kırpılmış elyaf Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. Ltd. Şti' den tedarik edilmiştir (Şekil 2.4).



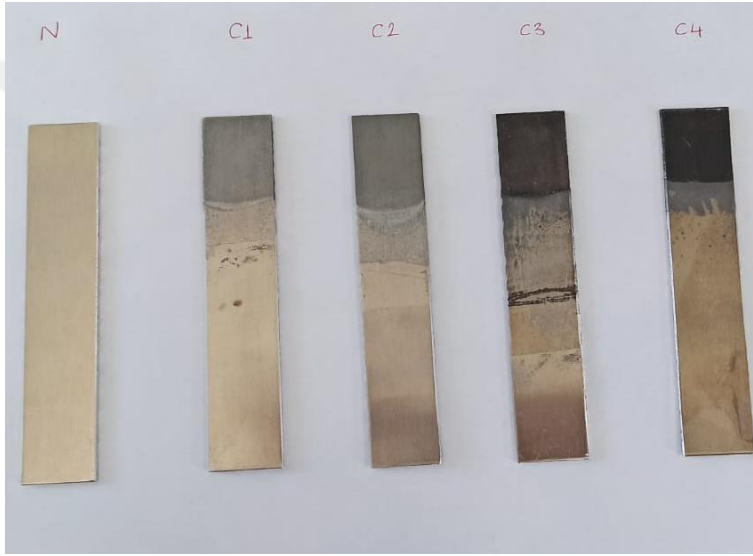
Şekil 2.4: Kırpılmış Karbon Fiber

2.1.5. Yüzey Temizleme İşlemleri

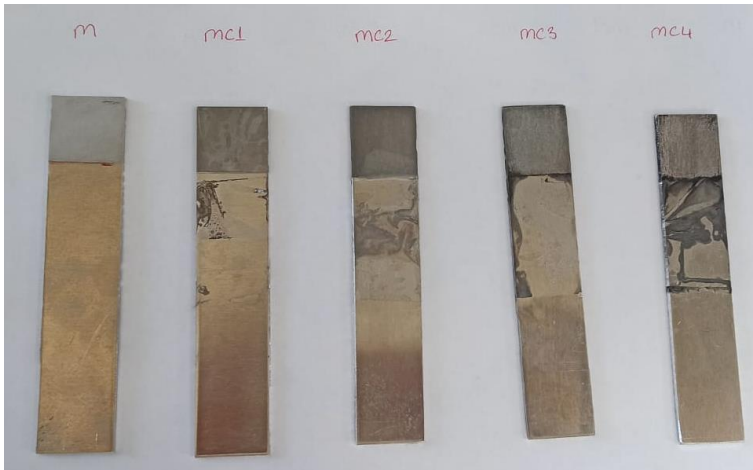
Çalışmada, yapıştırma işleminden önce numune yüzeylerini yağ ve kirden arındırmak amacıyla %99 saflıkta teknik aseton kullanılmıştır. Numunelerin yüzeyleri son olarak hava kompresörü ile temizlenmiştir.

2.2. Yüzey Hazırlama

Çalışmada AA7075-T6' dan 125*25*2mm ebatlarında hazırlanan parçalara hem kimyasal hem mekanik hemde hibrit yüzey iyileştirme işlemleri uygulanmıştır. Yüzey işlemlerinden, mekanik yüzey iyileştirme işlemi olarak kumlama 5µm boyutlarında AL_2O_3 kum püskürtülerek yapılmıştır. Kimyasal aşınma deneylerinde ise 0.5 ve 1.0 molaritedeki HCl ve NaOH çözeltileri yüzey dağlama işlemlerinde kullanılmıştır. Şekil 2.5 ve Şekil 2.6' da çalışma sırasında yapılan kimyasal, mekanik, hem kimyasal hem mekanik yani hibrit yüzey aşınma işlemleri uygulanan numune yüzeyleri görülmektedir.

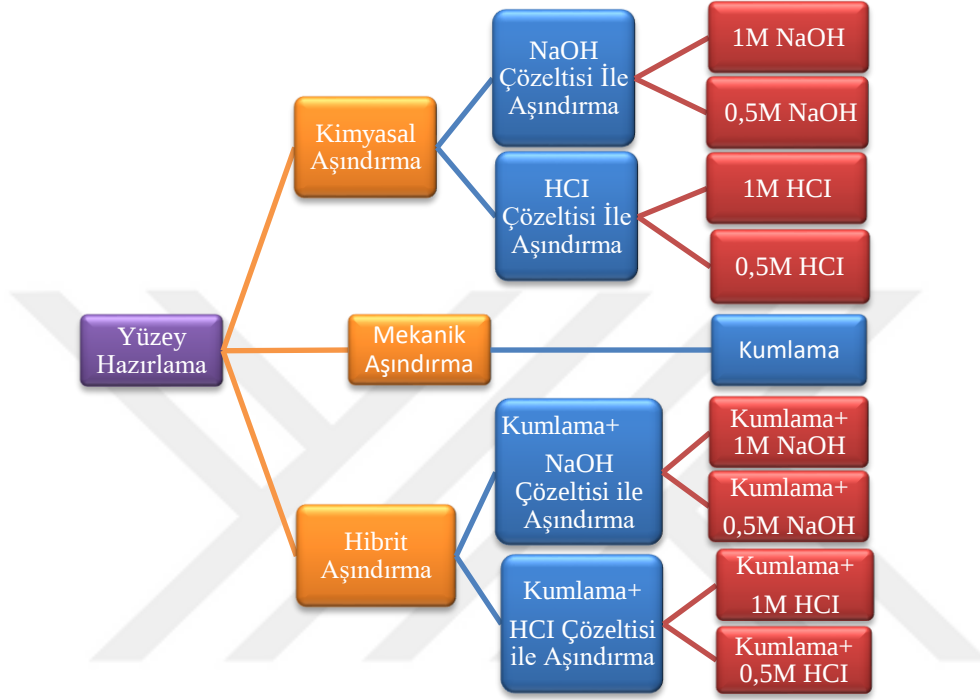


Şekil 2.5: İşlemsiz ve Kimyasal Yüzey Hazırlama İşlemi Yapılmış Numune Görüntüleri



Şekil 2.6: Mekanik ve Hibrit Yüzey Hazırlama İşlemi Yapılmış Numune Görüntüleri

Numunelere uygulanan yüzey aşındırma işlemleri Şekil 2.7’ de şematik olarak gösterilmiştir. Numune yüzeylerine farklı molaritedeki bazik NaOH çözeltisi ile ve asidik HCl çözeltisi ile kimyasal aşındırma, kumlama yöntemi ile mekanik aşındırma ve en son olarak hibrit aşındırma işlemleri uygulanmıştır.



Şekil 2.7:Yüzey Hazırlama İşlemleri Şematik Gösterimi

2.2.1. Kimyasal Aşındırma

Kimyasal aşındırma işlemleri alüminyum alaşım numuneleri Şekil 2.8’ de gösterilen ultrasonik banyoda %99.6 saflıktaki asetonda 45 dakika boyunca bekletilerek üzerindeki yağ, kir ve tozlardan arındırılarak yapılmıştır.



Şekil 2.8:Ultrasonik Banyo

Yağ, toz ve kirlerinden arındırılan numuneler, yüzeyindeki asetondan ayrıştırılması için deiyonize su ile yıkanarak kurutulmuştur. Kurutulan alüminyum alaşım numune yüzeyleri 0.5, 1.0 molaritelerde HCl ve NaOH çözeltilerinde ultrasonik banyoda 55°C’ de 10’ar dakika bekletilerek yüzeylerinde aşındırma işlemi uygulanmıştır. Numunelerin aşındırma işleminden hemen sonra reaksiyonu durdurmak için 10 dakika deiyonize suya daldırılmıştır. Aşındırma işleminden sonra numunelerin yüzeyinde oluşan kir ve tozdan arındırmak için ultrasonik banyoda asetonda 10’ar dakika bekletilmiştir. Numuneler asetondan ayrıştırılması için deiyonize su ile yıkanmış ve yumuşak bir fırça ile fırçalanmıştır. Son olarak asetondan tamamen ayrıştırılması içinde oda sıcaklığında bekletilmiştir.

2.2.2. Mekanik Aşındırma

Kocaeli’de bulunan TİM Makine’ de numune yüzeyleri kumlama işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 2.9). Kumlama işleminden sonra yüzeyde oluşan kir ve yağdan arındırmak için yüzeyler saf aseton ile temizlenmiş ve daha sonra asetondan tamamen arındırılmak için deiyonize suda yıkanarak oda sıcaklığında kuruması sağlanmıştır. Son olarak numunelerin üzerinde kalan toz tanecikleri hava kompresörü ile temizlenmiştir.



Şekil 2.9: Kumlama Numune Yüzeyi

2.2.3. Araldite 2015 Yapıştırıcı

Çalışmada Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. Ltd. Şti’nden tedarik edilen Araldite 2015 epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 2.10). Araldite 2015, karbon fiber, metal, ahşap, alüminyum gibi birçok malzemenin birleştirilme işlemlerinde kullanılan bir yapıştırıcı türüdür.



Şekil 2.10:Araldite 2015

Araldite 2015 epoksi yapıştırıcının mekanik özellikleri Tablo 2.4’ de verilmiştir.

Tablo 2.4: Araldite 2015 Mekanik Özellikleri

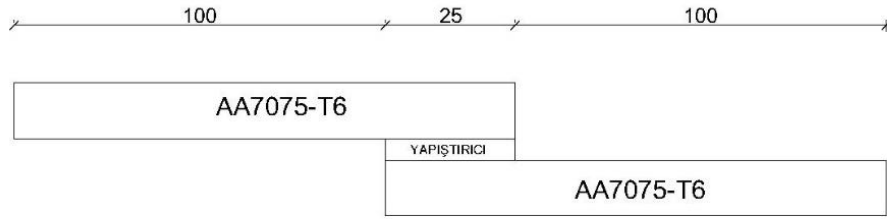
Özellikleri	Araldite 2015 epoksi
Young modülü, E [GPa]	1.85±0.21
Poisson oranı, ν	0.33 ^a
Çekme, akma gerilimi, σ_y [MPa]	12.63±0.61
Çekme mukavemeti σ_f [MPa]	21.63±1.61
Çekme gerilme uzaması, ϵ_f [%]	4.77±0.15
Kesme modülü, G [GPa]	0.70 ^b
Kesme verimi gerilimi, τ_y [MPa]	14.6±1.3
Kesme mukavemeti, τ_f [MPa]	17.9±1.8
Kesme başarısızlığı γ_f [%]	43.9±3.4
Gerilimde tokluk, G_{IC} [N/mm]	0.43±0.02
Kesme dayanımı, G_{IIC} [N/mm]	4.70±0.34

Bu çalışmada yapıştırıcı kalınlığı 0.15mm olarak ayarlanmıştır. Yapıştırıcının çalışma süresi 23°C de 35’ dakikadır. Yapıştırmış numuneler 24 saat boyunca kalıplarda 5kg ağırlık konularak bekletilmiştir.

2.2.4. Yapıştırıcı Karıştırma İşlemleri

Dolgu katkılı yapıştırıcıların hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken önemli unsurlardan biride dolgu malzemelerin yapıştırıcı içinde homojen olarak dağılmasıdır. Yapılan bu çalışmada ise Araldite 2015 yapıştırıcı, Tablo 2.5’deki oranlarda hassas terazi ile sertleştirici ve epoksi ayarlanarak önce beş dakika elle daha sonra içindeki kabarcıklar giderilene kadar mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Dolgu katkılı yapıştırıcılar da

Tablo 2.5’de görüldüğü gibi %50 epoksi, %50 sertleştirici karıştırılmıştır daha sonra elde edilen sertleştirici ve epoksi karışımın içine dolgu malzemesi olarak ise yapıştırıcı içine ağırlıkça %1 oranında karbon fiber kırılmış ve toz dolgu malzemeleri hassas terazi ile ayarlanarak 5 dakika elle daha sonra ultrasonik karıştırıcı ile hava kabarcıkları giderilene kadar karıştırılmıştır. Elde edilen dolgulu ve dolgusuz yapıştırıcılar ile Şekil 2.11’ de görüldüğü gibi tek bindirmeli yapıştırma bağlantısı elde edilmiştir.



Şekil 2.11:Yapıştırma Bağlantı Şekli

Tablo 2.5:Yapıştırıcı Karıştırma Oranı

Yapıştırıcı	Dolgu malzemesi	Karışım oranı Epoksi:A Sertleştirici:B Dolgu malzemesi:C	Kürleme sıcaklığı/süresi
Araldite 2015	Dolgusuz	A:B= 1:1 C=%0 (dolgusuz)	Oda sıcaklığı/24 saat
	Karbon fiber toz	A:B= 1:1 C=%1 (toplam ağırlıkça %)	Oda sıcaklığı/24 saat
	Karbon fiber kırılmış	A:B=1:1 C= %1(toplam ağırlıkça %)	Oda sıcaklığı/24 saat

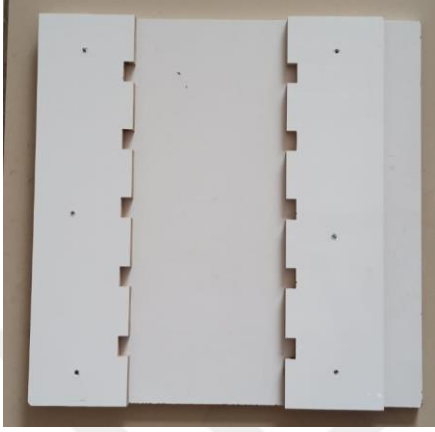
Karbon fiber plaka ve farklı yüzey işlemlerine tabi tutularak hazırlanan AA7075-T6, iki farklı dolgu malzemeleri kullanılarak yapıştırma gerçekleştirilmiştir. Buna göre yapılan deneyler Tablo 2.6’ de ki gibi kodlanmıştır.

Tablo 2.6: Deney Kodları

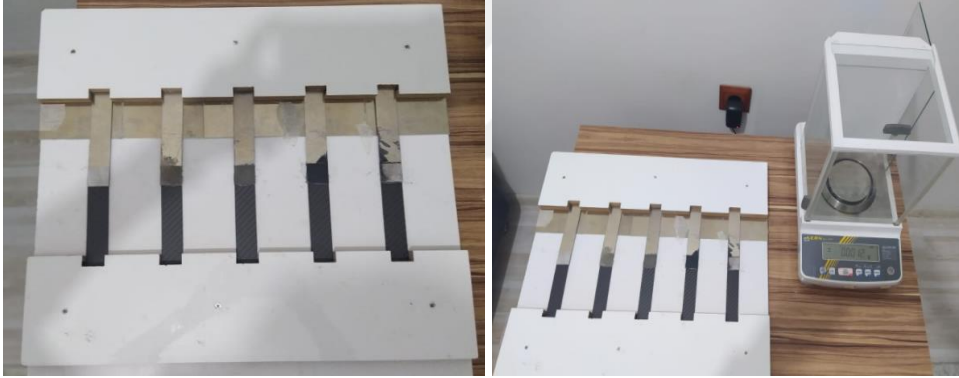
Yapıştırıcı	Malzeme	Dolgu	Yüzey işleme		Deney kodu
ARALDİTE 2015	AA 7075–T6	Dolgusuz	İşlemsiz	-	N
			Kimyasal dağlama	0,5 M HCl	C1
				1 M HCl	C2
				0,5 M NaOH	C3
				1 M NaOH	C4
			Mekanik yüzey işleme	Kumlama	M
			Mekanik+ Kimyasal dağlama	Kumlama+ 0,5 M HCl	MC1
				Kumlama+ 1 M HCl	MC2
				Kumlama+ 0,5 M NaOH	MC3
				Kumlama+ 1 M NaOH	MC4
		Karbon Fiber Nano Toz	İşlemsiz	-	N-Kp
			Kimyasal dağlama	0,5 M HCl	C1-Kp
				1 M HCl	C2-Kp
				0,5 M NaOH	C3-Kp
				1 M NaOH	C4-Kp
			Mekanik yüzey işleme	Kumlama	M-Kp
			Mekanik+ Kimyasal dağlama	Kumlama+ 0,5 M HCl	MC1-Kp
				Kumlama+ 1 M HCl	MC2-Kp
				Kumlama+ 0,5 M NaOH	MC3-Kp
				Kumlama+ 1 M NaOH	MC4-Kp
		Karbon Fiber Elyaf	İşlemsiz	-	N-Kf
			Kimyasal dağlama	0,5 M HCl	C1-Kf
				1 M HCl	C2-Kf
				0,5 M NaOH	C3-Kf
				1 M NaOH	C4-Kf
			Mekanik yüzey işleme	Kumlama	M-Kf
			Mekanik+ Kimyasal dağlama	Kumlama+ 0,5 M HCl	MC1-Kf
				Kumlama+ 1 M HCl	MC2-Kf
				Kumlama+ 0,5 M NaOH	MC3-Kf
				Kumlama+ 1 M NaOH	MC4-Kf
ARALDİTE 2015	AA 7075 – T6 +Karbon Fiber Plaka	Dolgusuz	İşlemsiz	-	N/H
			Kimyasal dağlama	0,5 M HCl	C1/H
				1 M HCl	C2/H
				0,5 M NaOH	C3/H
				1 M NaOH	C4/H
			Mekanik yüzey işleme	Kumlama	M/H
			Mekanik+ Kimyasal dağlama	Kumlama+ 0,5 M HCl	MC1/H
				Kumlama+ 1 M HCl	MC2/H
				Kumlama+ 0,5 M NaOH	MC3/H
				Kumlama+ 1 M NaOH	MC4/H
		Karbon Fiber Nano Toz	İşlemsiz	-	N-Kp/H
			Kimyasal dağlama	0,5 M HCl	C1-Kp/H
				1 M HCl	C2-Kp/H
				0,5 M NaOH	C3-Kp/H
				1 M NaOH	C4-Kp/H
			Mekanik yüzey işleme	Kumlama	M-Kp/H
			Mekanik+ Kimyasal dağlama	Kumlama+ 0,5 M HCl	MC1-Kp/H
				Kumlama+ 1 M HCl	MC2-Kp/H
				Kumlama+ 0,5 M NaOH	MC3-Kp/H
				Kumlama+ 1 M NaOH	MC4-Kp/H
		Karbon Fiber Elyaf	İşlemsiz	-	N-Kf/H
			Kimyasal dağlama	0,5 M HCl	C1-Kf/H
				1 M HCl	C2-Kf/H
				0,5 M NaOH	C3-Kf/H
				1 M NaOH	C4-Kf/H
			Mekanik yüzey işleme	Kumlama	M-Kf/H
			Mekanik+ Kimyasal dağlama	Kumlama+ 0,5 M HCl	MC1-Kf/H
				Kumlama+ 1 M HCl	MC2-Kf/H
				Kumlama+ 0,5 M NaOH	MC3-Kf/H
				Kumlama+ 1 M NaOH	MC4-Kf/H

2.2.5. Yapıştırma Bağlantısı ve Kürleme İşlemi

125*25*2 mm boyutlarına getirilen numuneler, Şekil 2.12’de gösterilen kalıp kullanılarak yapıştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.



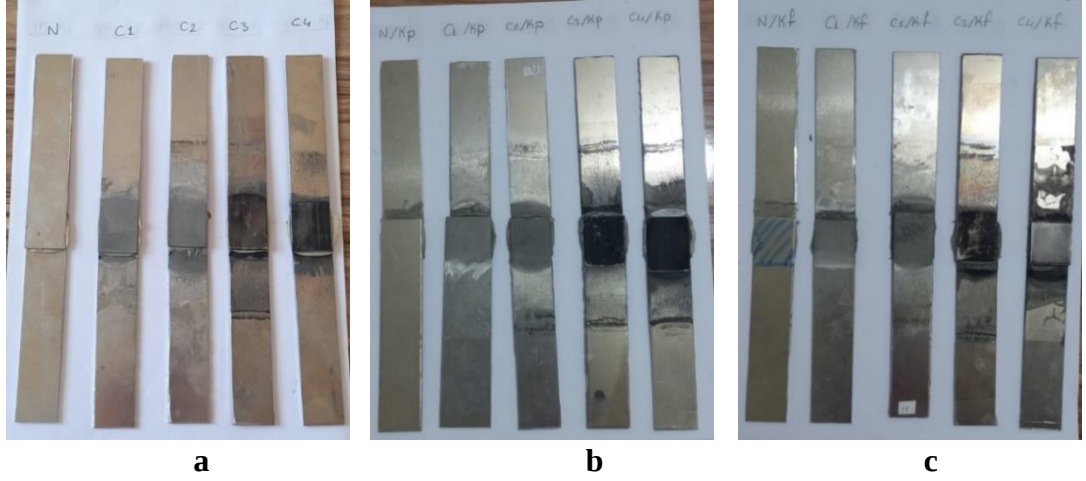
Şekil 2.12:Yapıştırma Kalıbı



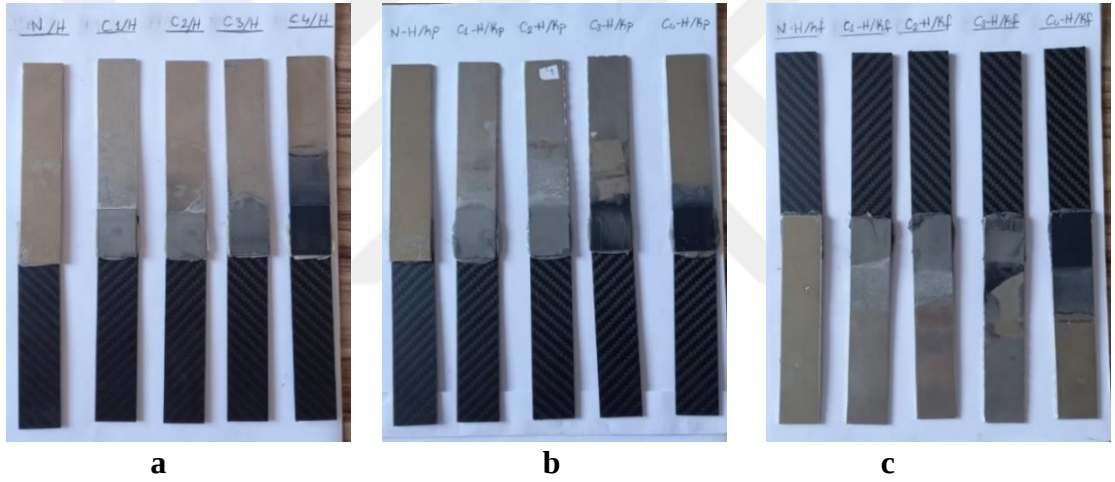
Şekil 2.13: Kalıp ve Numune Resimleri

Bu çalışmada yapıştırma bağlantılarının düzgün ve aynı şekilde olması için yaptırılmış kalıp şekil 2.13’de ki gibidir.

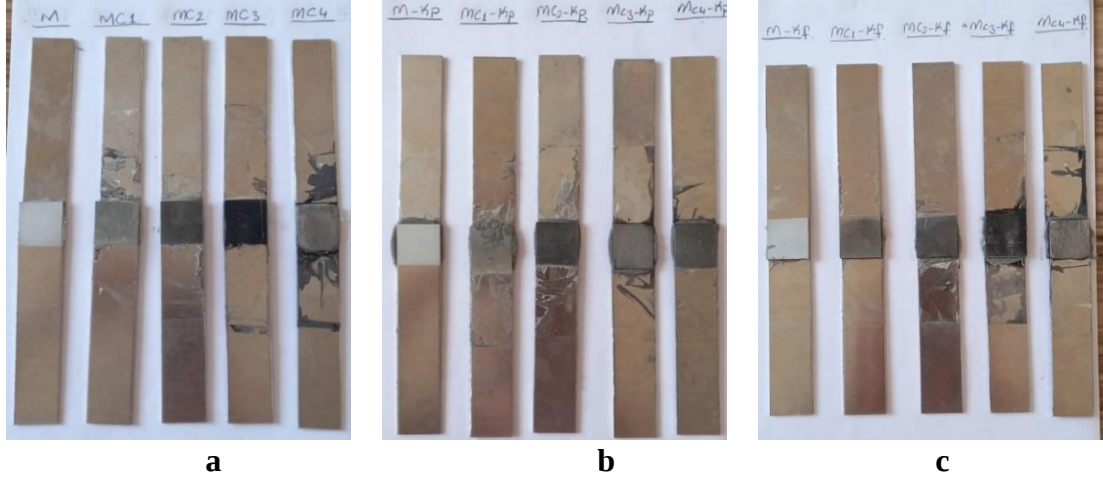
Alüminyum alaşım numunelerinin yüzeylerine kimyasal, mekanik ve hibrit aşındırma işlemleri gerçekleştirildikten sonra alüminyum-alüminyum ve alüminyum- karbon fiber plakalar 25x25 mm bindirme boyutlarına sahip olacak şekilde yapıştırılmıştır. Dolgulu ve dolgusuz yapıştırıcılar ile 180 tane numune kalıp yardımı ile yapıştırılmış ve yapıştırma işlemi sonrasında oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Yapıştırılan numuneler Şekil 14,15,16,17’de gösterilmiştir.



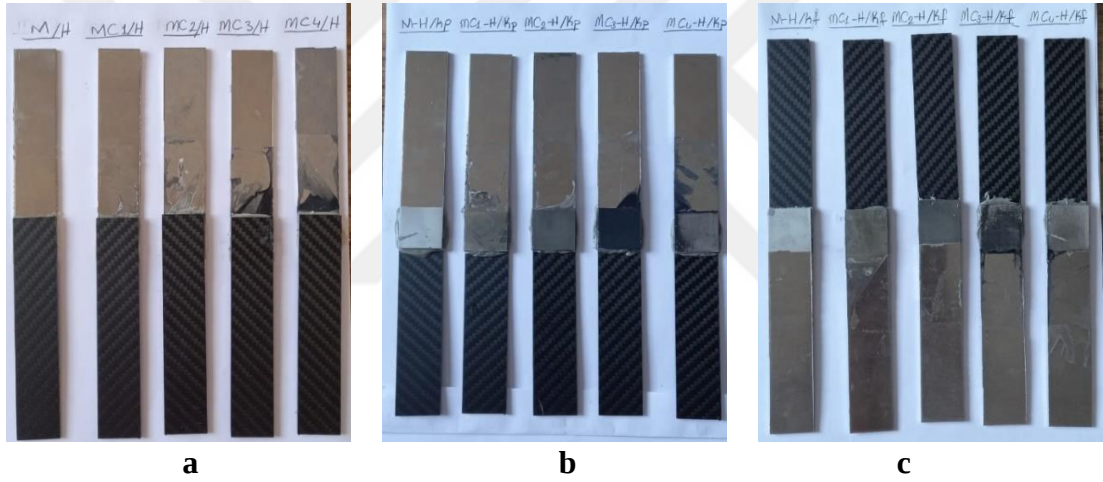
Şekil 2.14:İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış AA7075-T6 Ve AA7075-T6 Alaşımların Yapıştırma Bağlantıları (a-Dolgusuz b- Karbon Fiber Toz Dolgulu c-Karbon Fiber Kırpılmış Dolgulu).



Şekil 2.15:İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış AA7075-T6 ve Karbon Fiber Plakaların Yapıştırma Bağlantıları (a-Dolgusuz b- Karbon Fiber Toz Dolgulu c-Karbon Fiber Kırpılmış Dolgulu)



Şekil 2.16: Kumlama ve Hibrit Aşındırma Yapılmış AA7075-T6 ve AA7075-T6 Plakaların Yapıştırma Bağlantıları (a-Dolgunsuz b- Karbon Fiber Toz Dolgulu c-Karbon Fiber Kırpılmış Dolgulu)



Şekil 2.17: Mekanik ve Hibrit Aşındırma Yapılmış AA7075-T6 ve Karbon Fiber Plakaların Yapıştırma Bağlantıları (a-Dolgunsuz b- Karbon Fiber Toz Dolgulu c-Karbon Fiber Kırpılmış Dolgulu)

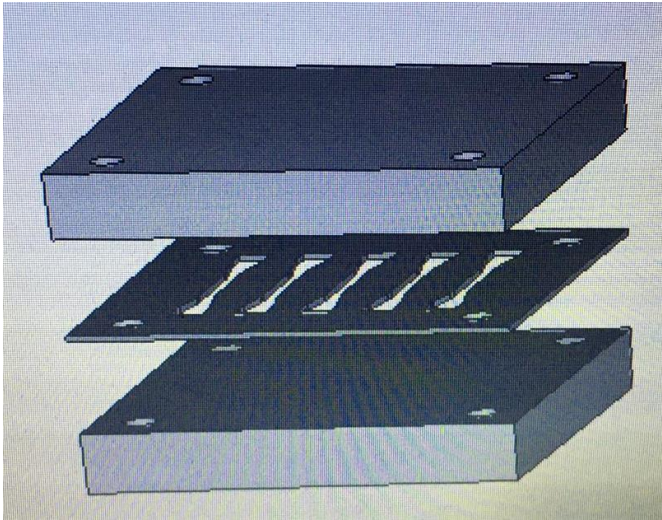
2.2.6. Bulk Numuneleri

Şekil 2.18’ da AGR İnoks Makina San.Tic. Ltd. Şti firmasında ISO2818 standartına uygun bulk numune kalıbı yaptırılmıştır.

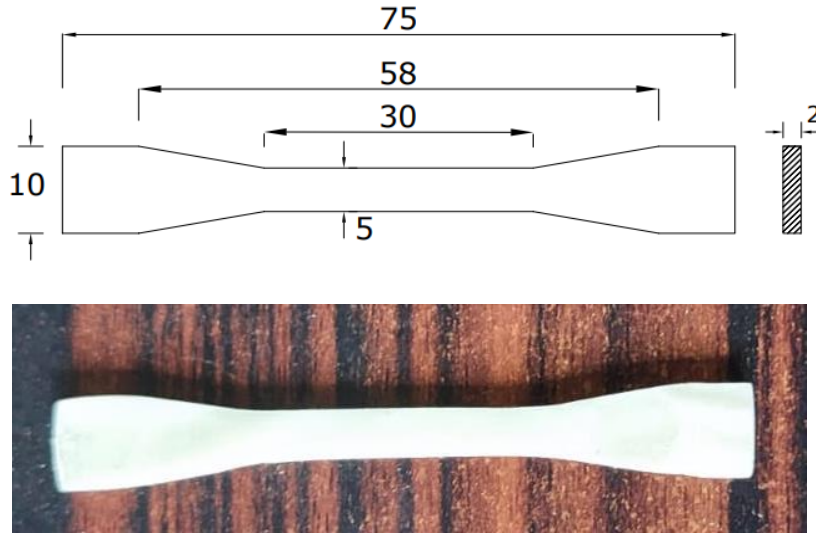


Şekil 2.18:Bulk Numune Kalıbı

Metalik malzemelerin, mekanik özelliklerini test etmek için çekme test cihazı ile deneyler yapılmaktadır. Yapılan deneylerin doğruluğunu anlamak için belirli standartlar geliştirilmiştir. Test edilecek numuneler standarda uygun şekillere getirilerek çekme testine tabi tutulurlar. Yapıştırma elemanlarının gerilme –şekil değişimi analizi için bulk numuneleri üretimi önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada ISO2858 standartlarına uygun köpek kemiği modeli Şekil 3.18’da gösterilen kalıp ile bulk numuneleri üretilmiştir. Bulk test numuneleri yapılmadan önce kalıbın hazırlanması gerekmektedir, bulk numune kalıbı silikon yağlayıcı ile yağlanarak yapıştırıcının kalıba yapışması önlenir. Kalıbın silikon yağlayıcı ile yağlanması yapıştırıcının kürleşme sonrası kalıptan çıkarılmasının kolay olmasını sağlamıştır. Şekil 2.19’de bulk numune kalıbı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.19: Bulk Kalıbının Şematik Gösterimi



Şekil 2.20: Bulk Numune Standartı ve Bulk Numunesi

2.3. Kullanılan Cihazlar

2.3.1. Temas Açısı Ölçüm Cihazı

Çalışmamızda 7075-T6 alüminyum alaşımlarının işlemsiz ve farklı yüzey iyileştirme işlemleri uygulanan deiyonize su ve kloroform sıvısı ile yaptığı temas açısı değerleri, Atatürk Üniversitesi DAYTAM araştırma merkezinde bulunan Şekil 2.21’de Biolin Scientific marka optik tansiyometre Theta Flex test cihazı ile ölçülmüştür. Her bir ölçümde 5 μ L deiyonize su ve kloroform damlatılarak yapılmıştır.

Farklı aşındırma işlemi görmüş numunelerin temas açıları deiyonize su ve kloroform sıvıları kullanılarak bulunmuştur. Katı yüzeylerin serbest yüzey enerjilerini Owens-Wendt-Rabel-Kaelble metodu ile hesaplarken kullanılan sıvıların yüzey gerilim parametrelerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Deiyonize su ve kloroform sıvıların yüzey gerilim ve parametreleri Tablo 2.7’de gösterilmiştir. Sıvıların yüzey enerjisi γ_s , dispersiv bileşeni γ_s^d ve polar bileşeni γ_s^p şeklindedir.

Tablo 2.7: Test Sıvılarının Yüzey Gerilim Parametreleri

Sıvı	γ_s^d	γ_s^p	γ_s
Deiyonize su	21,8	51	72,8
Kloroform	23,3	3,8	27,1



Şekil 2.21: Temas Açısı Ölçüm Cihazı

2.3.2.Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)

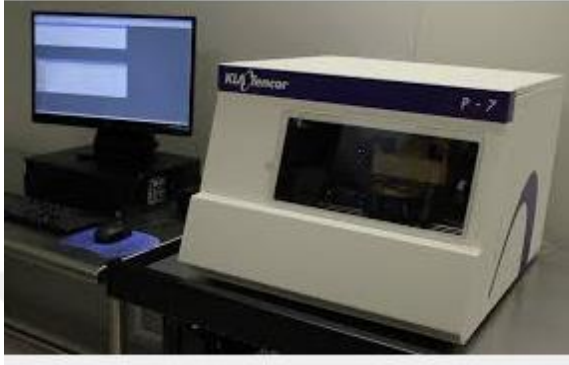
Yüzey iyileştirme yapılan numunelerin yüzey topografik görüntüleri Atatürk Üniversitesi DAYTAM araştırma merkezinde bulunan Şekil 2.22’de gösterilen Zeiss Sigma 300 marka SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.22:Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)

2.3.3. 3D Profilometre Test Cihazı

Yüzey iyileştirme yapılan alüminyum alaşım numunelerinin yüzey pürüzlülük görüntüleri Atatürk Üniversitesi DAYTAM araştırma merkezinde bulunan Şekil 2.23’de ki Kla tencor Stylus profiler P7 marka 3D Profilometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir



Şekil 2.23: 3D Profilometre Test Cihazı

2.3.4. Çekme Test Cihazı

Çalışmada yapıştırıcı bağlantılarının mekanik özelliklerini belirleyebilmek için Kafkas Üniversitesi Mühendislik Mimarlık fakültesine ait Atalyöde bulunan BESMAK marka BMT-E çekme test cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.24).

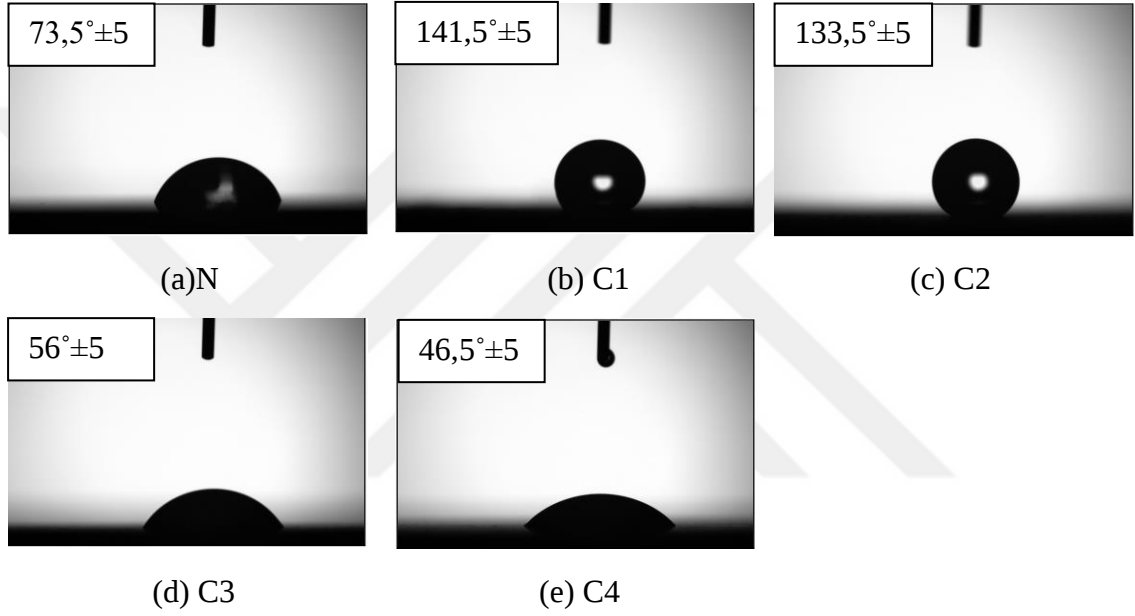


Şekil 2.24: Çekme Test Cihazı

3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

3.1. Temas Açısı Verileri

AA7075-T6 numuneler üzerine kimyasal ve mekanik aşındırma uygulanan farklı yüzeylerin temas açısı değerleri elde edilmiştir. Temas açısı değerleri saf su ve kloroform sıvıları kullanılarak, üç farklı bölgeden üç ölçüm alınarak yapılmıştır. Saf su ile elde edilen temas açısı görüntüleri ve açı değerleri Şekil 3.1 ve 3.2’de verilmiştir. Kloroform ile elde edilen temas açısı görüntüleri ve açı değerleri Şekil 3.3 ve 3.4’de verilmiştir.

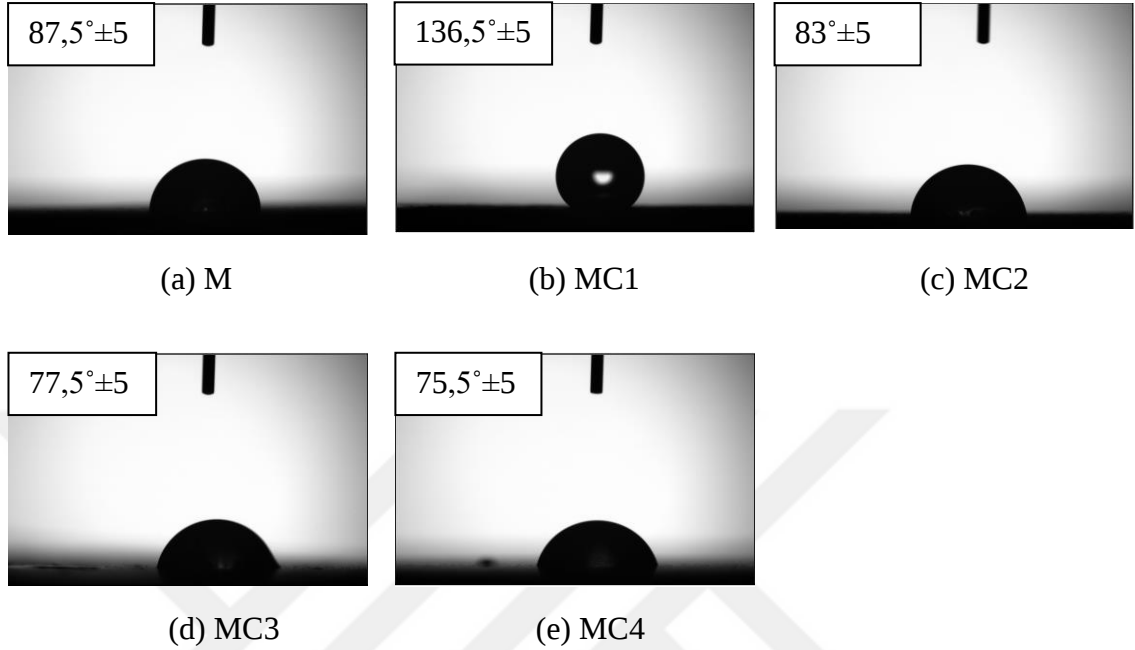


Şekil 3.1: İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinden Saf Su ile Elde Edilen Temas Açısı Görüntüleri

Saf su ile yapılan temas açısı ölçüm değerlerindeki 0.5M HCl asit ile aşındırılmış C1 kodlu numune yüzeylerinde ki temas açısı değerinin işlem görmemiş N kodlu numune ve 1.0M HCl asit aşındırma yapılmış C2 numunelerinde oluşan temas açısı değerinin daha yüksek olduğu Şekil 3.1 (a-b-c)’de gözlemlenmiştir.

0,5M NaOH çözeltisi ile aşındırma işlemi yapılan C3 numunelerin temas açısı değeri 56° olarak tespit edilmiştir. Molaritesi yüksek olan 1.0M NaOH ile aşındırma işlemi yapılan C4 numunelerin temas açısı değeri $46,5^{\circ}$ ’ye düştüğü Şekil 3.1 (d-e) görülmektedir. Aynı şekilde 0.5M HCl çözeltisi ile aşındırma işlemi yapılan C1 numunelerin temas açısı değeri $141,5^{\circ}$ olarak tespit edilmiştir. Molaritesi yüksek olan 1.0M HCl ile aşındırma işlemi

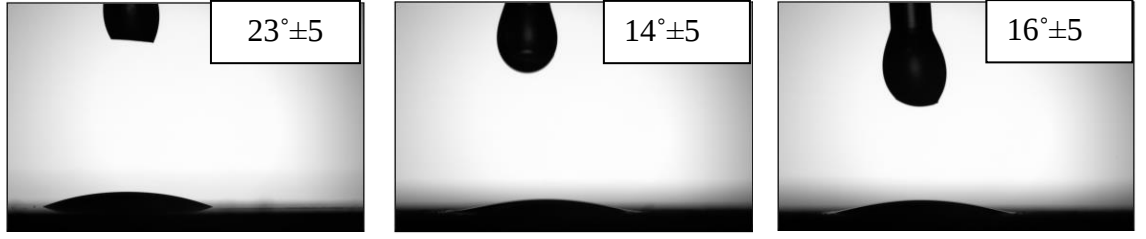
yapılan C2 numunelerin temas açısı değeri 133,5°'ye düştüğü şekil 3.1 (b-c) görülmektedir. Sonuç olarak molarite arttıkça temas açısı değeri düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 3.2: Mekanik ve Hibrit Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinin Saf Su ile Elde Edilen Temas Açısı Görüntüleri

Farklı yüzey aşındırma yapılan numune yüzeylerinde temas açıları farklılık göstermektedir. Kumlama+ NaOH ile hibrit yüzey aşındırma işlemlerinden MC3 ve MC4 numunelerinde temas açısı değerleri diğerlerine göre daha düşüktür. Buradan farklı yüzeylerdeki sıvı-katı temas açısının değişiklik gösterdiği bunun da yüzey morfolojilerinin farklılıklarından kaynaklandığı ve bu morfolojik farklılıkların yüzeylerin ıslanabilirliğini doğrudan etkilediği şeklinde açıklanabilir.

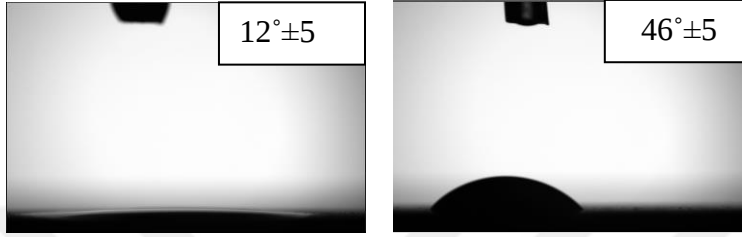
Kloroform ile elde edilen temas açısı görüntüleri ve açı değerleri Şekil 3.3 ve 3.4'de verilmiştir.



(a) N

(b) C1

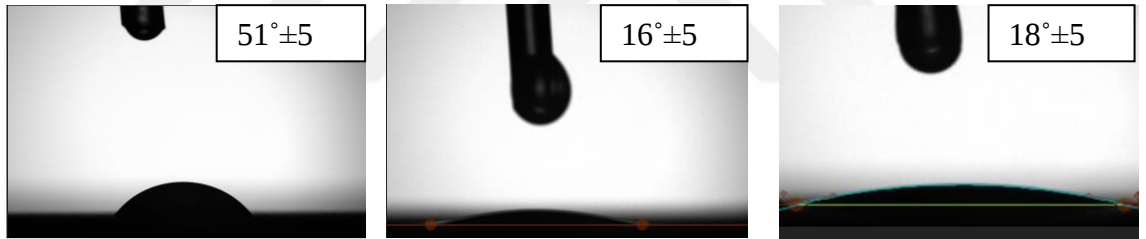
(c) C2



(d) C3

(e) C4

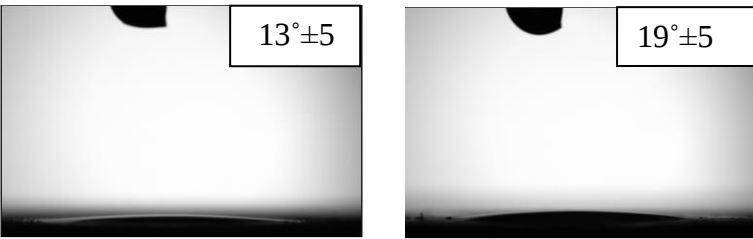
Şekil 3.3: İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinden Kloroform Sıvısı ile Elde Edilen Temas Açısı Görüntüleri



(a) M

(b) MC1

(c) MC2



(d) MC3

(e) MC4

Şekil 3.4: İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinden Kloroform Sıvısı ile Elde Edilen Temas Açısı Görüntüleri

Tablo 3.1: İşlemsiz, Kimyasal ve Hibrit Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinin Deiyonize Su İle Kloroform Sıvıları İle Elde Edilen Temas Açı Değerleri

Kodlar		θ_{su} (su temas açısı)	θ_k (kloroform temas açısı)
N	İşlemsiz	73,5±5	23±5
C1	0,5M HCl	141,5±5	14±5
C2	1M HCl	133,5±5	16±5
C3	0,5M NaOH	56±5	12±5
C4	1M NaOH	46,5±5	46±5
M	Kumlama	87,5±5	51±5
MC1	Kumlama+0,5M HCl	136,5±5	16±5
MC2	Kumlama+1M HCl	83±5	18±5
MC3	Kumlama+0,5M NaOH	77,5±5	13±5
MC4	Kumlama+1M NaOH	75,5±5	19±5

AA7075-T6 numune yüzeylerine aşındırma işleminden sonra kloroform ile temas açısı ölçümü yapıldıktan sonra ki görüntüleri Şekil 3.4’de görülmektedir. Şekil 3.4(a)’ da görülen temas açısı değeri 87,5° olduğu görülmektedir. Kumlama sonrası kimyasal aşındırma işlemi uygulanan numune yüzeylerinin temas açısı değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. 0.5M HCl ve NaOH çözeltileri ile elde edilen numunelerin temas açısı değerlerinin 1.0M HCl ve NaOH çözeltileri ile elde edilen temas açısı değerlerine kıyasla daha yüksek olduğu Şekil. 3.4’de görülmektedir.

Her iki sıvı ile yapılan temas açısı değerlerinde 0.5M HCl çözeltileri ile işlem görmüş yüzeylerde maksimum temas açısı değerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

3.2.Yüzey Enerjisi

Temas açıları, katı yüzeylerin serbest enerji değerlerini bulunmasında kullanılmaktadır. Çalışmada farklı aşındırma yapılmış numune yüzeylerinin serbest yüzey enerjilerini (SYE) hesaplamak için Owens-Wendt-Rabel-Kaelble metodu kullanılmıştır. Katı yüzeylerin serbest yüzey enerjileri hesaplamak için sıvıların polar, dispersive değerlerinin ve temas açısı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Sıvıların polar ve dispersiv değerleri Tablo 2.7’ da gösterilmiştir.

$$(1 + \cos\theta) \cdot \gamma_1 = 2[(\gamma_s^d \cdot \gamma_1^d)^{\frac{1}{2}} + (\gamma_s^p \cdot \gamma_1^p)^{\frac{1}{2}}] \quad (4)$$

OWRK metodu ile bulunan serbest yüzey enerji değerleri Tablo.3.2’ de görülmektedir.

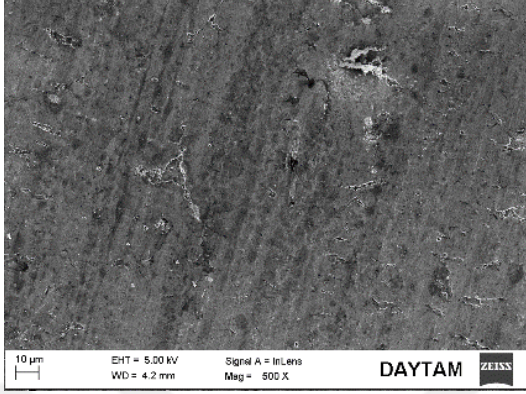
Tablo 3.2: OWRK Metodu Kullanılarak Elde Edilen Serbest Yüzey Enerji Değerleri (mJ/m²)

	Kod	γ_{s^d}	γ_{s^p}	γ_s
İşlemsiz	N	13,942	22,027	35,969
0,5M HCl	C1	47,707	11,632	59,340
1M HCl	C2	43,608	7,415	51,023
0,5M NaOH	C3	10,136	34,398	44,534
1M NaOH	C4	3,034	55,757	58,791
Kumlama	M	10,844	10,044	20,888
Kumlama+0,5M HCl	MC1	45,127	9,033	54,160
Kumlama+1M HCl	MC2	18,499	8,471	26,970
Kumlama+0,5M NaOH	MC3	38,032	2,401	40,433
Kumlama+1M NaOH	MC4	15,847	14,244	30,091

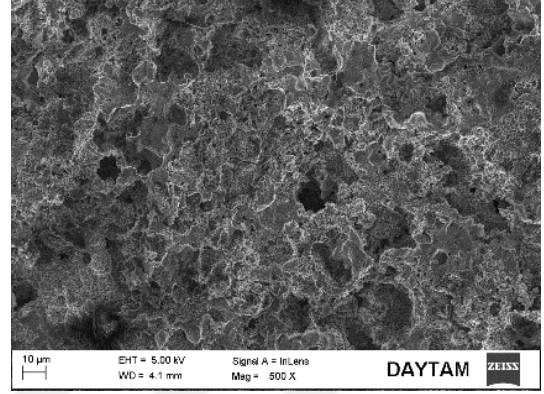
Denklem 4’de hesaplanan serbest yüzey enerji değerinde, yüzeyler için en düşük γ_s değeri M numunesinde elde edildiği ve C1 numunesinde ise en yüksek serbest yüzey enerji değeri elde edildiği tespit edilmiştir. Serbest yüzey enerji değerleri karşılaştırıldığında kumlama ve kumlama+kimyasal aşındırma uygulanan numunelerin γ_s değerinin işlemsiz ve kimyasal aşındırma uygulanan numunelerin γ_s değerlerine göre düşük olduğu tespit edilmiştir.

3.3. SEM Görüntüleri

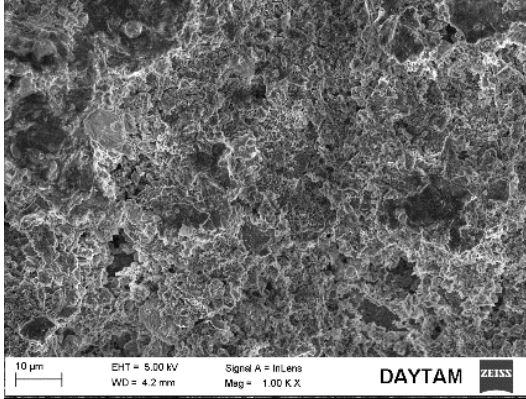
Şekil 3.5’ de AA7075–T6 numune aşındırma öncesi ve sonrası elde edilen SEM yüzey görüntüleri görülmektedir.



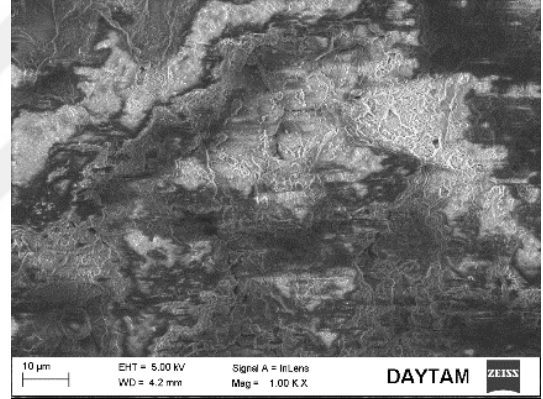
(a) N



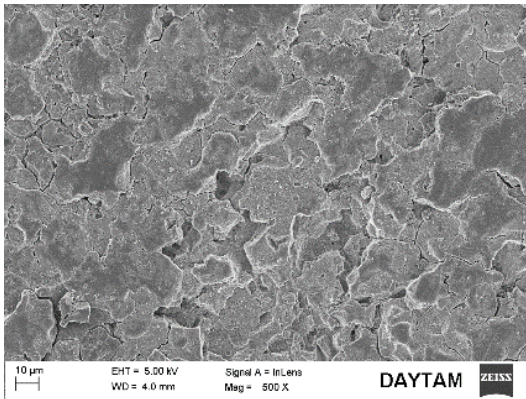
(b) C1



(c) C2



(d) C3



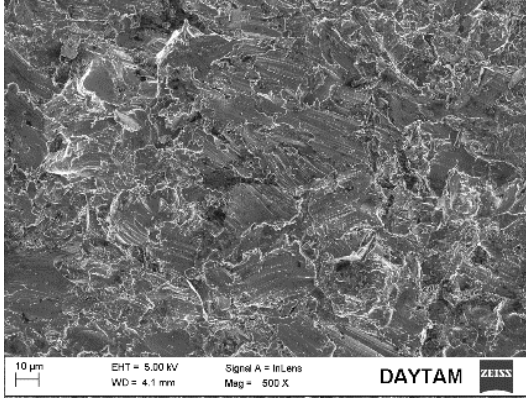
(e) C4

Şekil 3.5: İşlemsiz ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinin SEM Görüntüleri

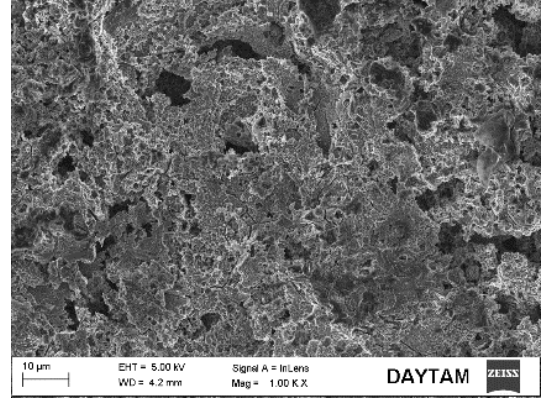
Yüzey aşındırma işlemleri öncesi alınan görüntülerden yüzeyin paralel bir vadi yapısına sahip olduğu Şekil 3.5(a)' da görülmektedir. AA7075-T6' nın taşıma, depolama ve nakliye sırasında oluşan bazı yatay çizikler ve sürtünme izleri de gözlemlenmektedir. 0.5M HCl çözeltisi (Şekil 3.5 (b)) içinde aşındırılan yüzey çukurlu bir topografyaya sahiptir.

Şekil 3.5(c)' den HCl çözeltinin molaritesinin 1.0M artırılması ile reaksiyon hızının artmasına sebep olduğu için 3.5 (b)'ye göre daha çukurlu ve pürüzlü yüzey topografisine sahip olduğu görülmektedir. Farklı molaritede NaOH ile aşındırılan yüzeylerde HCl asit ile dağlanan yüzeylerin tersine çukur yerine yüzeylerde çatlak oluşumları görülmektedir. Şekil 3.5 (d-e)' den NaOH molaritenin artmasıyla yüzey çatlakları daha belirgin hale gelmiştir.

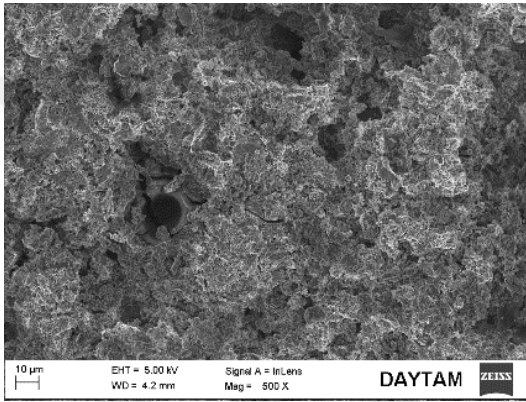
Şekil 3.6' de kumlama ve hibrit aşındırma işlemi yapılmış AA7075-T6 numune yüzey görüntüleri verilmiştir.



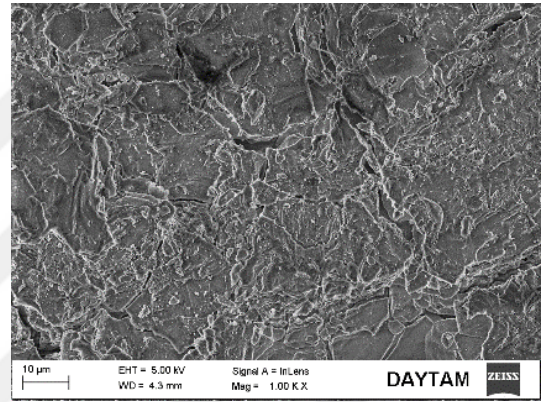
(a) M



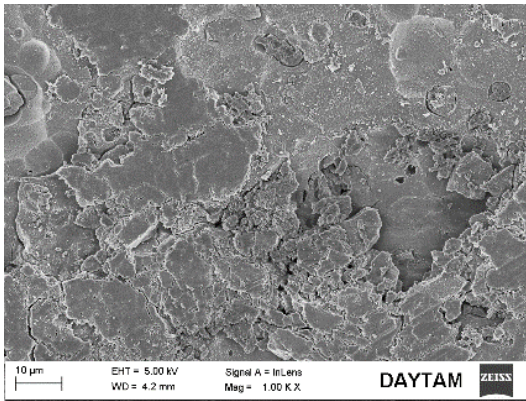
(b) MC1



(c) MC2



(d) MC3



(e) MC4

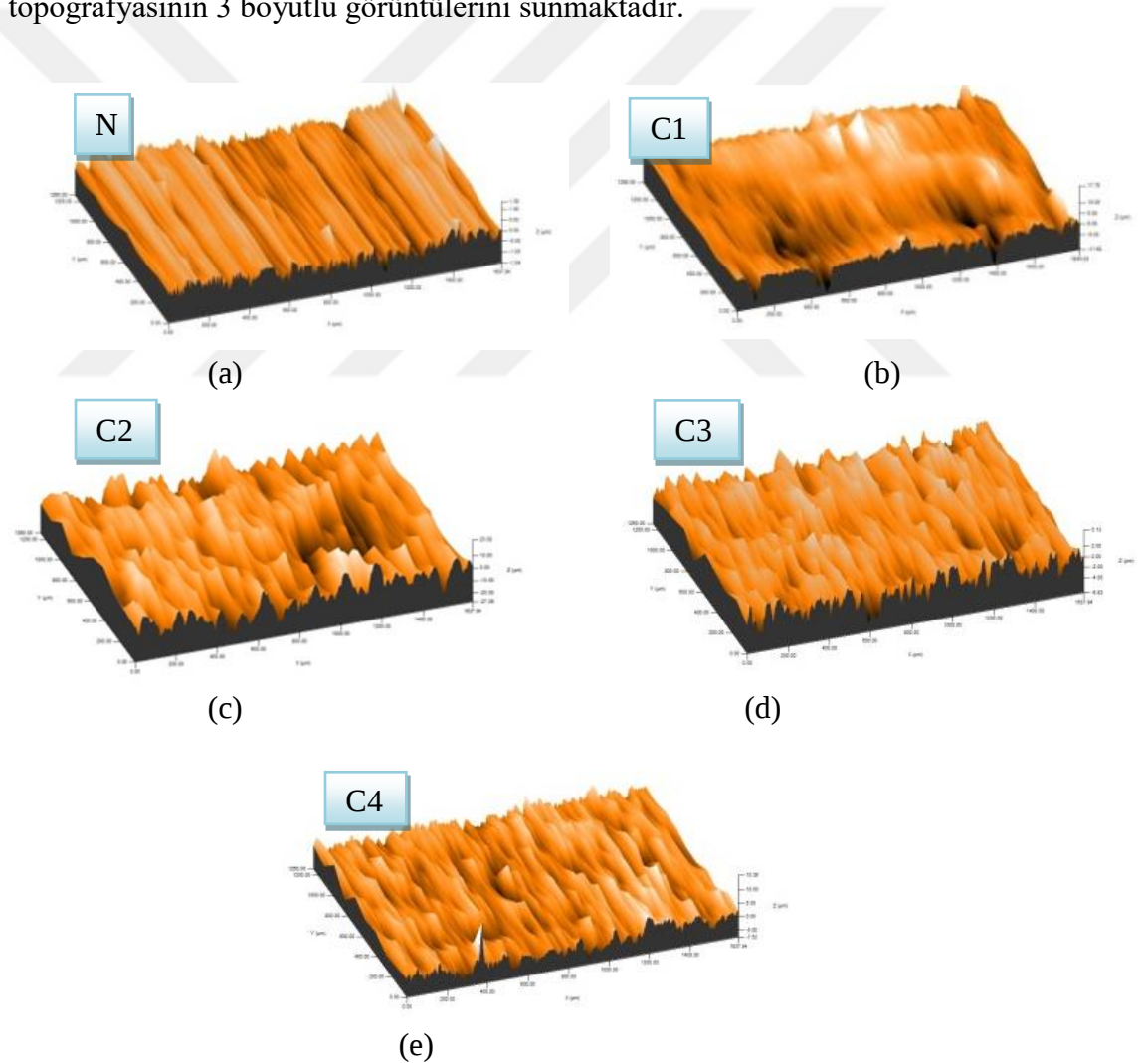
Şekil 3.6: Kuşlama ve Hibrit Aşındırma Yapılmış Alüminyum Alaşım Yüzeylerinin SEM Görüntüleri

Şekil 3.6.(a)'daki mekanik aşındırma uygulanan AA7075-T6 numune yüzeylerinin topografyasında mikro çukurların oluşmadığı gözlemlenmiştir. Kuşlama işlemi sonrasında 0.5-1.0M HCl çözeltisi ile dağlama işlemi uygulanan AA7075-T6 yüzey görüntüsünde mikro çukurların ve derin gözeneklerin oluştuğu Şekil 3.6 (b-c)'de

gözlemlenmiştir. Şekil 3.6(c)'de molaritesi 1.0M'a arttırılarak HCl asit çözeltisi ile dağlama işlemi yapılan AA7075-T6 numune yüzeylerinde oluşan mikro çukur ve gözenek çaplarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Kumlama işleminden sonra NaOH ile dağlama işlemi uygulanan AA7075-T6 numune yüzeylerinde kumlanmış yüzey görüntüsü Şekil 3.6 (a)'ya göre çatlaklar oluştuğu şekil 3.6 (d-e) gözlemlenmiştir. NaOH muamelesi, ince ölçekli mikro gözenekli ve çatlaklı bir mikroskobik lamellerin oluşumuyla sonuçlanmıştır.

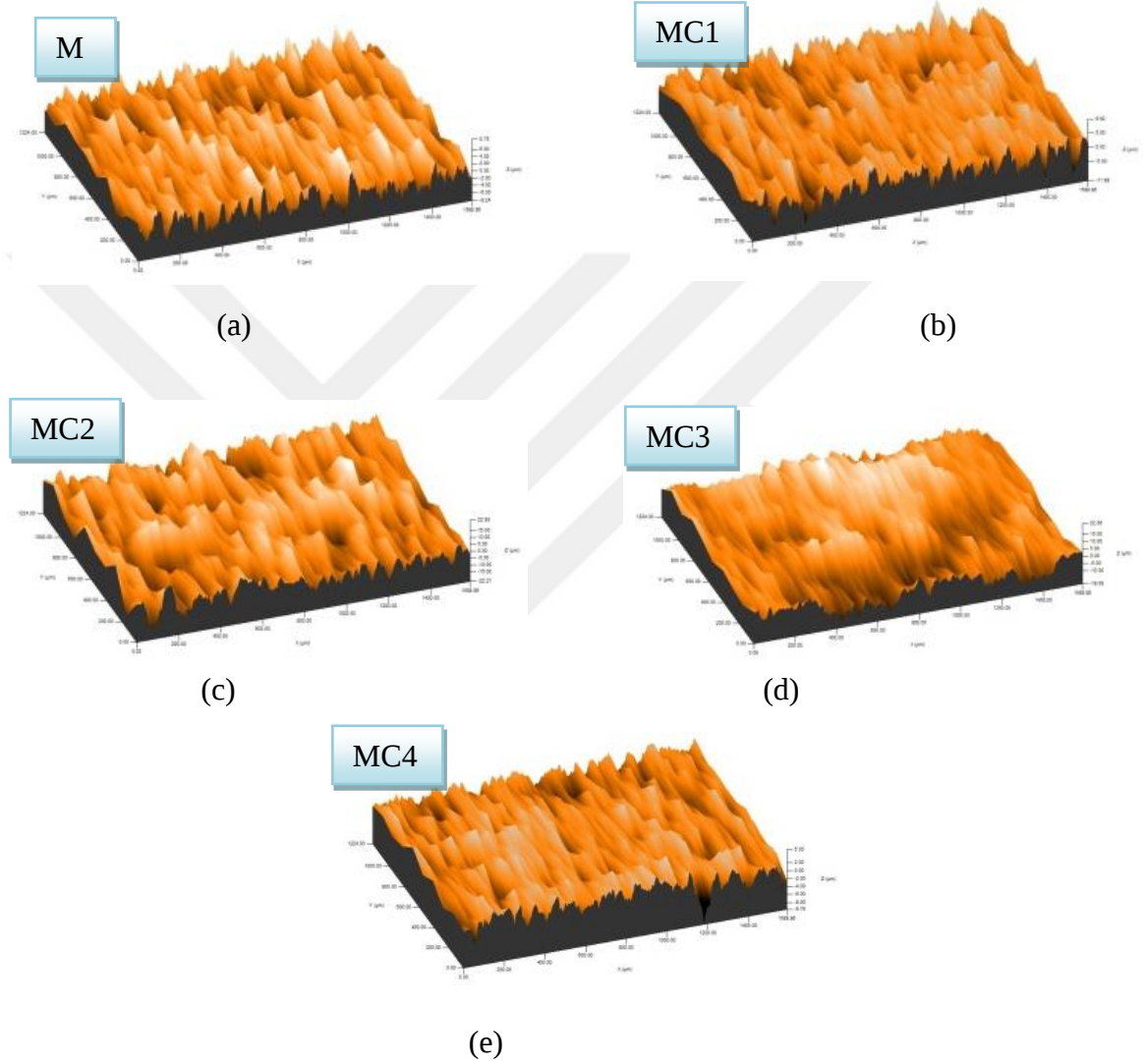
3.4. 3D Profilometre Görüntüleri

Şekil 3.7'de yüzey topometri sistemi olan 3D profilometre ile elde edilen yüzey topografyasının 3 boyutlu görüntülerini sunmaktadır.



Şekil 3.7: İşlemsiz Ve Kimyasal Aşındırma Yapılmış 3D Profilometre Yüzey Görüntüleri

Şekil 3.7’da N, işlem görmemiş AA7075-T6’nın üç boyutlu yüzey görüntüsüdür. Yüzey paralel vadiler şeklinde görülmektedir. C1-C4 numune yüzeylerinde paralel vadiler kendini korusada rastgele mikropürüzlü yüzeylerin oluşmasına neden olmuştur. 3D profilometre görüntülerinden anlaşılmaktadır ki en pürüzlü numune yüzeyi C2’dir.



Şekil 3.8: Mekanik Ve Hibrit Aşındırma Yapılmış 3D Profilometre Yüzey Görüntüleri

Şekil 3.8(a) görüldüğü gibi mekanik aşındırma yöntemlerinden olan kumlama ile yüzey iyileştirme yapılan numunenin maksimum çukur ve maksimum tepe yükseklikleri kimyasal aşındırılan numune yüzeylerine göre daha fazla olduğu saptanmıştır. C2 numunesi haricinde mekanik ve hibrit aşındırılan yüzeylerin kimyasal aşındırmaya göre yüzey pürüzlülük değerlerini arttırdığı görülmektedir.

3.5. Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Tablo 3.3’ de verilen Sa yüzey aritmetik ortalama pürüzlülüğü, Sq yüzey kök ortalama kare pürüzlülüğü, Sp maksimum tepe yüksekliği, Sv maksimum çukur yüksekliğidir, Sz maksimum yükseklik (Sp+Sv), Ssk çarpıklık ve Sku basıklıktır.

Tablo 3.3: Farklı Yüzeylerdeki 7075-T6 Alüminyum Alaşımın Yüzeylerin Yüzey Parametreleri

Numuneler	Kod	Sa (µm)	Sq (µm)	Sp (µm)	Sv (µm)	Sz (µm)
İşlemsiz	N	2562,7 A	3218,3A	1,380	1,536	1,393
0.5M HCl	C1	2,261	3,071	17,762	11,923	18,828
1M HCl	C2	6,463	8,178	23,023	27,085	26,951
0.5M NaOH	C3	1,447	1,790	5,130	6,834	7,218
1M NaOH	C4	1,704	2,147	15,363	7,524	10,953
Kumlama	M	1,927	2,442	8,783	8,243	11,604
Kumlama+0.5M HCl	MC1	2,395	2,961	9,925	11,889	12,650
Kumlama+ 1M HCl	MC2	5,097	6,510	22,934	22,267	25,246
Kumlama+0.5M NaOH	MC3	4,620	5,899	22,364	19,086	23,331
Kumlama+1M NaOH	MC4	1,362	1,722	5,296	9,757	7,292

Mekanik, kimyasal ve hibrit yüzey iyileştirme işlemlerine maruz kalan yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri birbirlerinden farklılık göstermektedir. Yüzey pürüzlülük değerleri 2562,7 A ile 6,463 µm arasındadır. Maksimum yüzey pürüzlülük değerleri şekil 3.5’ de ki 3D profilometre görüntülerinden en yüksek çukur korozyon oranı sebebiyle 1M HCl çözeltisinde dağlanmış numune yüzeyinde elde edilmiştir. Yüzey iyileştirme yapılmamış N kodlu numune yüzeyinin pürüzlülük değerleri en az olarak tespit edilmiştir.

3.6. Çekme Test Sonuçları

Çalışmada dolgulu ve dolgusuz Araldite 2015 yapıştırıcısı kullanılarak farklı yüzey işlemlerine maruz bırakılmış numunelerin yapışma dayanımları incelenmiştir. Çekme testi ile hazırlanan numunelerin maksimum yük, kırılma yükü, maksimum gerilme değerleri tespit edilmiştir. Araldite 2015 epoksi yapıştırıcının içine dolgu malzemesi olarak % 1 oranında karbon fiber kırılmış elyaf ve % 1 oranında karbon fiber toz eklenmiştir. Yapışma dayanımını etkileyen faktörlerden biride yapıştırıcı malzemesinin

uygulandığı yüzeydir. Bu çalışmada AA7075-T6 numunelerin yüzeylerine kimyasal, mekanik ve hibrit aşındırma işlemleri uygulanmıştır. Deneyler yapıştırma bağlantı elemanlarının her birinden üçer kez test edilerek elde edilmiş ve aritmetik ortalamalar alınarak maksimum çekme yükleri, kırılma yükleri, maksimum çekme gerilmesi, kuvvet-uzama grafikleri ve hasar şekilleri belirlenmiştir. Araldite 2015 yapıştırıcı kullanılarak ISO2818 standartlarına uygun bulk numuneleri hazırlanmıştır. Mekanik deneyleri gerçekleştirilen numunelerin ortalama Max Yük 21.12N, Kırılma Yüğü 20.98N, Max Gerilme ise 267 MPa olarak bulunmuştur.

3.6.1. AA7075-T6/ AA7075-T6 Çekme Deney Sonuçları

Tablo 2.6’ da yapıştırma dayanımını arttırmak için numune yüzeylerine uygulanan yüzey iyileştirme işlemleri ve bu işlemlere göre numunelere verilen kodlar gösterilmektedir ve Tablo 2.6’daki numune kod düzenine göre yapılan deney sonuçları da Tablo 3.4’ de belirtilmiştir.

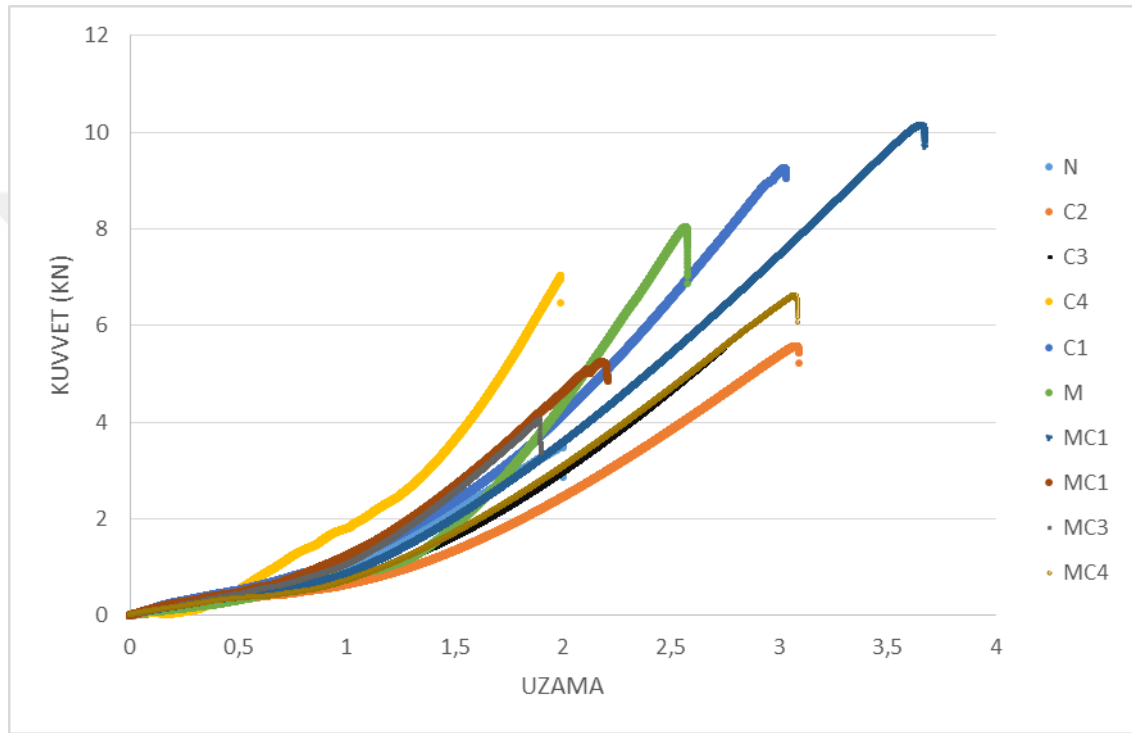
Tablo 3.4: AA7075-T6/AA7075-T6 Yapıştırılan Numunelerinin Çekme Test Sonuçları

DOLGUSUZ				KARBON FİBER TOZ DOLGULU				KARBON FİBER ELYAF DOLGULU			
Kod	Max Yük (KN)	Kırılma Yüğü (KN)	Max Gerilme (MPa)	Kod	Max Yük (KN)	Kırılma Yüğü (KN)	Max Gerilme (MPa)	Kod	Max Yük (KN)	Kırılma Yüğü (KN)	Max Gerilme (MPa)
N	3,523	2,855	70,456	N-Kp	3,230	3,136	64,608	N-Kf	3,073	2,586	61,460
C1	9,257	9,055	185,121	C1-Kp	11,408	10,779	228,109	C1-Kf	8,240	7,488	164,802
C2	5,581	5,219	111,626	C2-Kp	5,317	4,314	106,326	C2-Kf	5,189	4,163	103,774
C3	6,022	5,553	120,453	C3-Kp	8,294	5,590	165,932	C3-Kf	4,043	3,276	80,855
C4	7,031	4,284	140,650	C4-Kp	7,061	4,950	141,221	C4-Kf	7,061	5,091	141,186
M	8,041	6,863	160,816	M-Kp	11,193	9,702	223,854	M-Kf	9,008	7,445	180,152
MC1	10,145	9,704	202,906	MC1-Kp	12,092	10,920	241,839	MC1-Kf	9,104	8,443	182,061
MC2	5,243	4,864	104,849	MC2-Kp	6,358	5,343	127,16	MC2-Kf	4,026	3,765	80,518
MC3	4,053	3,685	81,063	MC3-Kp	7,070	4,172	141,379	MC3-Kf	4,037	3,819	80,755
MC4	6,623	5,514	132,452	MC4-Kp	6,118	4,909	122,381	MC4-Kf	3,840	3,552	76,808

Yapıştırma bağlantılarında kırılma yükünün ve maksimum gerilmenin hibrit yüzey iyileştirme olan kumlama + 0.5M HC1 asit ile dağlanan MC1 kodlu numunede olduğu Tablo 3.4’ den görülmektedir. Minimum kırılma yükünün ve minimum gerilmenin ise

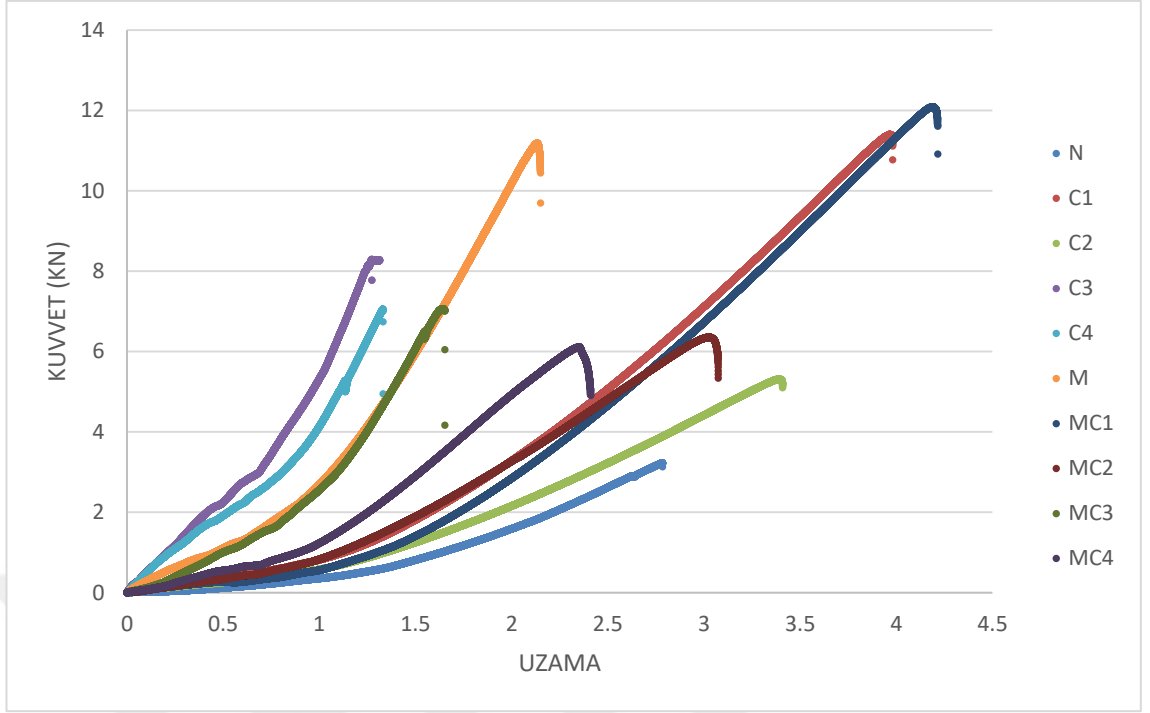
yüzeyinde iyileştirme olmayan N kodlu numunede olduğu görülmektedir. Karbon fiber toz dolgulu ve karbon fiber elyaf dolgulu yapıştırma bağlantılarında ise kırılma yükünün ve gerilmenin MC1 kodlu numunede minimum değerlerin ise N kodlu numunede olduğu tablodan görülmektedir.

Tablo 3.4'deki veriler dolgusuz, karbon fiber toz ve karbon fiber elyaf dolgulu olarak sınıflandırılıp şekil 3.9-11'de grafik halinde verilmiştir.



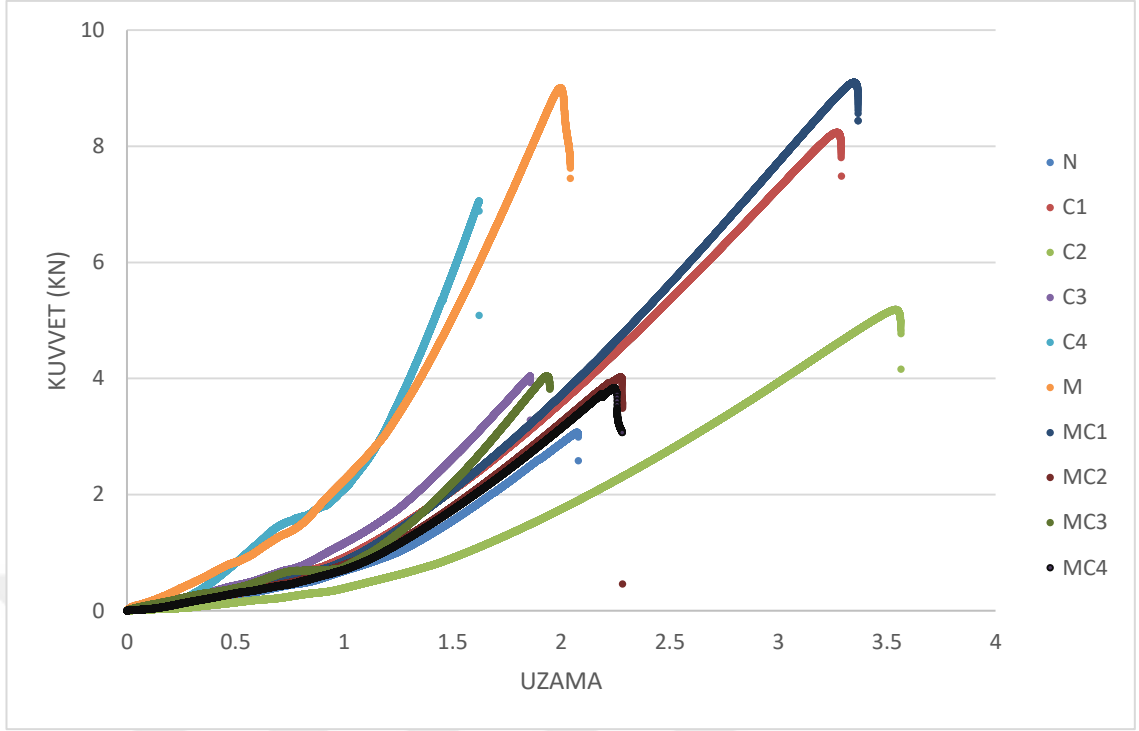
Şekil 3.9: Dolgusuz AA7075-T6/ AA7075-T6 Yapıştırma Bağlantılarının Kuvvet-Uzama Grafiği

Dolgusuz AA7075-T6/ AA7075-T6 yapıştırma bağlantılarında yüzey aşındırma işlemleri uygulanan yüzeylerde maksimum yük değerinin arttığı Şekil 3.9' da görülmektedir. En yüksek maksimum yük değerinin MC1 kodlu numunede 10,145 KN olduğu ve en düşük maksimum yük değerinin 3,523 KN işlemsiz olan N kodlu numunelerde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10: Karbon Fiber Toz Dolgulu AA7075-T6/ AA7075-T6 Yapıştırma Bağlantılarının Kuvvet-Uzama Grafiği

Karbon fiber toz dolgulu AA7075-T6/ AA7075-T6 yapıştırma bağlantılarında yüzey aşındırma işlemi uygulanan numunelerde maksimum yük değerlerinde artış olmuştur. En yüksek maksimum yük değerinin 12,092 KN olan MC1 kodlu numunede (Şekil 3.10'da) olduğu görülmektedir. En düşük maksimum yük değerinin 3,230 KN da İşlemsiz N kodlu numunelerde olduğu görülmektedir.

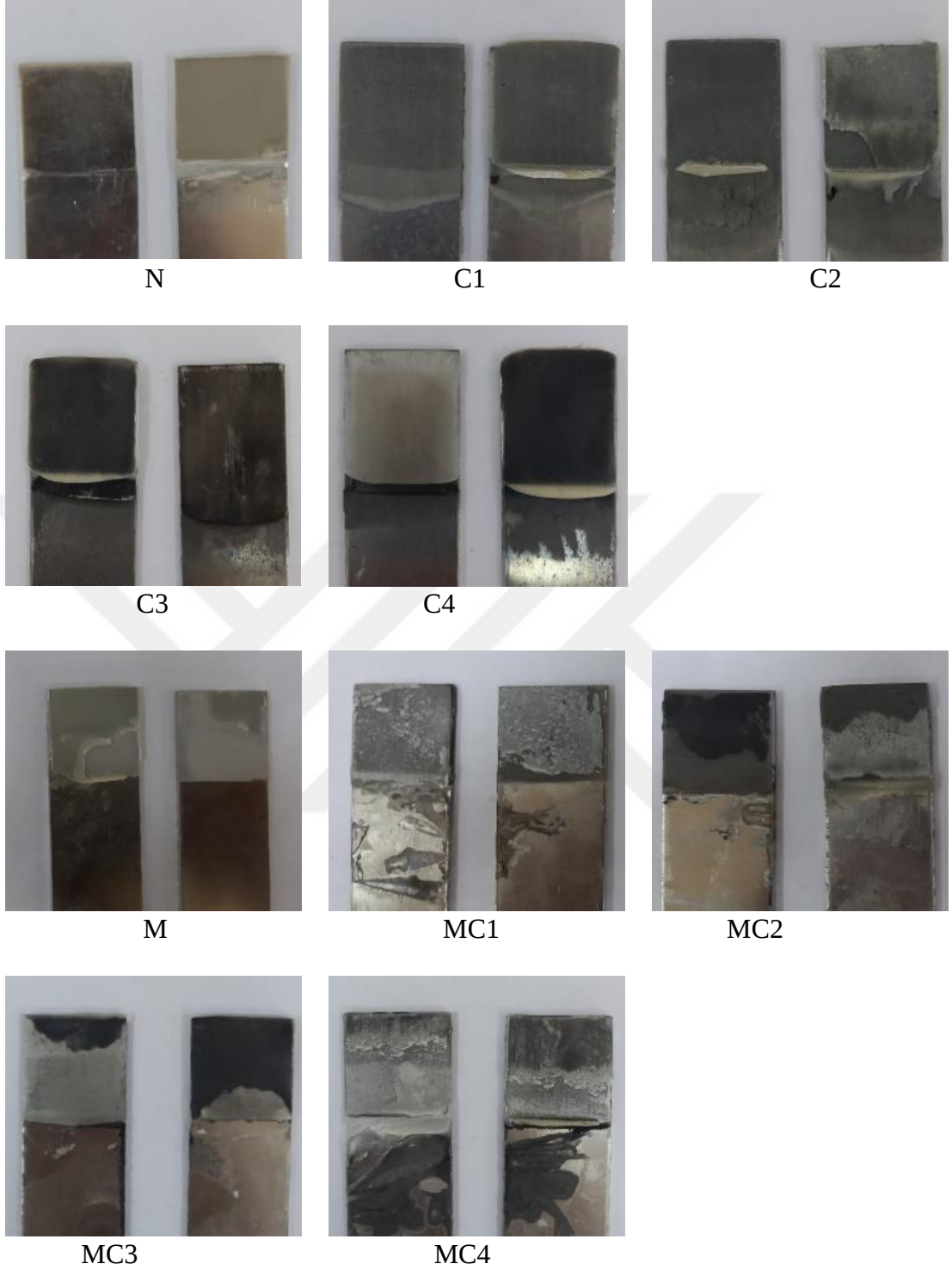


Şekil 3.11: Karbon Fiber Elyaf Dolgulu AA7075-T6/ AA7075-T6 Yapıştırma Bağlantılarının Kuvvet-Uzama Grafiği

Karbon fiber elyaf dolgulu AA7075-T6/ AA7075-T6 yapıştırma bağlantılarında yüzey aşındırma işlemi uygulanan numunelerde maksimum yük değerlerinde şekil 3.11’de artış olduğu görülmektedir. En yüksek maksimum yük değerinin 9,104 KN olan MC1 kodlu numunede olduğu ve en düşük maksimum yük değerinin 3,073 KN da işlemsiz numunelerde olduğu görülmektedir.

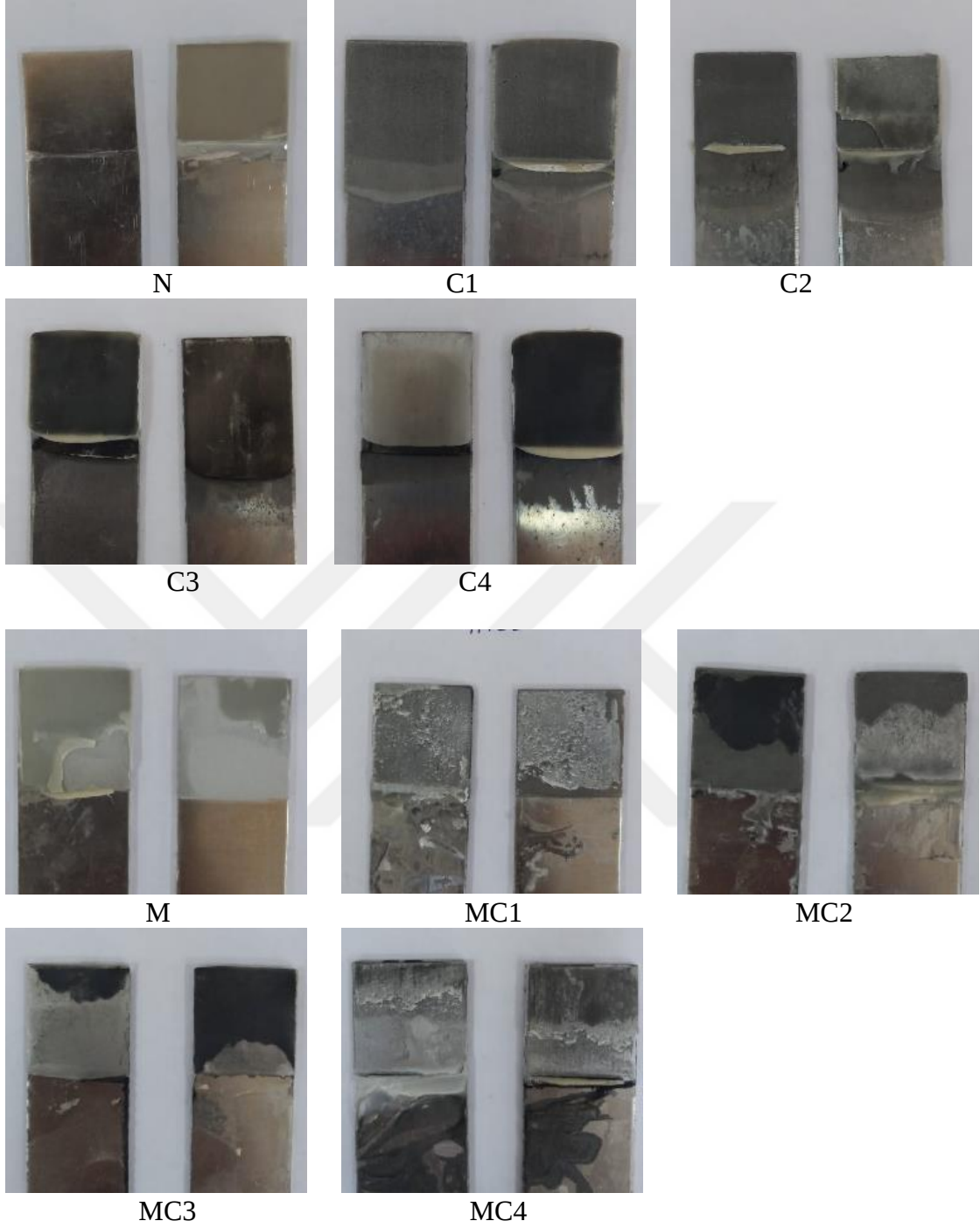
3.6.2. AA7075-T6/ AA7075-T6 Yapışma Bağlantılarında Hasar Tipleri

ISO 10365 Standartlarına göre deformasyon türleri belirlenmiştir [77]. Araldite 2015 yapıştırıcı kullanılarak çekme testi yapılan numunelerin hasar tipleri Şekil 3.9-14’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.12: AA7075-T6/AA7075-T6 Numunelerinde Dolgusuz Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri

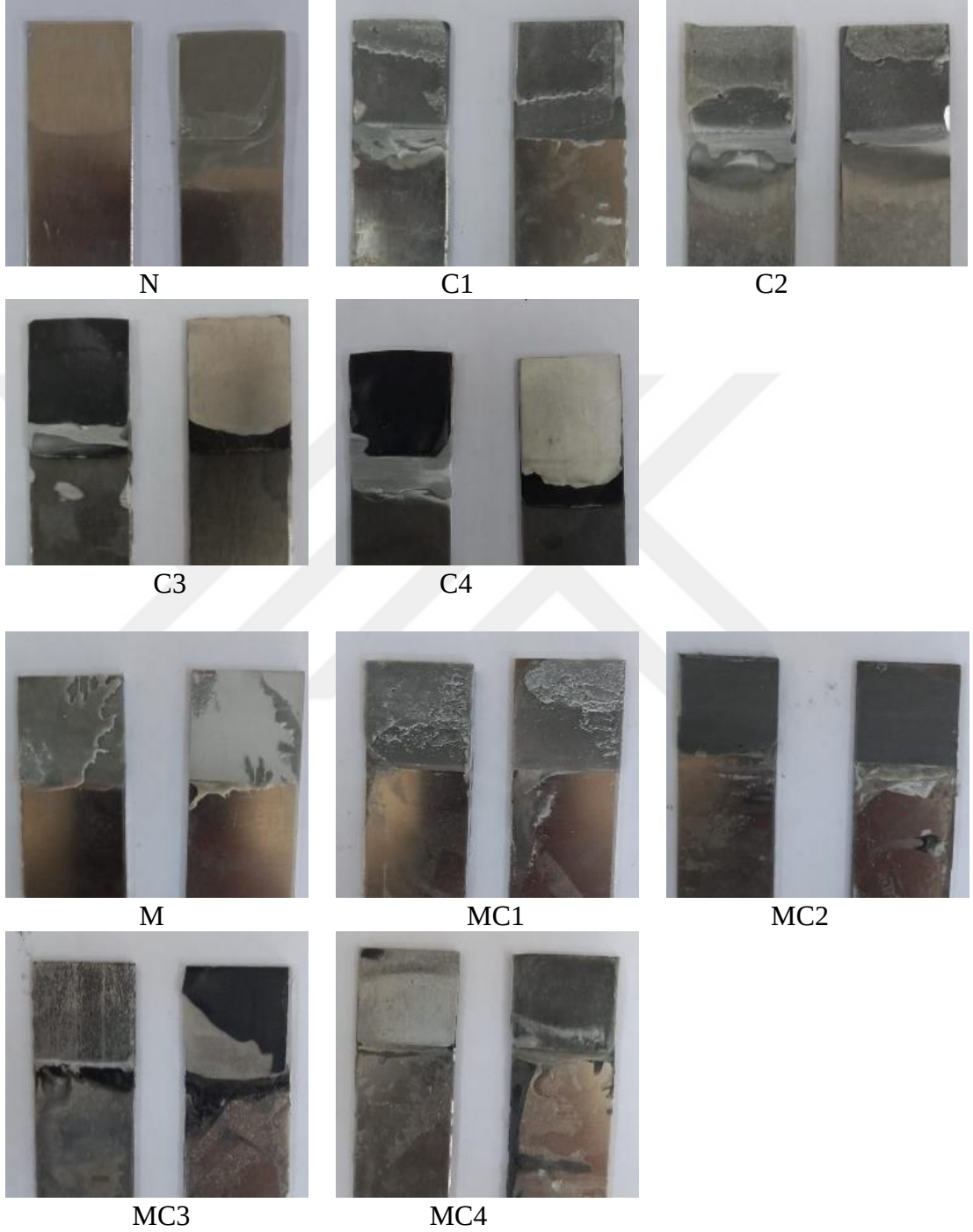
Dolgusuz yapıştırma bağlantı elemanlarının çekme testi sonucunda, yapıştırıcının hasar tipleri Şekil 3.12’ de görülmektedir. N, C1 ve C3 kodlu numuneler adeziv hasar oluşurken diğer yapıştırma numunelerde karma hasar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.13: AA7075-T6/AA7075-T6 Numunelerinde Karbon Fiber Toz Dolgulu Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri

Karbon fiber toz dolgulu yapıştırma bağlantı elemanlarının çekme testi sonucunda yapıştırma yüzeylerinde oluşan hasar tipleri Şekil 3.13’ da görülmektedir. N, C1, C3 ve C4 kodlu numunelerde adeziv hasar oluşmuştur. MC1 ve MC4 numunelerde koheziv

hasar olduğu ve kalan diğerk yapıştırma numunelerde ise karma hasar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.14: AA7075-T6/AA7075-T6 Numunelerinde Karbon Fiber Elyaf Dolgulu Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri

Karbon fiber elyaf dolgulu yapıştırma bağlantı elemanlarının çekme test sonucunda yapıştırma yüzeylerinde oluşan hasar tipleri Şekil 3.14’ de görülmektedir. N,C3, C4, MC2

ve MC4 kodlu numunelerde adeziv hasar oluşmuştur ve diğer yapıştırma bağlantılarında ise numunelerin yüzeyleri karma hasar olduğu tespit edilmiştir. Hasar tipleri Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.5: AA7075-T6/AA7075-T6 Yapıştırma Bağlantılarında Görülen Hasar Tipleri

DOLGUSUZ		KARBON FİBER TOZ DOLGULU		KARBON FİBER ELYAF DOLGULU	
N	Adeziv	N-Kp	Adeziv	N-Kf	Adeziv
C1	Adeziv	C1-Kp	Adeziv	C1-Kf	Karma
C2	Karma	C2-Kp	Karma	C2-Kf	Karma
C3	Adeziv	C3-Kp	Adeziv	C3-Kf	Adeziv
C4	Karma	C4-Kp	Adeziv	C4-Kf	Adeziv
M	Karma	M-Kp	Karma	M-Kf	Karma
MC1	Adeziv	MC1-Kp	Koheziv	MC1-Kf	Karma
MC2	Karma	MC2-Kp	Karma	MC2-Kf	Adeziv
MC3	Karma	MC3-Kp	Karma	MC3-Kf	Karma
MC4	Karma	MC4-Kp	Kohesiv	MC4-Kf	Adeziv

3.6.3. AA7075-T6/ Karbon Fiber Kompozit Levhanın Çekme Deney Sonuçları

Tablo 2.6’ da yapıştırma dayanımını arttırmak için numune yüzeylerine uygulanan yüzey iyileştirme işlemleri ve işlemlere göre verilen numune kodları gösterilmektedir ve Tablo 2.6’daki numunelerin kod düzenine göre yapılan deney sonuçları ise Tablo 3.6’ de belirtilmiştir.

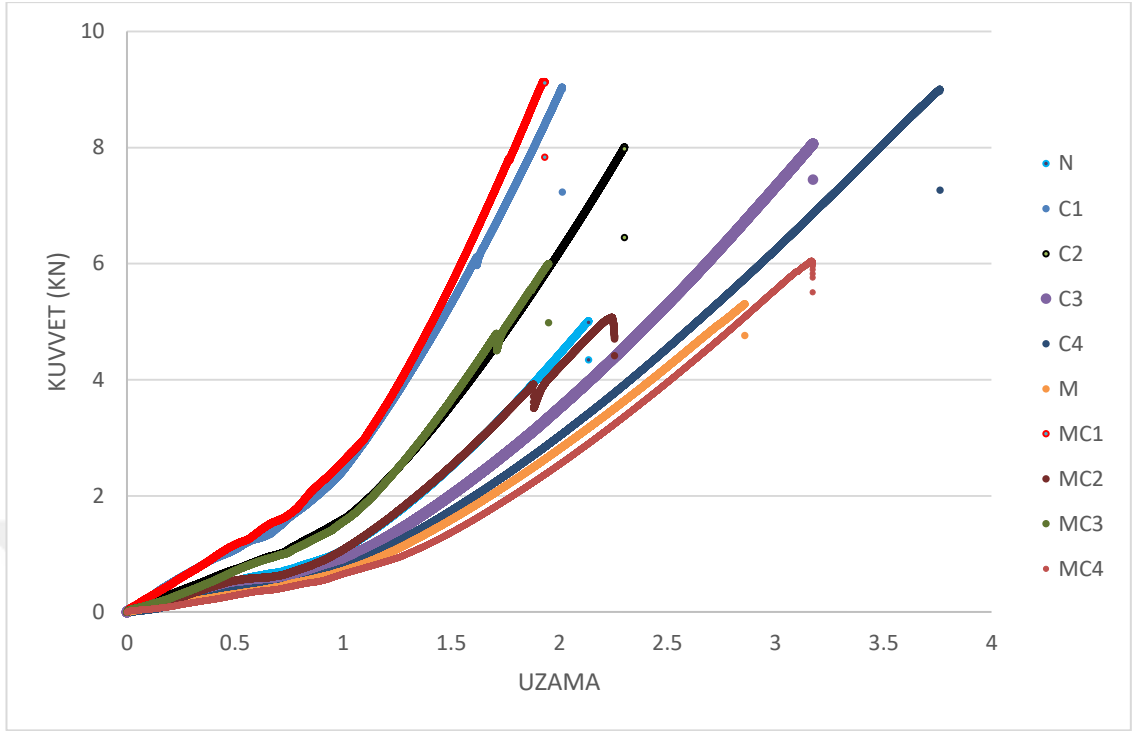
Tablo 3.6: AA 7075-T6/ Karbon Fiber Kompozit Plaka Yapıştırma Numunelerinin Çekme Testi Sonuçları

DOLGUSUZ				KARBON FİBER TOZ DOLGULU				KARBON FİBER ELYAF DOLGULU			
Kod	Max Yük (KN)	Kırılma Yüğü (KN)	Max Gerilme (MPa)	Kod	Max Yük (KN)	Kırılma Yüğü (KN)	Max Gerilme (MPa)	Kod	Max Yük (KN)	Kırılma Yüğü (KN)	Max Gerilme (MPa)
N/H	5,014	4,345	100,290	N-Kp/H	5,646	4,621	112,920	N-Kf/H	4,174	3,774	83,482
C1/H	9,046	7,236	180,867	C1-Kp/H	11,059	10,003	221,173	C1-Kf/H	7,026	6,950	140,518
C2/H	8,012	6,455	160,261	C2-Kp/H	10,229	9,315	204,583	C2-Kf/H	8,005	6,583	160,106
C3/H	8,067	7,451	161,328	C3-Kp/H	9,618	9,296	192,358	C3-Kf/H	6,051	5,585	121,029
C4/H	9,005	7,270	180,109	C4-Kp/H	12,01	11,613	240,211	C4-Kf/H	7,105	6,316	142,120
M/H	5,309	4,767	106,176	M-Kp/H	8,066	6,947	161,319	M-Kf/H	7,488	6,382	149,762
MC1/H	9,140	7,837	182,837	MC1-Kp/H	12,081	11,086	241,613	MC1-Kf/H	9,410	8,218	188,196
MC2/H	5,075	4,421	101,490	MC2-Kp/H	7,050	6,594	140,999	MC2-Kf/H	7,550	7,488	150,992
MC3/H	6,002	4,985	120,043	MC3-Kp/H	8,076	7,885	161,506	MC3-Kf/H	7,538	7,363	150,760
MC4/H	6,047	5,506	120,943	MC4-Kp/H	7,012	6,435	140,209	MC4-Kf/H	6,530	6,043	130,614

AA7075-T6/ Karbon fiber kompozit plaka numunelerin yapıştırma bağlantılarında maksimum yük, kırılma yüğü ve maksimum gerilme değerleri Tablo 3.6' da görölmektedir. Karbon fiber toz dolgu ve karbon fiber elyaf dolgu eklenmiş yapıştırma bağlantı elemanları dolgusuz bağlantı elemanlarına göre maksimum yük, kırılma yüğü ve maksimum gerilme değerlerinin arttığı görölmektedir. Karbon fiber toz dolgu ve karbon fiber elyaf dolgu eklenmiş yapıştırma bağlantılarını kendi aralarında kıyasladığımızda ise karbon fiber toz dolgu eklenmiş yapıştırma bağlantılarında ki maksimum yük, kırılma yüğü ve maksimum gerilmenin karbon fiber elyaf dolgu eklenmiş yapıştırma bağlantılarına göre daha iyi sonuç verdiği görölmektedir.

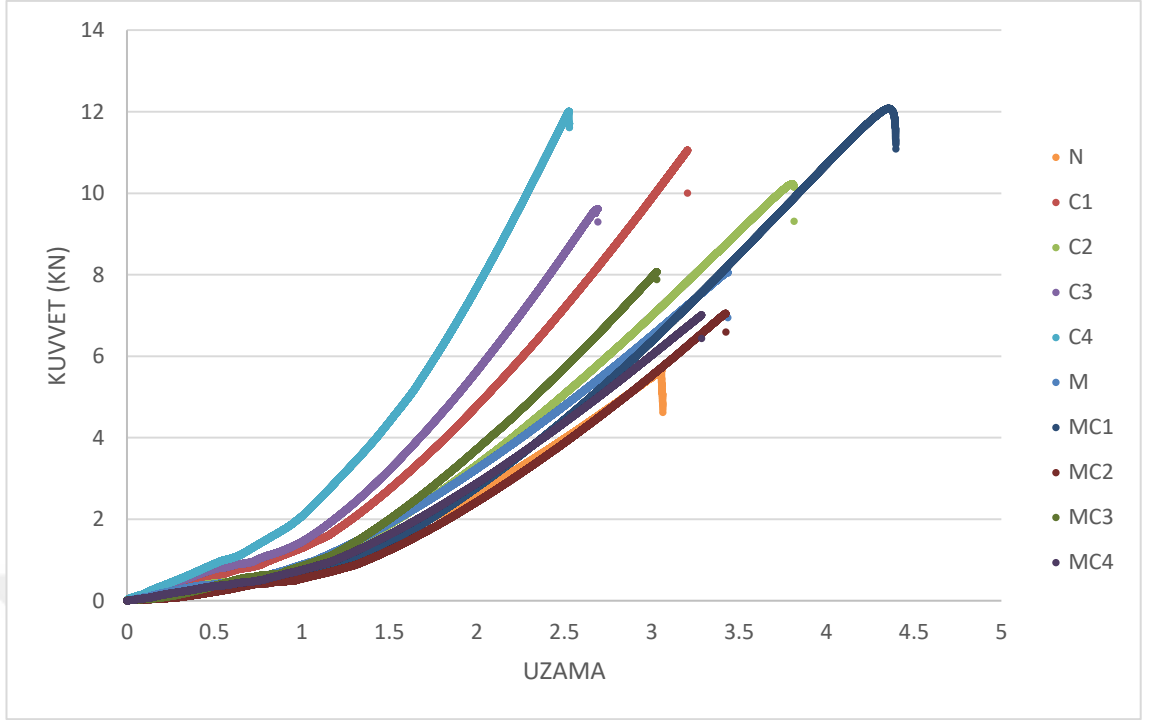
Dolgusuz, karbon fiber toz ve karbon fiber elyaf dolgu eklenmiş yapıştırma bağlantı elemanının maksimum yük, kırılma yüğü ve maksimum gerilme değeri kumlama+0,5M HCI asit ile aşındırılmış MC1/H kodlu numunede en iyi sonuç elde edilirken minimum değerleri ise işlem görmemiş N/H kodlu numunede olduğu tablodan görölmektedir.

Tablo 3.6'daki veriler dolgusuz, karbon fiber toz ve karbon fiber elyaf dolgulu olarak sınıflandırılıp Şekil 3.15-17'de grafik halinde verilmiştir.



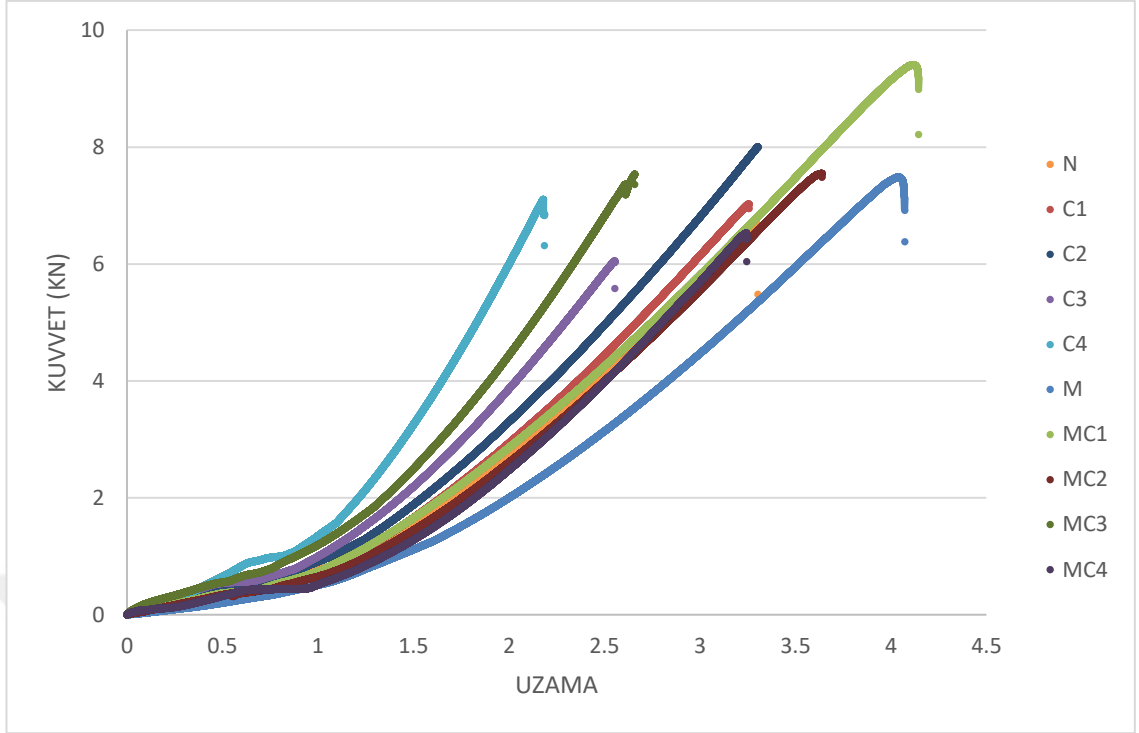
Şekil 3.15: Dolgusuz AA7075-T6/ Karbon Fiber Kompozit Yapıştırma Numunelerinin Kuvvet-Uzama Grafiği.

Dolgusuz AA7075-T6/Karbon fiber kompozit plaka ile yapılan yapıştırma bağlantılarında yüzey aşındırma işlemleri uygulanan yüzeylere göre işlem görmemiş yapışma bağlantılarında maksimum yük değerinin arttığı Şekil 3.15’da görülmektedir. En yüksek maksimum yük değerinin MC1/H kodlu numunede 9,140 KN olduğu ve en düşük maksimum yük değerinin 5,014 KN de N/H kodlu numunede olduğu görülmektedir.



Şekil 3.16: Karbon Fiber Toz Dolgulu AA7075-T6/ Karbon Fiber Kompozit Yapıştırma Numunelerin Kuvvet-Uzama Grafiği.

Karbon fiber toz dolgulu AA7075-T6/ AA7075-T6 yapıştırma bağlantılarında yüzey aşındırma işlemi uygulanan MC1-Kp/H numunede maksimum yük değerlerinde artış olmuştur. En yüksek maksimum yük değerinin 12,081KN olan N/H kodlu numunede (Şekil 3.16’da) olduğu görülmektedir. En düşük maksimum yük değerinin 5,014KN olan N/H kodlu numunede olduğu görülmektedir.

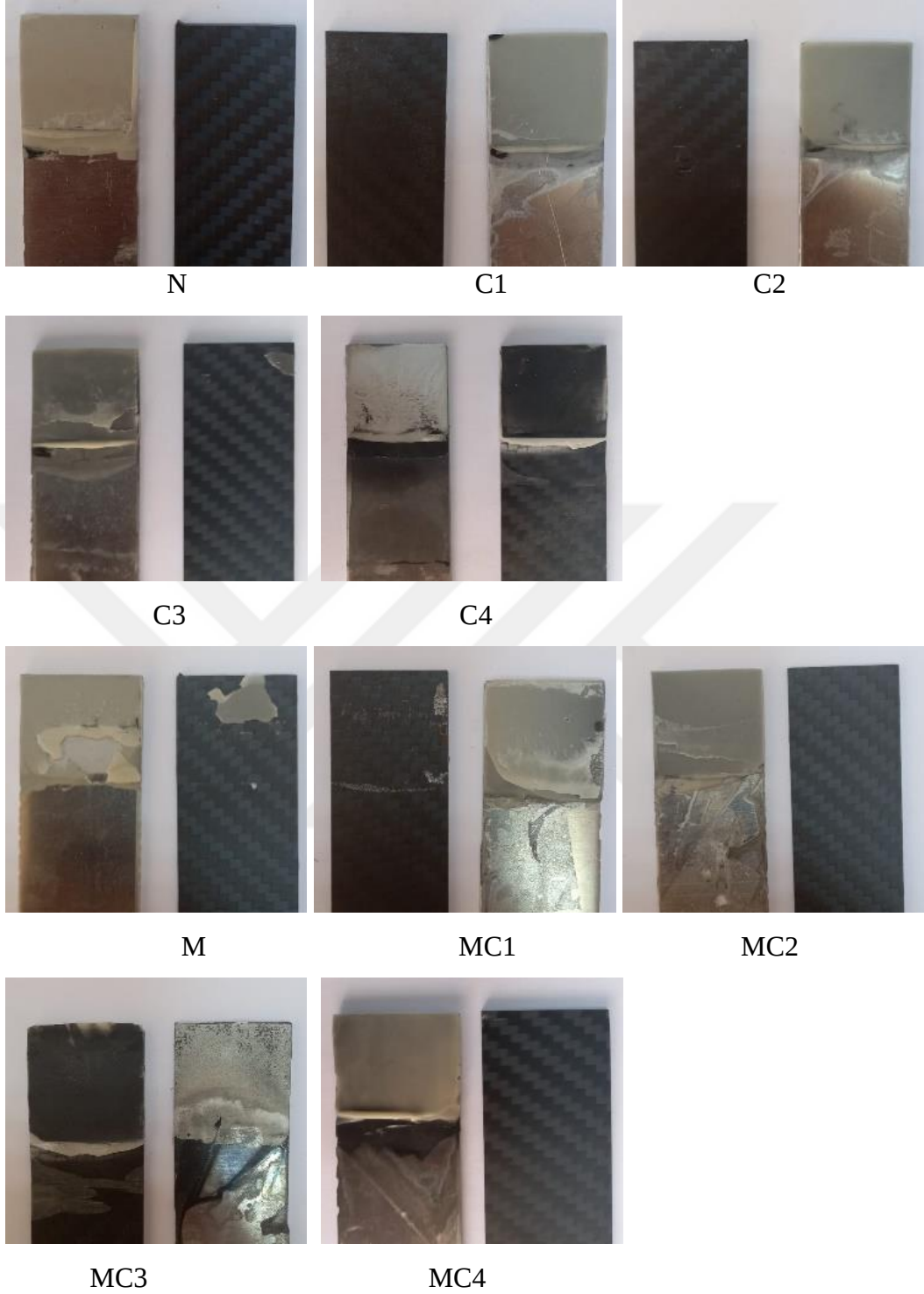


Şekil 3.17: Karbon Fiber Elyaf Dolgulu AA7075-T6/ Karbon Fiber Kompozit Yapıştırma Numunelerin Kuvvet-Uzama Grafiği.

Şekil 3.17’de karbon fiber elyaf dolgulu AA7075-T6/Karbon fiber kompozit yapıştırma bağlantılarında 9,410KN ile en yüksek maksimum yük değerlerine sahip MC1/H kodlu numunede elde edildiği görülmektedir. En düşük maksimum yük değerinin ise 4,174 KN yük değerindeki N/H numunede elde edilmiştir.

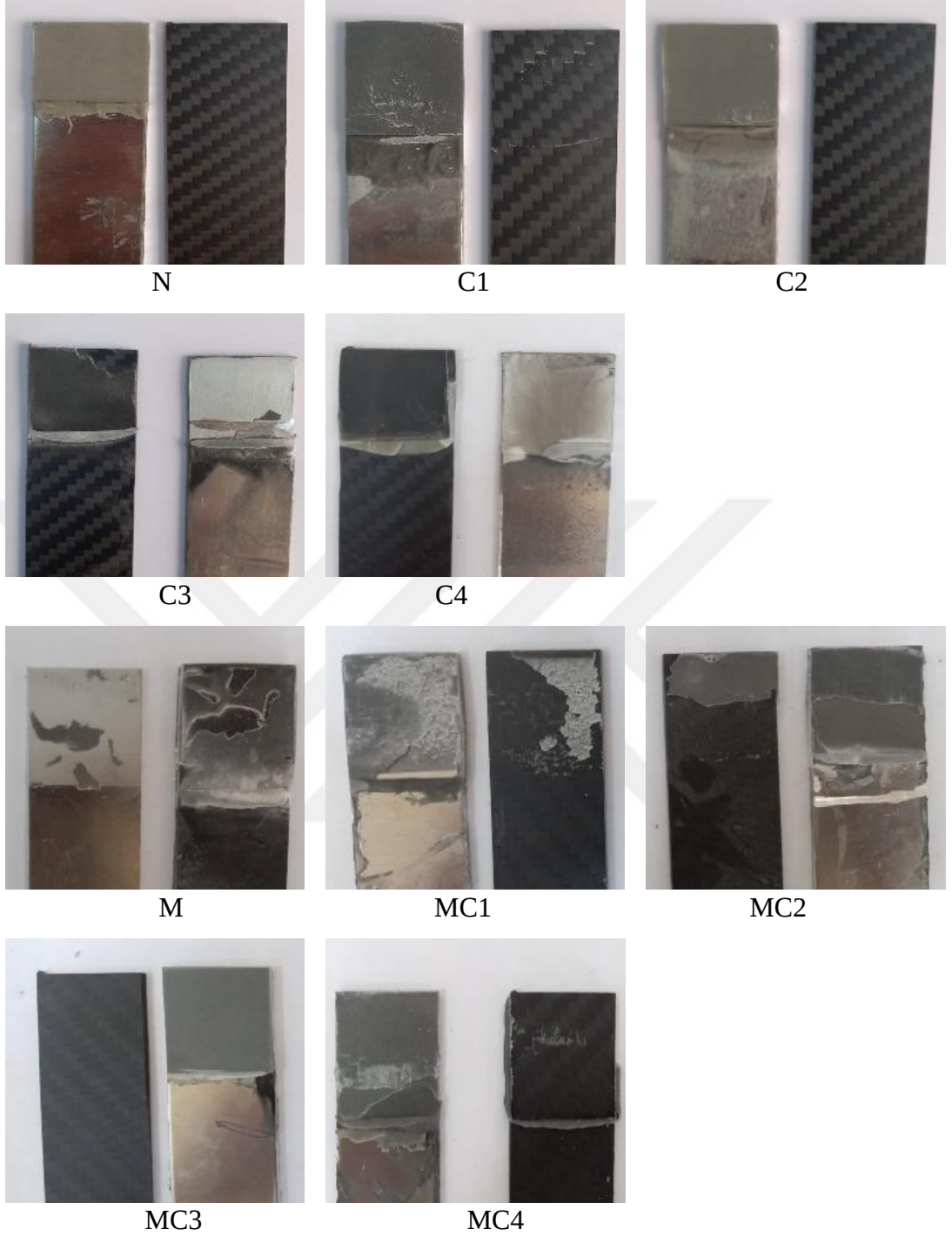
3.6.4. AA7075-T6/ Karbon Fiber Plakaların Yapışma Bağlantılarında Hasar Tipleri

ISO 10365 Standartlarına göre deformasyon türleri belirlenmiştir [77]. Araldite 2015 yapıştırıcı kullanılarak çekme testi yapılan numunelerin hasar tipleri Şekil 3.18-3.20’ de gösterilmiştir.



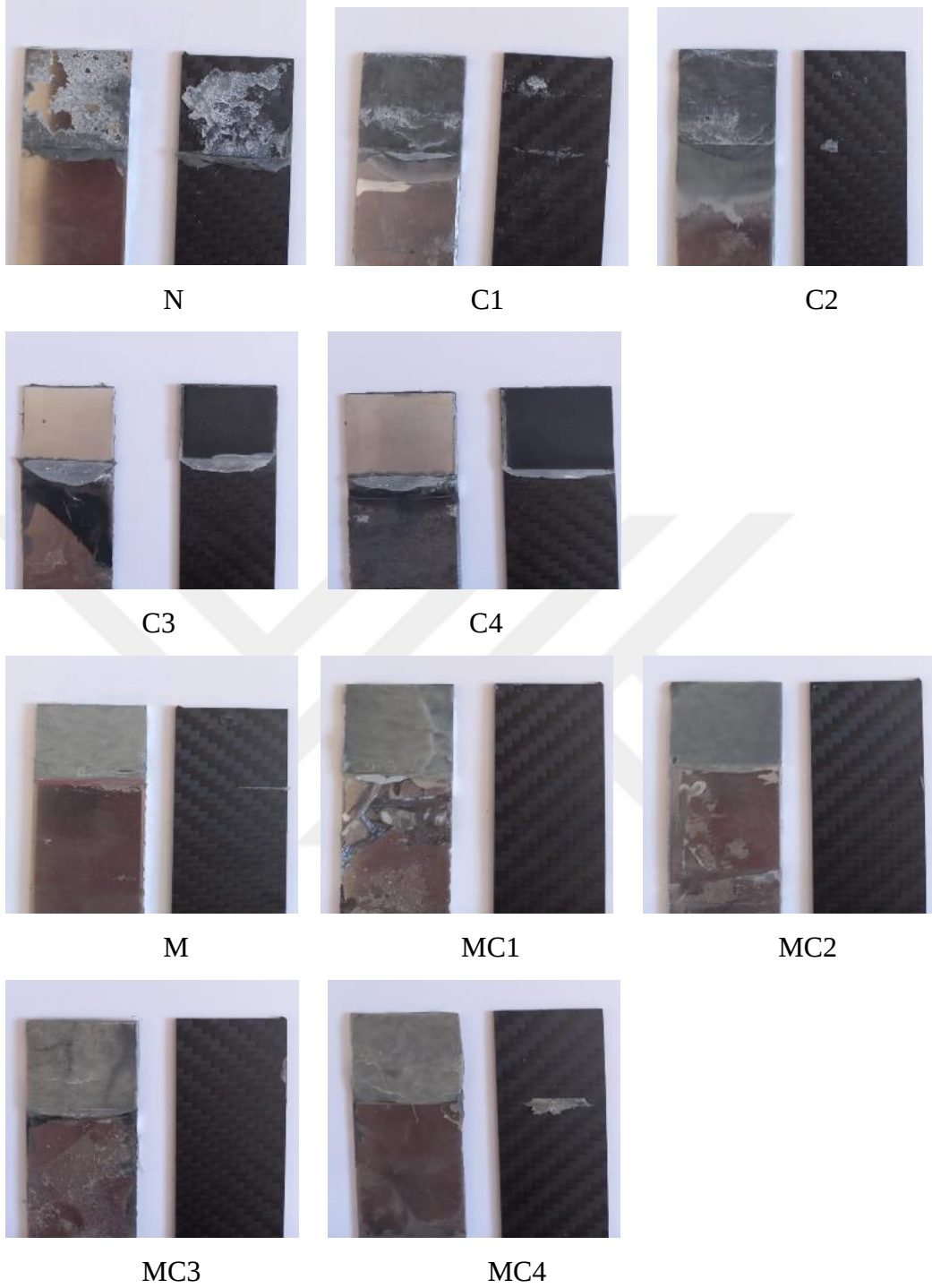
Şekil 3.18: AA7075-T6/Karbon Fiber Plaka Numunelerinde Dolgusuz Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri

Dolgusuz yapıştırma bağlantı elemanlarının çekme testi sonucunda, yapıştırıcının hasar tipleri Şekil 3.18’ de görülmektedir. N, C1, C3, MC2, MC3 ve MC4 kodlu numuneler adeziv hasar oluşurken diğer yapıştırma numunelerde karma hasar olduğu görülmektedir.



Şekil 3.19: AA7075-T6/ Karbon Fiber Plaka Numunelerinde Karbon Fiber Toz Dolgulu Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri

Karbon fiber toz dolgulu yapıştırma bağlantı elemanlarının çekme testi sonucunda yapıştırma yüzeylerinde oluşan hasar tipleri Şekil 3.19’ da görülmektedir. N, C1, C2, C4, MC3 ve MC4 kodlu numunelerde adeziv hasar oluşurken C3, M, MC1 ve MC2 numunelerinde ise karma hasar olduğu tespit edilmiştir



Şekil 3.20: AA7075-T6/Karbon Fiber Plaka Numunelerinde Karbon Fiber Elyaf Dolgulu Yapıştırma Bağlantı Elemanlarının Çekme Testi Sonucu Yüzey Görüntüleri

Karbon fiber elyaf dolgulu yapıştırma bağlantı elemanlarının çekme test sonucunda yapıştırma yüzeylerinde oluşan hasar tipleri Şekil 3.20’ de görülmektedir. N kodlu numunelerde koheziv hasar oluşmuştur ve diğer yapıştırma bağlantılarında ise numunelerin yüzeylerinde adeziv hasar olduğu görülmektedir.

Tablo 3.7: AA7075-T6/ Karbon Fiber Plaka Yapıştırma Bağlantılarında Görülen Hasar Tipleri

DOLGUSUZ		KARBON FİBER TOZ DOLGULU		KARBON FİBER ELYAF DOLGULU	
N	Adeziv	N-Kp	Adeziv	N-Kf	Koheziv
C1	Adeziv	C1-Kp	Adeziv	C1-Kf	Adeziv
C2	Adeziv	C2-Kp	Adeziv	C2-Kf	Adeziv
C3	Adeziv	C3-Kp	Adeziv	C3-Kf	Adeziv
C4	Karma	C4-Kp	Karma	C4-Kf	Adeziv
M	Karma	M-Kp	Karma	M-Kf	Adeziv
MC1	Karma	MC1-Kp	Karma	MC1-Kf	Adeziv
MC2	Adeziv	MC2-Kp	Adeziv	MC2-Kf	Adeziv
MC3	Adeziv	MC3-Kp	Adeziv	MC3-Kf	Adeziv
MC4	Adeziv	MC4-Kp	Adeziv	MC4-Kf	Adeziv

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yüksek lisans çalışmasında, endüstriyel uygulama alanı çok geniş olan yapıştırma bağlantı elemanlarının mekanik özelliklerinin iyileştirmek amacıyla belirli oranlarda karbon fiber toz ve karbon fiber kırılmış elyaf dolgu malzemesi eklenerek elde edilen yapıştırıcıların tek bindirme bağlantı elemanları oluşturularak yapıştırıcıların mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- İşlem görmemiş yüzeylerle yapılan yapıştırma bağlantı dayanımları tüm işlem görmüş yüzey bağlantılarına göre düşüktür. Aşındırılmış numune yüzeylerin mikro çukurcuklar, paralel vadiler, taşıma esnasında malzeme yüzeyinde oluşan çizikler ve derin gözenekli morfolojik yapılar oluştuğundan olası mekanik kenetlenmeyi güçlenerek yapışma dayanımı artmıştır. Yüzeyde oluşan mikro çukur ve gözeneklere yapıştırıcının tamamen nüfuz etmesi sonucundan kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Yapıştırma bağlantılarında, yüzey pürüzlülüğünün yapışma dayanımını direkt etkilediği bilinmektedir. Kimyasal yüzey aşındırma yapılmış C1 ile hibrit aşındırılmış MC1 numune yüzeyleri farklı morfolojiye fakat yakın Sa değerlerine sahiptir. C1 ve MC1 numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri yaklaşık 2-2,5 µm arasında ve bu numuneler maksimum yapışma dayanımlarına sahiptir. Daha düşük ve yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine sahip diğer numunelerin yapışma dayanımları C1 ve MC1 numunesine göre daha azdır. Çalışmadan optimum yüzey pürüzlülük değerlerin bu aralıkta olması kanaatine varılmıştır.
- AA7075-T6/AA7075-T6 plakaların deneysel sonuçlara göre, dolgusuz yapıştırma bağlantılarında maksimum yük, kırılma yükü ve maksimum gerilme değerlerinin düşük olduğu, yapıştırıcıya eklenen dolgu ile bu değerlerin çoğunun arttığı tespit edilmiştir. Karbon fiber toz dolgu eklenmiş yapıştırma bağlantı dayanım değerleri ile dolgusuz yapıştırma bağlantı dayanım değerleri kıyaslandığında maksimum yük %0,424-%42,67 aralığında artış göstermiştir. Fakat N, C2 ve MC4 kodlu numunelerde maksimum yük değerlerinde sırasıyla % 9,07, %4,97, %8,25 azalma

olduğu tespit edilmiştir. Kırılma yük değerlerinde ise dolgusuz ve karbon fiber toz dolgu kullanılarak yapılan yapışma bağlantılarına göre %0,66-%29,26 arasında artış olmuş ancak C2 ve MC4 kodlu numunelerde sırasıyla %20,97, %12,33 azalma olduğu tespit edilmiştir. Yine dolgusuz ve karbon fiber toz dolgu kullanılarak yapılan yapışma bağlantılarında maksimum gerilme değerleri %0,40 ile %42,66 artmış ancak N, C2 ve MC4 kodlu numunelerde sırasıyla % 9,05, %4,98, %8,23 azalmıştır.

AA7075-T6/ AA7075-T6 plaka yapıştırma bağlantılarında yapıştırıcıya karbon fiber toz dolgulu eklenerek elde edilen yapıştırma bağlantı elemanlarının karbon fiber elyaf dolgulu yapıştırma bağlantı elemanlarına göre maksimum yük değerleri %0,39 ile %42,02 artmıştır ancak C4 ve M kodlu numunelerde de %0,43 ve %12,03 değerinde azalma tespit edilmiştir. Kırılma yük değerlerine bakıldığında ise % 9,42 ile 41,00 değerinde artış gösterirken C4, M ve MC3 kodlu numune değerinde ise sırasıyla % 18,83, % 8,48 ve % 3,63 azalmıştır. Maksimum gerilme değerleri ise %0,38 ile %42,01 artmış ancak C4 ve M kodlu numunelerinde de %0,38 ve %12,02 değerinde azalma tespit edilmiştir.

AA7075-T6/ AA7075-T6 plaka ile karbon fiber toz dolgu eklenerek oluşturulan yapıştırma bağlantılarında dolgusuz ve karbon fiber elyaf eklenerek oluşturulan yapıştırma bağlantılarına göre daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Karbon fiber toz dolgu eklenerek elde edilen bağlantıların içinde kumlama+0.5M HCI asit ile hibrit aşındırma yapılmış MC1 kodlu numunenin maksimum yükü 12,09kN, kırılma yükü 10,92kN, maksimum gerilmenin 241,84MPa ile yapışma bağlantı dayanımı en yüksek numune olduğu görülmektedir.

- AA7075-T6/ Karbon fiber kompozit plaka ile elde edilen dolgusuz yapıştırma bağlantılarının karbon fiber toz ve karbon fiber elyaf dolgu eklenerek elde edilen yapıştırma bağlantılarının deneysel sonuçlara göre dayanımları incelenmiştir. Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcıya eklenen dolgu malzemeleri yapıştırıcının maksimum yük, kırılma yükü ve maksimum gerilme değerlerinde artış olduğu fakat nadiren de olsa değerlerin düştüğü tespit edilmiştir. Karbon fiber toz dolgu

eklenmiş yapıştırma bağlantı değerleri ile dolgusuz yapıştırma bağlantılarının yapışma dayanım değerleri karşılaştırıldığında maksimum yük %12,60-%51,93 aralığında artmıştır. Kırılma yük değerlerinde ise karbon fiber toz dolgu eklenmiş yapıştırma bağlantılarının dolgusuz yapıştırma bağlantısına göre %6,35 ile %59,74 arasında artış sağladığı tespit edilmiştir. Maksimum gerilme değerlerinde ise karbon fiber toz dolgulu yapıştırma bağlantısı dolgusuz yapıştırma bağlantısına göre %12,59 ile %51,94 artışa gözlemlenmiştir.

AA7075-T6/ Karbon fiber kompozit plaka kullanılarak elde edilen karbon fiber toz dolgulu yapıştırma bağlantı elemanlarının karbon fiber elyaf dolgulu yapıştırma bağlantı elemanlarına göre kıyaslandığında toz dolgulu yapıştırma bağlantısının karbon fiber elyaf dolgulu yapıştırma bağlantısına göre maksimum yük değerleri %7,14 ile %69,04 artmış ancak MC2/H kodlu numune de ise %6,62 değerinde azalmıştır. Kırılma yük değerlerinde karbon fiber toz dolgulu yapıştırma bağlantısı karbon fiber elyaf dolgu eklenmiş yapıştırma bağlantısına göre % 6,49 ile % 83,87 değerinde artış gösterirken MC2/H kodlu numune değerinde %11,94 azalmıştır. Maksimum gerilme değerleri ise %7,13 ile %69,02 artmış ancak MC2/H kodlu numunede ise %6,62 azalma olduğu tespit edilmiştir.

Karbon fiber toz dolgu eklenerek elde edilen AA7075-T6/ karbon fiber kompozit plakaların yapıştırma bağlantıları ile dolgusuz ve karbon fiber elyaf dolgulu yapıştırma bağlantılarına göre kıyaslanacak olursa karbon fiber toz dolgu katkısının bağlantıların dayanımlarını arttırdığı görülmektedir. Karbon fiber toz dolgu eklenerek yapılan deneylerin arasında ise kumlama+0.5M HCl asit ile dağlama yapılmış MC1/H kodlu numune maksimum yapışma dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Karbon fiber toz dolgu eklenmiş yapıştırıcı ile MC1/H kodlu numuneden elde edilen yapıştırma bağlantısındaki deneysel verilere göre maksimum yük 12,081KN, kırılma yükü 11,086KN maksimum gerilmenin 241,613MPa olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak toz dolgu katkılı AA7075-T6/ AA7075-T6 ve AA7075-T6/ karbon fiber kompozit plaka ile elde edilen tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında en iyi yapışma dayanımları elde edilmiştir.

- Çalışmada yüzey aşındırma işlemleri olan mekanik ve kimyasal aşındırma uygulanmış numunelerin yapışma dayanımları incelenmiştir. Mekanik ve kimyasal aşındırma uygulanan yüzeylerin yapışma dayanımı işlem görmemiş numunelere göre yapışma dayanımları artmıştır. Kimyasal aşındırmalardan HCl asit ile aşındırılan numunelerin NaOH çözelti ile aşındırılan numunelere göre yapışma dayanımı daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. HCl asit ve NaOH çözeltilerinin molaritelerinin artması ile yapışma dayanımlarının düştüğü tespit edilmiştir. Dolgusuz, karbon fiber toz dolgulu ve karbon fiber elyaf dolgulu yapıştırma bağlantılarında AA7075-T6 numune yüzeylerine uygulanan aşındırma işlemlerinden kumlama+0,5M HCl asit ile aşındırılmış MC1 kodlu numunede yapışma dayanımı en yüksek değere sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Yüzey pürüzlülük değerleri ile yüzey enerji değerlerinin değişimi arasında bir ilişkileri mevcut değildir. Yüzey enerjisi yüzeyin topografik yapısından direk etkilendiği bilinmektedir.
- Aşındırma yapılan AA7075-T6 numunelerin yüzey enerji değerleri incelenmiştir. Yüzey enerji değerlerinin, yüzey pürüzlülük değerleri büyük ve küçük olduğu yerlerde yüzey enerji değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerinin büyük olduğu yerlerde yüzey enerjisinin düşük çıkma sebebi hava kabarcıklarının oluşarak yüzey alanına tam temas edememesi ve bundan dolayı tam ıslatma gerçekleşmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] M. D. Aydin, S. Akpınar, S. Erdoğan, Ve A. Özel, “Kayma Yüğüne Maruz Yapıştırma Bağlantılarından Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, *Mühendis Ve Makina*, C. 56, Sy 668, Art. Sy 668, Eyl. 2015.
- [2] Tuğçe Erol (Son) Ve Doç. Dr. Güralp Özkoç, “Termoplastik Nişasta Esaslı Sıcak Eriyik Yapıştırıcıların Hazırlanması Ve Performans Özelliklerinin İncelenmesi / Preparation Of Thermoplastic Starch Based Hot Melt Adezivs And Investigation Of Their Performance”, Tez, Kocaeli, Yök Tez, 2018.
- [3] “Ana Hatları İle Yapıştırıcılar”. <https://www.kitapyurdu.com/Kitap/Ana-Hatlari-ile-Yapistiricilar/293050.html> (Erişim Ara. 21, 2020).
- [4] M. Özenç, “Yapıştırma Bağlantılarının Darbe Yüğüleri Altındaki Davranışlarının İncelenmesi”, *An Investigation Of Adezivly Bonded Joints Behavior Under Impact Loads*, Haz. 2007, Erişim: Ara. 16, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://acikerisim.pau.edu.tr:8080/xmlui/handle/11499/1382>.
- [5] L. D. R. Grant, R. D. Adams, Ve L. F. M. Da Silva, “Experimental And Numerical Analysis Of Single-Lap Joints For The Automotive İndustry”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 29, Sy 4, Ss. 405-413, Haz. 2009, Doi: 10.1016/j.ijadhadh.2008.09.001.
- [6] A. Higgins, “Adeziv Bonding Of Aircraft Structures”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 20, Sy 5, Ss. 367-376, Oca. 2000, Doi: 10.1016/S0143-7496(00)00006-3.
- [7] E. Çetkin, Ş. Temiz, Ve R. K. Ergün, “Farklı Çentik Geometrisine Sahip Alüminyum Levhaların Alüminyum Yamalarla Tamirinin Araştırılması”, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilim. Derg.*, C. 6, Sy 2/2, Art. Sy 2/2, Şub. 2016.
- [8] Mürsel Ekrem, “Karbon Nanotüp Ve Polivinil Alkol Nanoelyafla Güçlendirilmiş Epoksi Yapıştırıcıların Alüminyum Bağlantılar Üzerindeki Kırılma Davranışları”, Tez, Selçuk Üniversitesi, 2015.
- [9] M. Mansourian-Tabaei, S. H. Jafari, Ve H. A. Khonakdar, “Lap Shear Strength And Thermal Stability Of Diglycidyl Ether Of Bisphenol A/Epoxy Novolac Adezivs With Nanoreinforcing Fillers”, *J. Appl. Polym. Sci.*, C. 131, Sy 6, 2014, Doi: <https://doi.org/10.1002/app.40017>.

- [10] J. Fu, L. Shi, D. Zhang, Q. Zhong, Ve Y. Chen, “Effect Of Nanoparticles On The Performance Of Thermally Conductive Epoxy Adezivs”, *Polym. Eng. Sci.*, C. 50, Sy 9, Ss. 1809-1819, 2010, Doi: <https://doi.org/10.1002/pen.21705>.
- [11] M. D. Aydın, P. Temýz, Ve A. Özel, “Yapısal Yapıştırıcıların Mekanýk Özelliklerýnýn Belýrlendýđý Deneysel Yöntemler”, S. 7.
- [12] L. Kodakoğlu, “Yapıştırıcıların Genel Özellikleri Ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapışma Birleşmesinin Analitik Ve Nümerik Olarak İncelenmesi”, Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.
- [13] Ahmet Çalık, “Yapıştırıcılar Ve Köşeleri Yuvarlatılmış Basamaklı Bindirme Yapıştırıcı Bağlantılarda Gerilme Analizi”, Tez, Zonguldak Karaelmas, 2008.
- [14] A. Bekem, H. Ercan, Ve M. Doğu, “Uçak Sanayiinde Kullanılan Balpeteği Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi”, S. 6.
- [15] İ. Saraç, “Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında Epoksi Yapıştırıcı İçerisinde Nanopartikül Kullanılmasının Bağlantının Statik Ve Yorulma Mukavemetine Etkisinin Araştırılması”, *Experimental Determination Of The Static And Fatigue Strength Of Adeziv Joints Bonded Epoxy Adeziv Included Al2o3, Tio2 And Sio2 Nanoparticles*, Şub. 2018, Erişim: Ara. 16, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://eprints.batman.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12402/2484>.
- [16] Muhammet Ali Şenyurt, “Grafen Ve Naylon 6.6 Nano Elyaf Katkılı Yapıştırıcıların Alüminyum-Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Levhaların Yapıştırma Bağlantılarına Farklı Sıcaklık Koşulları Altında Etkisi”, Tez, Selçuk Üniversitesi, Yüksek Tez, 2017.
- [17] İ. Saraç, H. Adın, Ve Ş. Temiz, “Experimental Determination Of The Mechanical Properties Of Adeziv Joints Bonded Epoxy Adeziv Included Al2o3 Nanoparticle”, *Eur. J. Tech.*, C. 6, Sy 2, Art. Sy 2, Ağu. 2016.
- [18] K. L. Edwards, “A Brief Insight Into The Selection And Use Of Engineering Adezivs For Preliminary Joint Design”, *Mater. Des.*, C. 19, Sy 3, Ss. 121-123, Haz. 1998, Doi: 10.1016/S0261-3069(98)00011-9.
- [19] J. H. Waite, “Nature’s Underwater Adeziv Specialist”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 7, Sy 1, Ss. 9-14, Oca. 1987, Doi: 10.1016/0143-7496(87)90048-0.

- [20] “Alianza Sıdalc”. [Http://Www.Sidalc.Net/Cgi-Bin/Wxis.Exe/?Isisscript=Cıcy.Xis&Method=Post&Formato=2&Cantidad=1&Expression=Mfn=002661](http://Www.Sidalc.Net/Cgi-Bin/Wxis.Exe/?Isisscript=Cıcy.Xis&Method=Post&Formato=2&Cantidad=1&Expression=Mfn=002661) (Erişim Ara. 27, 2020).
- [21] H. Parvatareddy, “Durability Of Polyimide Adezivs And Their Bonded Joints For High Temperature Applications”, Kas. 1997, Erişim: Ara. 17, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://Vtechworks.Lib.Vt.Edu/Handle/10919/29554>.
- [22] K. A. Barbee, T. Mundel, R. Lal, Ve P. F. Davies, “Subcellular Distribution Of Shear Stress At The Surface Of Flow-Aligned And Nonaligned Endothelial Monolayers”, *Am. J. Physiol.-Heart Circ. Physiol.*, C. 268, Sy 4, Ss. H1765-H1772, Nis. 1995, Doi: 10.1152/Ajpheart.1995.268.4.H1765.
- [23] D. A. Dillard, “13 - Improving Adeziv Joint Design Using Fracture Mechanics”, İçinde *Advances In Structural Adeziv Bonding*, D. A. Dillard, Ed. Woodhead Publishing, 2010, Ss. 350-388.
- [24] S. Ebnesajjad, *Handbook Of Adezivs And Surface Preparation: Technology, Applications And Manufacturing*. William Andrew, 2010.
- [25] C. A. Harper, *Handbook Of Plastics And Elastomers*. Mcgraw-Hill, 1975.
- [26] L. F. M. Da Silva, A. Öchsner, Ve R. D. Adams, Ed., *Handbook Of Adhesion Technology*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.
- [27] H. Ad, “Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Ters Z Tipi Kompozit Malzeme Bağlantılarının Mekanik Analizi”, S. 248.
- [28] Ş. Temiz, “Yapışma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisinin İncelenmesi”, Tez, Atatürk Üniversitesi, 2003.
- [29] T. Şekercioğlu Ve M. Özenç, “MetalleriN Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama YöntemleriNiN İncelenmesi”, *Investig. Surf. Prep. Methods Bond. Met.*, Sy 627, Ss. 43-50, Nis. 2012.
- [30] Şerif Çitil, “Ortası Boş Ve Ara Elemanlı Çift Takviyeli Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Tez, Atatürk Üniversitesi, 2012.
- [31] M. 29. R. G. Ve Roberts, C. W. ., “Photophysical Processes And İnteractions Between Poly (Ethylene Terephthalate) And 1-Amino-2-(2-Methoxyethoxy)-4-Hydroxy-9, 10-Anthraquinone”, *Journal Of Applied Polymer Science*, Sy 10, S. 21, 1977.

- [32] Aydın, M.D, “Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Tek Tesirli Bindirme Bağlantısının Mekanik Özelliklerinin Deneysel Ve Teorik İncelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, 2003.
- [33] *Handbook Of Adezivs And Surface Preparation*. .
- [34] Kürşat Gültekin, “Havacılık Alanında Kullanılan Nanoyapı Katkılı Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Tez, Atatürk Üniversitesi, Yök Tez, 2018.
- [35] D. G. Brandon Ve W. D. Kaplan, “Joining Processes: An Introduction”, *Join. Process. Introd. David G Brandon Wayne Kaplan Pp 378 Isbn 0-471-96488-3 Wiley-Vch May 1997*, May. 1997, Erişim: Ara. 17, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://Adsabs.Harvard.Edu/Abs/1997jpa.Book.....B](http://adsabs.harvard.edu/abs/1997jpa.book.....B).
- [36] H. Ad, “Bazı Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, S. 8.
- [37] Z. Zhang, J.-L. Yang, Ve K. Friedrich, “Creep Resistant Polymeric Nanocomposites”, *Polymer*, C. 45, Sy 10, Ss. 3481-3485, May. 2004, Doi: 10.1016/J.Polymer.2004.03.004.
- [38] J. Li Ve A. Dasgupta, “Failure-Mechanism Models For Creep And Creep Rupture”, *Ieee Trans. Reliab.*, C. 42, Sy 3, Ss. 339-353, Eyl. 1993, Doi: 10.1109/24.257816.
- [39] Merriam J. C., *Adeziv Bonding Materials Design Engineering*, C. 50. 1959.
- [40] H. Deng, X. Gong, Ve L. Wang, “Development Of An Adaptive Tuned Vibration Absorber With Magnetorheological Elastomer”, *Smart Mater. Struct.*, C. 15, Sy 5, Ss. N111-N116, Ağu. 2006, Doi: 10.1088/0964-1726/15/5/N02.
- [41] Kayacan, R., “Yapıştırma Ve Metal Bağlantılar İçin Yapıştırıcı Kullanımı.”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teik Üniversitesi, 1988.
- [42] M. Y. Solmaz, “Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz Ve Tasarımları / Mechanical Analysis And Design Of Adeziv Bonded Joints”, 2008, Erişim: Ara. 17, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Https://Openaccess.Firat.Edu.Tr/Xmlui/Handle/11508/20409](https://openaccess.firat.edu.tr/xmlui/handle/11508/20409).
- [43] Belin Kanar, “Nanoyapı Katkılı Yapıştırıcıların Ortam Sıcaklığı Ve Termal Çevrim Altında Kırılma Davranışının İncelenmesi”, Tez, Erzurum Teknik Üniversitesi, Yök Tez, 2018.

- [44] “What Is Surface Energy? Calculation Models And More Explained”, *Ossila*. <https://www.ossila.com/pages/a-guide-to-surface-energy> (Erişim Ara. 17, 2020).
- [45] M. Annamalai Vd., “Surface Energy And Wettability Of Van Der Waals Structures”, *Nanoscale*, C. 8, Sy 10, Ss. 5764-5770, Mar. 2016, Doi: 10.1039/C5nr06705g.
- [46] H. A. Güleç, K. Sarıog˘lu, Ve M. Mutlu, “Modification Of Food Contacting Surfaces By Plasma Polymerisation Technique. Part I: Determination Of Hydrophilicity, Hydrophobicity And Surface Free Energy By Contact Angle Method”, *J. Food Eng.*, C. 75, Sy 2, Ss. 187-195, Tem. 2006, Doi: 10.1016/J.jfoodeng.2005.04.007.
- [47] M. Alfano, C. Morano, F. Moroni, F. Musiari, G. Danilo Spennacchio, Ve D. Di Lonardo, “Fracture Toughness Of Structural Adezivs For The Automotive İndustry”, *Procedia Struct. Integr.*, C. 8, Ss. 561-565, Oca. 2018, Doi: 10.1016/J.prostr.2017.12.055.
- [48] Y. Hu, B. Yuan, F. Cheng, Ve X. Hu, “Naoh Etching And Resin Pre-Coating Treatments For Stronger Adeziv Bonding Between Cfrp And Aluminium Alloy”, *Compos. Part B Eng.*, C. 178, S. 107478, Ara. 2019, Doi: 10.1016/J.compositesb.2019.107478.
- [49] C. Sun Ve J. C. Berg, “The Effective Surface Energy Of Heterogeneous Solids Measured By İnverse Gas Chromatography At İnfinite Dilution”, *J. Colloid Interface Sci.*, C. 260, Sy 2, Ss. 443-448, Nis. 2003, Doi: 10.1016/S0021-9797(02)00238-2.
- [50] Sahaf A., “Investigating The Use Of Phenolic Rich Fraction Of Pyrolysis Biooils As An Adeziv System, Washington, 2013”, Doktora Tezi, Washington State University, Materials Science And Engineering Program, 2013.
- [51] A. D. Crocombe Ve R. D. Adams, “Peel Analysis Using The Finite Element Method”, *J. Adhes.*, C. 12, Sy 2, Ss. 127-139, Haz. 1981, Doi: 10.1080/00218468108071194.
- [52] “Dokunarak Taramalı Profilometre – Daytam”. <http://daytam.atauni.edu.tr/cihazlar/dokunarak-taramali-profilometre/> (Erişim Ara. 17, 2020).

- [53] Cahide Elif Özen Cansoy, “Mikro Desenli Süperhidrofobik Yüzeylerde Yüzey Pürüzlülüğü İle Su Temas Açısı İlişkisi / Relationship Between Surface Roughness And Water Contact Angles On Micro Patterned Superhydrophobic Surfaces”, Tez, Kocaeli Üniversitesi, Yök Tez, 2011.
- [54] L. L. Zhai, G. P. Ling, Ve Y. W. Wang, “Effect Of Nano-Al₂O₃ On Adhesion Strength Of Epoxy Adeziv And Steel”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 28, Sy 1, Ss. 23-28, Oca. 2008, Doi: 10.1016/J.İjadhadh.2007.03.005.
- [55] Yasin Özdemir, “Nanoparçacık Katkılı Epoksi Esaslı Yapıştırıcıların Mekanik Ve Termal Özelliklerinin Araştırılması”, Tez, Necmettin Erbakan, 2018.
- [56] M. V. Çakır Ve D. Kinay, “Cam Elyaf Kompozitlerin Alüminyum Plaka İle Yapıştırılması Ve Yapışmanın Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Mühendis.-Mimar. Fakültesi Derg.*, C. 31, Sy Ös1, Art. Sy Ös1, Ağu. 2016, Doi: 10.21605/Cukurovaummfd.311893.
- [57] A. Rudawska Ve M. A. Wahab, “The Effect Of Cataphoretic And Powder Coatings On The Strength And Failure Modes Of En Aw-5754 Aluminium Alloy Adeziv Joints”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 89, Ss. 40-50, Mar. 2019, Doi: 10.1016/J.İjadhadh.2018.11.005.
- [58] A. Ozel, B. Yazici, S. Akpınar, M. D. Aydın, Ve Ş. Temiz, “A Study On The Strength Of Adezivly Bonded Joints With Different Adherends”, *Compos. Part B Eng.*, C. 62, Ss. 167-174, Haz. 2014, Doi: 10.1016/J.Compositesb.2014.03.001.
- [59] D. L. Alves, R. D. S. G. Campilho, R. D. F. Moreira, F. J. G. Silva, Ve L. F. M. Da Silva, “Experimental And Numerical Analysis Of Hybrid Adezivly-Bonded Scarf Joints”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 83, Ss. 87-95, Haz. 2018, Doi: 10.1016/J.İjadhadh.2018.05.011.
- [60] H. Adin, “The Effect Of Angle On The Strain Of Scarf Lap Joints Subjected To Tensile Loads”, *Appl. Math. Model.*, C. 36, Sy 7, Ss. 2858-2867, Tem. 2012, Doi: 10.1016/J.Apm.2011.09.079.
- [61] L. Yue, G. Pircheraghi, S. A. Monemian, Ve I. Manas-Zloczower, “Epoxy Composites With Carbon Nanotubes And Graphene Nanoplatelets – Dispersion And Synergy Effects”, *Carbon*, C. 78, Ss. 268-278, Kas. 2014, Doi: 10.1016/J.Carbon.2014.07.003.

- [62] Y. Ayaz, Şerif Çitil, Ve Ş. Temiz, “Çekmeye Maruz Ara Parçalı Çift Takviyeli Yapıştırma Bağlantılarında Gerilme Analizi”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendis. Bilim. Derg.*, C. 17, Eki. 2014, Doi: 10.17780/Ksujes.52406.
- [63] M. Viljanmaa, A. Södergård, Ve P. Törmälä, “Lactic Acid Based Polymers As Hot Melt Adezivs For Packaging Applications”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 22, Sy 3, Ss. 219-226, Oca. 2002, Doi: 10.1016/S0143-7496(01)00057-4.
- [64] Q. Y. Wang Ve R. M. Pidaparti, “Static Characteristics And Fatigue Behavior Of Composite-Repaired Aluminum Plates”, *Compos. Struct.*, C. 56, Sy 2, Ss. 151-155, May. 2002, Doi: 10.1016/S0263-8223(01)00176-3.
- [65] H. Hadavinia, A. J. Kinloch, M. S. G. Little, Ve A. C. Taylor, “The Prediction Of Crack Growth İn Bonded Joints Under Cyclic-Fatigue Loading Ii. Analytical And Finite Element Studies”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 23, Sy 6, Ss. 463-471, Oca. 2003, Doi: 10.1016/S0143-7496(03)00075-7.
- [66] R. Mengel, J. Häberle, Ve M. Schlimmer, “Mechanical Properties Of Hub/Shaft Joints Adezivly Bonded And Cured Under Hydrostatic Pressure”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 27, Sy 7, Ss. 568-573, Eki. 2007, Doi: 10.1016/J.İjadhadh.2006.11.003.
- [67] F. A. Veer Ve J. Zuidema, “The Relation Between The Adeziv Application Method And The Fatigue Lifetime For A Photocatalytic Adeziv Joint”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 28, Sy 6, Ss. 291-295, Eyl. 2008, Doi: 10.1016/J.İjadhadh.2007.08.003.
- [68] A. A. Bezemer, C. B. Guyt, Ve A. Vlot, “New İmpact Specimen For Adezivs: Optimization Of High-Speed-Loaded Adeziv Joints”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 18, Sy 4, Ss. 255-260, Ağu. 1998, Doi: 10.1016/S0143-7496(97)00032-8.
- [69] S. K. Mazumdar Ve P. K. Mallick, “Static And Fatigue Behavior Of Adeziv Joints İn Smc-Smc Composites”, *Polym. Compos.*, C. 19, Sy 2, Ss. 139-146, 1998, Doi: <https://doi.org/10.1002/Pc.10084>.
- [70] J. W. Kwon Ve D. G. Lee, “The Effects Of Surface Roughness And Bond Thickness On The Fatigue Life Of Adezivly Bonded Tubular Single Lap Joints”, *J. Adhes. Sci. Technol.*, C. 14, Sy 8, Ss. 1085-1102, Oca. 2000, Doi: 10.1163/156856100743095.
- [71] G. Li Ve P. Lee-Sullivan, “Finite Element And Experimental Studies On Single-Lap Balanced Joints İn Tension”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 21, Sy 3, Ss. 211-220, Oca. 2001, Doi: 10.1016/S0143-7496(00)00052-X.

- [72] Y. Rao, D. Lu, Ve C. P. Wong, “A Study Of İmpact Performance Of Conductive Adezivs”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 24, Sy 5, Ss. 449-453, Eki. 2004, Doi: 10.1016/J.İjadhadh.2003.12.003.
- [73] T. M. B Ve B. Reza, “Studies On The Mechanical Behavior Of Epoxy-Clay Nanocomposite”, C. 20, Sy 187, Ss. 59-64, Oca. 2007.
- [74] M. K. Apalak, R. Güneş, Ve L. Fıdancı, “Geometrically Non-Linear Thermal Stress Analysis Of An Adezivly Bonded Tubular Single Lap Joint”, *Finite Elem. Anal. Des.*, C. 39, Sy 3, Ss. 155-174, Oca. 2003, Doi: 10.1016/S0168-874x(02)00062-8.
- [75] K. Kihara, H. Isono, H. Yamabe, Ve T. Sugibayashi, “A Study And Evaluation Of The Shear Strength Of Adeziv Layers Subjected To İmpact Loads”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 23, Sy 4, Ss. 253-259, Oca. 2003, Doi: 10.1016/S0143-7496(03)00004-6.
- [76] “The Evolution Of Residual Stresses İn Thermoplastic Bonding To Metals”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, C. 17, Sy 4, Ss. 353-357, Kas. 1997, Doi: 10.1016/S0143-7496(97)00030-4.
- [77] ISO 10365. Adeziv- Designation of main Failure patters. 1992(E).