



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**METAL YÜZEY BAĞLANTILARINDA
KULLANILAN YAPIŞTIRICILARIN
PERFORMANSINA FENOLİK REÇİNEİNİN
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Saliha SÖKEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Anabilim Dalı**

Haziran-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Saliha SÖKEN tarafından hazırlanan “Metal Yüzey Bağlantılarında Kullanılan Yapıştırıcıların Performansına Fenolik Reçinenin Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 21/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Sema KARSLIOĞLU

.....

Danışman

Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOCABAŞ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ... / 06 / 2023 gün ve ... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri koordinatörlüğü tarafından 211319029 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Saliha SÖKEN

22.06.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METAL YÜZEY BAĞLANTILARINDA KULLANILAN YAPIŞTIRICILARIN PERFORMANSINA FENOLİK REÇİNENİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Saliha SÖKEN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ

2023, 70 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Sema KARSLIOĞLU
Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOCABAŞ

Yapıştırıcılar, farklı malzemeleri güvenilir ve etkili bir şekilde birleştirebilmeleri nedeniyle çeşitli endüstriler ve uygulamalarda önemli rol oynamaktadır. Yapıştırıcıların performanslarını, kimyasalların yapıları, sertleşme mekanizması ve uygulama prosesi gibi faktörler belirler. Yapıştırıcılar, metal, plastik, kompozit ve diğer malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılır ve yapısal bütünlüğü artırma, ağırlık azaltma ve estetik açıdan gelişmişlik gibi faydalar sağlar. Metallerin yapıştırılması perçin, kaynak veya vida gibi bağlantı yöntemlerinin kullanılmadığı endüstriyel uygulamalarda çok önemli bir yöntemdir. Metal yapıştırıcıların kimyasal bileşenleri arasında epoksi, akrilik, poliüretan veya fenolik reçineler bulunmaktadır. Mevcut çalışmada, uzay-havacılık, savunma sanayii, gemi inşası ve raylı sistemler gibi birçok kritik sektörde kullanımı giderek yaygınlaşan alüminyum bal peteği yapıların imalatında kullanılan ithal yapıştırıcının yerlileştirilmesi amaçlanmıştır. İthal yapıştırıcının formülasyonu dikkate alınarak içeriğinde bulunan reçineye alternatif yerli üretim ticari beş farklı fenolik reçine kullanılarak yapıştırıcı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu beş farklı yapıştırıcının kimyasal, termal özellikleri FT-IR, TGA, RAMAN analizleri yardımıyla incelenmiştir. Yapıştırıcıların ıslatma kabiliyeti, yüzeydeki dağılımları Temas Açık Ölçüm ve Optik Profilometre cihazları ile tespit edilmiştir. Farklı fenolik reçinelerin mekanik performanslara etkileri standartlarda belirtilen mekanik testlerle belirlenmiştir. Fenolik reçinenin özellikleri, üretimi sırasında kullanılan pH ve viskozite gibi parametrelere göre değişkenlik göstermektedir. Fenolik reçine yapısında bulunan fonksiyonların olabildiğince artırılmasının uygulanan yapıştırıcı bütünlüğünü ve performansını doğrudan etkilediği tespit edilmiştir. Reçinelerin 13 ila 6.5 aralığında bulunan pH değerindeki azalmayla yapıştırıcı performansının yaklaşık %330 oranında arttığı tespit edilmiştir. Viskozitede görülen aşırı azalma ile birlikte yapıştırıcı kalınlığının yaklaşık 5,5 kat azaldığı ve yapışma performansına olumsuz yönde etkilediği anlaşılmıştır. Çalışmalar sonucunda endüstride ihtiyaç duyulan yerli üretim metal-metal yapıştırıcı eldesi hususunda önemli adımlar atılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal-Metal Yapıştırıcı, Fenolik Reçine, Alüminyum Bal Peteği

ABSTRACT
MS THESIS
INVESTIGATION OF THE PHENOLIC RESIN EFFECT ON THE
PERFORMANCE OF ADHESIVES USED IN METAL-METAL BONDING

Saliha SÖKEN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yasin Ramazan EKER
Co-Advisor: Assist. Prof. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

2023, 70 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Sema KARSLIOĞLU
Assoc. Prof. Dr. Yasin Ramazan EKER
Assist. Prof. Dr. Mustafa KOCABAŞ

Adhesives play a significant role in various industries and applications due to their ability to effectively and reliably bond different materials. The performance of adhesives is determined by factors such as chemical composition, curing mechanism, and application process. Adhesives are widely used in bonding metals, plastics, composites, and other materials, offering benefits such as enhancing structural integrity, reducing weight, and improving aesthetics. Bonding of metals is particularly crucial in industrial applications where traditional joining methods like riveting, welding, or screwing are not possible.

Metal adhesives typically consist of chemical components such as epoxy, acrylic, polyurethane, or phenolic resins. In this study, the aim was on the localization of an imported adhesive used in the manufacturing of aluminium honeycomb structures, which have gained increasing popularity in critical sectors such as aerospace, defence, shipbuilding, and rail systems. An alternative domestic adhesive was developed using five different commercially available phenolic resins as substitutes for the resin content in the imported adhesive formulation. The chemical and thermal properties of the five adhesives were investigated through FT-IR, TGA, and Raman analyses. The wetting ability and surface distribution of the adhesives were determined using Contact Angle and Optical Profilometer devices. The effects of different phenolic resins on mechanical performance were evaluated through lap shear tests according to appropriate standard.

The properties of phenolic resin can vary depending on process parameters such as pH and viscosity during production. It was found that increasing the functionality of the phenolic resin directly impacted the integrity and performance of the adhesive. A decrease in pH within the range of 13-6.5 led to an approximate 330% improvement in adhesive performance. Excessive decrease in viscosity resulted in a reduction of adhesive thickness by approximately 5.5 times, negatively affecting adhesion performance. As a result of these studies, significant steps have been taken towards the production of domestic metal-to-metal adhesives to meet the industry's needs.

Keywords: Metal Adhesive, Phenolic Resin, Aluminium Honeycomb

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum çalışmalarında, deneyimlerini benimle paylaşan ve yol gösteren, başta danışmanım Doç. Dr. Üyesi Yasin Ramazan EKER'e, aynı şekilde bilgisi ve tecrübeleriyle bizlere liderlik eden, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ'a, kıymetli bilgilerini bizlerden esirgemeyen, bilgisiyle, düşünce tarzıyla bizlere sağladığı katkılar sebebiyle Doç. Dr. Sema KARSLIOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım. Deneysel ve analiz çalışmalarında bizlere katkısı olan Emine ÖZKAN'a, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Veysel Murat BOSTANCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmaları gerçekleştirmemizde kıymetli katkılarından dolayı ALTIGEN UZAY HAVACILIK LTD. ŞTİ. ve fenolik reçine tedariki konusunda desteklerini esirgemeyen ÇUKUROVA KİMYA ENDÜSTRİSİ AŞ'ye teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde yanımda olan, sevgi ve desteklerini benden hiç esirgemeyen değerli aileme ve ailem gibi gördüğüm çok kıymetli arkadaşlarıma sevgi ve saygılarımı sunarım.

Saliha SÖKEN
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yapıştırıcıların Kullanım Alanları	4
1.2. Yapıştırıcıların Sınıflandırılması.....	5
1.2.1. Doğal yapıştırıcılar	6
1.2.2. Sentetik Yapıştırıcılar	7
1.2.3. Bağlantı Dayanımına Göre Yapıştırıcılar	9
1.2.4. Uygulama Yöntemine Göre Yapıştırıcılar	10
1.3. Yüzeylerin Islanması.....	10
1.4. Yapışma Mukavemetini Etkileyen Parametreler	13
1.4.1. Yapışacak Yüzeylerin Hazırlığı.....	13
1.4.2. Yapışacak Yüzey Morfolojisi	16
1.4.3. Yapıştırıcı Kalınlığı	17
1.5. Yapışma Bağlantılarının Test Yöntemleri ve Yapışma Performansı	18
1.5.1. Çekme Testi	20
1.5.2. Kayma Testi	21
1.5.3. Basma Testi.....	22
1.5.4. Soyulma Testi	22
1.5.5. Ayrılma Testi	23
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
3.1. Yapıştırıcı Hazırlığı	29
3.2. Mekanik Testler için Numune Hazırlığı	31
3.3. Yapıştırıcı ve Bileşenlerin Karakterizasyonu	34
3.3.1. Yapıştırıcı ve Bileşenlere Uygulanan Termal Analizler	34
3.3.2. Yapıştırıcı ve Bileşenlerine Uygulanan Kimyasal Analizler	35
3.3.3. Yapıştırıcı ve Bileşenlerine Uygulanan Yüzey Analizleri.....	37
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1. Yapıştırıcı ve Reçinelerin Karakterizasyonu	40
4.1.1. Bileşenlerin ve Yapıştırıcının Kimyasal Yapı Analizi (FT-IR).....	40
4.1.2. Yapıştırıcı ve Reçinelerin Termal Bozunması.....	41

4.1.3. K�r�lenmemiş Yapıştırıcının Islatma Kabiliyeti	43
4.2. K�r�lenmiş Yapıştırıcıların Mekanik Performansı.....	45
4.3. Ayrılan Yüzeylerin Karakterizasyonu	47
4.3.1. Optik ile Yayılma Alanının Belirlenmesi	47
4.3.2. Optik Profilometre ile Yapıştırıcı Kalınlığının İncelenmesi.....	48
4.3.3. Raman Haritalama ile Yapıştırıcı Homojenliğinin İncelenmesi.....	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
5.1 Sonuçlar	53
5.2 �neriler	54
6. KAYNAKLAR	56



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
γ_s	Katı yüzeyin gerilimi
γ_L	Sıvının yüzey gerilimi
γ_{SL}	Katı yüzey ve sıvı arasındaki gerilim
θ	Sıvının yüzeyle yaptığı temas açısı
R_a	Yüzey pürüzlülüğü
σ	Çekme gerilmesi
F	Kuvvet
F_{ort}	Ortalama kuvvet
A	Alan
ε	Uzama
l	Boy
E	Young modülü
τ	Kayma gerilimi
$\emptyset$	Kayma gerinimi
G	Kayma modülü

Kısaltmalar

μm	Mikrometre
mm	Milimetre
cm	Santimetre
μl	Mikrolitre
MPa	Megapaskal
N	Newton
NaOH	Sodyum hidroksit
HCl	Hidroklorik asit
NH ₃	Amonyak,
TEA	Trietilamin
TGA	Termogravimetrik Analiz
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
MSDS	Malzeme güvenlik bilgi formu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yapısal bütünlüğü bozulmamış (a) ve bozulmuş (b) bir malzemede kuvvet çizgilerini gösteren diyagram [3]	2
Şekil 1.2. Bal Peteği Yapılarında Çekirdek Yapıştırıcısının Kullanımı[8]	4
Şekil 1.3. Yapıştırıcıların basit sınıflandırması [4].....	6
Şekil 1.4. Yüksek Dayanımlı Yapısal Yapıştırıcılar [9]	9
Şekil 1.5. Yapışma yüzeylerinde oluşan kuvvetler [10].....	11
Şekil 1.6. Yüzey Gerilimini açıklayan kuvvet diyagramı [1].....	12
Şekil 1.7. Katı alt yüzeyin sıvı ile ıslanması [1].....	12
Şekil 1.8. Yüzey İşlemleri	14
Şekil 1.9. Mekanik Aşındırma İşleminin Metal Yüzeyde Etkisi [15]	15
Şekil 1.10. Yüzey Pürüzlülüğünün Kayma Dayanımına Etkisi [18].....	16
Şekil 1.11. Bindirmeli bağlantı kuvvetinin yapıştırıcı kalınlığına bağlı değişimi [24]..	18
Şekil 1.12. Yapıştırıcı Bağlantılarında Görülen Gerilim Kuvvetleri [4]	19
Şekil 1.13. Tek Tesirli Bindirme Bağlantılarının Şeması.....	21
Şekil 1.14. Soyulma Testi ve Kuvvet Doğrultuları [27].....	23
Şekil 1.15. Ayrılma Testi ve Kuvvet Doğrultuları [27].....	23
Şekil 2.1. Fenolik ve Novalak Türü Fenolik Reçinelerin Kimyasal Yapısı [10].....	25
Şekil 3.1. Manyetik Karıştırıcı ile Yapıştırıcıların Hazırlanması Süreci.....	30
Şekil 3.2. Uygulamaya Hazırlanmış Yapıştırıcılar	31
Şekil 3.3. Yapıştırma İşlemi Öncesi Alüminyum Levhaların Hazırlanması	32
Şekil 3.4. Tesirli Bindirmeli Numunelerin Gösterimi	32
Şekil 3.5. Yapıştırıcı Uygulanmış Alüminyum Çubuklar	33
Şekil 3.6. Kürleme İşleminin Gerçekleştirildiği Isı Plakaları.....	33
Şekil 3.7. Shimadzu AGS-X Test Cihazı	34
Şekil 3.8. Analizlerinde Kullanılan Setaram-Labsys Evo Cihazı.....	34
Şekil 3.9. Scientific – Nicolet iS20 FT-IR Cihazı	35
Şekil 3.10. Renishaw inVia Reflex Konfokal Raman Mikroskobu.....	36
Şekil 3.11. Scientific Attension – Theta Lite Temas Açısı Ölçüm Cihazı	37
Şekil 3.12. Filmetrics Profilm3D Optik Profilometre Cihazı	38
Şekil 3.13. Mikroskop ile Yapışma Yüzeylerinin İncelenmesi	39
Şekil 4.1. Reçine ve Yapıştırıcılara Ait FT-IR Grafikleri	41
Şekil 4.2. Fenolik Reçinelerin TGA Eğrileri	42
Şekil 4.3. Yapıştırıcılara Ait TGA Eğrileri.....	43
Şekil 4.4. Temas Açısı-Viskozite ve Ortalama Kuvvet Grafiği	44
Şekil 4.5. Yapıştırıcılardan Elde Edilen Çekme Eğrileri.....	45
Şekil 4.6. Optik ile Elde Edilen Yapışma Alanlarına Ait Görüntüler	48
Şekil 4.7. Optik Profilometre ile Elde Edilen Yüzey Görüntüleri.....	49
Şekil 4.8. Yapıştırıcının Yüzey Dağılımının Raman Haritalama ile İncelenmesi.....	51
Şekil 4.9. Yapıştırıcı Bileşenlerinin Homojenitesinin Raman Haritalama ile İncelenmesi	52
Şekil 4.10. Yapıştırıcı Bileşenlerinin Dağılımının Homojenitesinin Kesit Alınarak İncelenmesi	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Fenolik Reçinelere Ait Özellik Tablosu	30
Çizelge 4.1. Ayrılan Yüzeylerin Optik ile İncelenmesi Sonucu Elde Edilen Yapışma Alanları ve Spesifik Yapışma Kuvvetleri	47
Çizelge 4.2. Optik Profilometre Ölçümleri Sonucu Elde Edilen Ortalama Kalınlık Değerleri	49



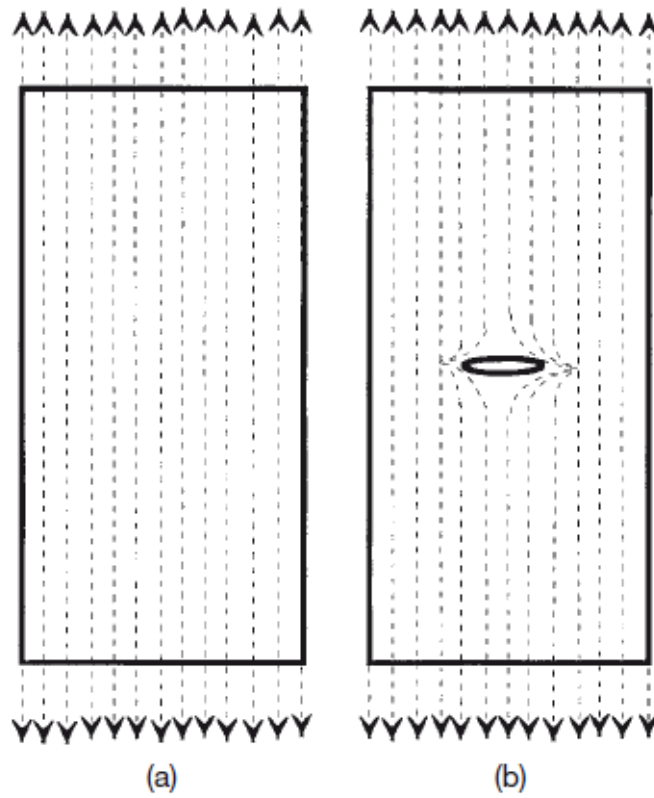
1. GİRİŞ

Yapıştırıcı, polimer bazlı malzemeler ile iki veya daha fazla bileşeni bir arada tutmayı sağlayan malzemedir. Yapıştırıcılar, parçaların birleştirilmesinde kullanılır ve genellikle metal dışı malzemelerden, özellikle polimer bileşenlerden oluşur. Sıvı halde uygulanır ve fiziksel veya kimyasal reaksiyonlarla katılarak iki yüzeyin birleştirilmesini sağlar. Yapıştırıcıların birincil işlevi, birleştirilen yüzeyler arasında yükü tüm yüzeye homojen bir şekilde dağıtarak malzemenin maksimum yük taşıma kapasitesinin kullanılmasını sağlamaktır. Adezyon, katı bir ara yüzeyin farklı bir yüzey ile bir arada tutulmasını sağlayan kuvvetleri ifade ederken, kohezyon homojen partiküllerin bir arada tutunduğu kuvvetleri ifade eder. Yapıştırıcı bağlantısı, aynı veya farklı malzemelerin yapıştırıcı vasıtasıyla birleştirilmesini ifade eder (Müller ve Rath, 2014).

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bir yapının oluşturulabilmesi için genel hatları ile üç kademeli bir prosesin tamamlanması gerekmektedir. İlk olarak, yapıştırıcının yüzeyde yayılabilmesi ve yüzeyi ıslatabilmesi için sıvı bir formda olması gerekir. Böylelikle yapıştırıcının yüzeyde yayılımı sağlanabilir ve yüzey ve yapıştırıcı arasında yakın moleküler temas oluşturulur. İkinci olarak yüzeyde dağılımı sağlanmış yapıştırıcının sertleşmesi gerekir, bu aşamada genellikle yapıştırıcılar monomer formda bulunur ve yüksek moleküler ağırlıklı polimerlere dönüşür. Bu şekilde yapıştırıcı sertleşerek yüzeylerin birbirine bağlanmasını sağlamış olur. Son olarak bağlantının taşıyabileceği yük kapasitesinin, bağlantı tasarımının, yüklerin uygulanma şeklinin ve bağlantının maruz kalacağı ortam gibi çeşitli parametrelerin incelenmesi gerekir. Bu nedenle yapıştırıcı ile bağlantı sağlanacak alanlarda, yüzey kimyası, polimer kimyası ve fiziği, malzeme ve makine mühendisliği gibi alanları ilgilendiren multidisipliner çalışmalar yapılmaktadır (Lucas F. M. da Silva, 2018).

Yapıştırıcı bağlantı teknikleri uygulama alanlarına göre birçok avantaj sağlamaktadır ve bu sebeple son yıllarda geleneksel mekanik birleştirme yöntemlerine bir alternatif olarak kullanılmaktadır. Yapıştırıcı ile birleştirilen yapılarda gerilim yapıştırılan alan boyunca homojen dağıtılarak daha yüksek dayanıma sahip bir yapı ile birlikte daha fazla yük aktarma kapasitesinin elde edilmesini sağlar. Bunun yanı sıra ağırlık azaltılarak maliyet de düşürülebilmektedir (Lucas F. M. da Silva, 2018). Şekil 1’de yapıştırıcı ile birleştirme yönteminin cıvata ve perçin gibi mekanik birleştirme yöntemlerinden farklı

olarak homojen yük dağılımını sağlaması basit bir diyagram üzerinde gösterilmiştir (Pocius, y.y.). Şekil 1(a)'da herhangi yapısal bütünlüğü bozulmamış bir malzemede kuvvet dağılımı malzemenin tamamı boyunca homojen bir dağılım göstermektedir. Şekil 1 (b)' de yapısal bütünlüğü bozularak mekanik birleştirme yöntemi uygulanan malzeme temsil edilmiştir. Diyagramda da gösterildiği üzere kuvvet dağılımı, hasara maruz kalmış bölgede homojen olmayıp, hasarlı bölge etrafında yoğunlaşarak devam etmektedir. Bu durumda etrafında oluşacak kuvvet yoğunluğu, yapısı bozulmamış malzemedeki kuvvet yoğunluğundan daha fazla olacaktır. Bu sebeple hasarlı bölge etrafında gerilme yığılması oluşacaktır. Gerilme yığılmaları malzemede pek çok fiziksel kusura neden olmaktadır. Mekanik bağlantı yöntemlerinin aksine yapıştırma bağlantıları, malzemenin yapısal bütünlüğünde herhangi bir bozulma olmadan gerçekleştirildiği için malzemede gerilme yığılması oluşmaksızın bağlantı sağlanabilmektedir (Pocius, y.y.).



Şekil 1.1. Yapısal bütünlüğü bozulmamış (a) ve bozulmuş (b) bir malzemede kuvvet çizgilerini gösteren diyagram (Pocius, y.y.)

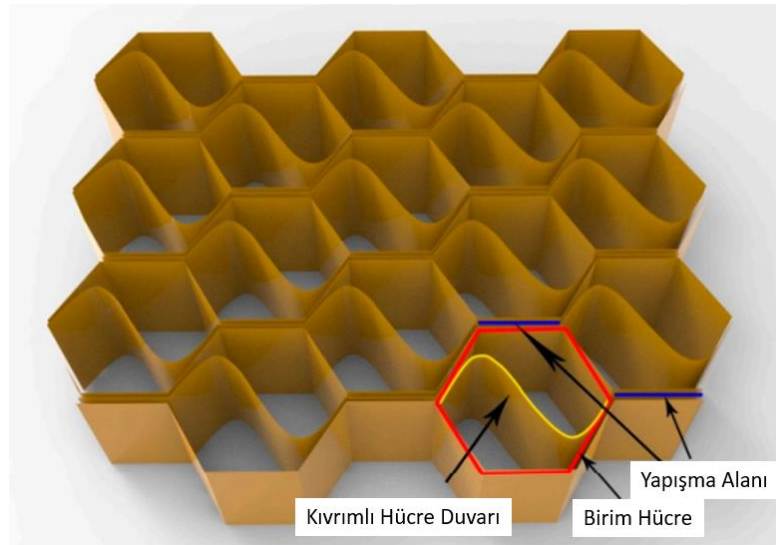
Plastik malzemeler de dahil olmak üzere metaller, seramikler ve kauçuklar gibi pek çok farklı malzeme kombinasyonları da, uygun yüzey işlemleri ve yapıştırıcı kullanılarak birleştirilebilirler (Ebnesajjad ve Landrock, 2014). Farklı malzemeleri bir arada tutmanın yanı sıra, yapıştırıcılar farklı termal genleşme katsayılarına sahip

malzemeleri de elastik yapısı sayesinde farkı kompanse ederek bir arada tutabilir (Lucas F. M. da Silva, 2018). Yapıştırıcı bağlantıları yapıya esneklik sağlar ve yeni konsept malzeme geliştirilmesine olanak sağlar. Buna örnek olarak bal peteği yapılı sandviç paneller verilebilir. Bu yapılarda perçin, cıvata gibi malzemelerin yüzeyde sebep olduğu hasar yapısal bütünlüğü bozmakta ve istenilen düzgün yüzeyleri sağlayamamaktadır. Yapıştırıcılar bağlanan yüzeyler arasında yakın moleküler teması sağlamakta ayrıca korozyona karşı da dirençli bir yapı oluşturmaktadır (Lucas F. M. da Silva, 2018). Galvanik korozyonu engellemesi/minimize etmesi, yorulma dayanımının iyi olması, farklı ortamlara karşı sızdırmazlık sağlaması, elektrik ve ısı yalıtkanlık, titreşim ve darbeyi absorbe etmesi gibi kullanım alanına göre birçok farklı avantaj sağlamaktadır (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).

Yapıştırıcı bağlantılarının belirtilen avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları ve uygulanması süresince dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Polimerik yapıları gereği neme ve aşırı sıcaklığa karşı dayanımları sınırlıdır. Bunun yanı sıra genellikle sertleşmeleri için sıcaklık gereklidir ve bu durum maliyeti artırmaktadır. Sağlam bir ara yüz gücü ve yüksek dayanım elde etmek için çözücüyle temizleme, mekanik aşındırma ya da kimyasal işlemler uygulanmalıdır. Yapıştırıcı ile bağlanan yapıların kalite kontrolünün sağlanması, mekanik birleştirme yöntemlerinin kontrolüne göre daha meşakkatlidir. Kalite kontrolü sağlamak amacıyla, tahribatsız test yöntemleri kullanılmakta, ancak bağlantı yapıları karmaşık olduğunda bu yöntemleri uygulamak için genel bir kural bulunmamaktadır. Bu sebeple her durumda yapıştırıcı bağlantılarının tahribatsız muayenesi de oldukça güçleşmektedir (Lucas F. M. da Silva, 2018). Yapıştırıcı ile birleştirme tekniği çok çeşitli ve birbirinden farklı alanlarda kullanılmaktadır, havacılık ve uzay endüstrisi, otomobil üretimi ve elektronik, diş hekimliği ve cerrahi gibi sağlık bu alanlara başlıca örnek olarak verilebilir (Pizzi, 2017). Yapılarında daha çok kompozit malzeme barındırmaları ve düşük ağırlığa sahip bir yapı elde edilmek istenmesi sebebiyle yapıştırıcı kullanımı havacılık ve uzay endüstrisinde de oldukça fazladır. Biyoloji ve tıp gibi gelişmekte olan alanlarda, protez malzemelerin ve yapay organların biyoyumluluğunu sağlamak amacıyla yüzeylerde hücre yapışmasına ve protein yapışmasına dayalı yapıştırıcı teknikleri geliştirilmeye devam edilmekte ve kullanılmaktadır (Lucas F. M. da Silva, 2018).

1.1. Yapıştırıcıların Kullanım Alanları

Yapıştırıcılar, kullanım alanlarına göre farklı kimyasal yapı ve mekanik özellikler göstermekte ve üretilmektedir. Çeşitli alanlarda, spesifik kullanım amacına uygun yapıştırıcılar bulunmaktadır. Temelde yapısal yapıştırıcılar, yapısal olmayan yapıştırıcılar ve dolgu malzemeleri olarak ayırmak mümkündür. Dolgu malzemeleri, elektrik veya ısı yalıtkanları, yangın bariyerleri olarak kullanılabilir. Dolgu malzemesi olarak kullanılan ürünlerin dayanımı daha düşüktür. Yapısal olmayan yapıştırıcılar ise daha çok gündelik yaşamda kullanılan, kâğıt yapıştırıcıları, seramik karo birleştirmede kullanılan yapıştırıcılar, mobilyalarda kullanılan yapıştırıcılar şeklinde örneklendirilebilmektedir. Yapısal yapıştırıcılar nispeten düşük dayanımlı, kürleşme süreci maliyetsiz ve uygulama pratiği daha yüksektir. Yapısal yapıştırıcılar, yüksek dayanımlı, kompleks yapılı, kürleşebilmesi için genellikle ilave işlem gerektiren ve daha maliyetli yapıştırıcılardır (Dinte vd., y.y.). Yapısal yapıştırıcılar genellikle havacılık ve uzay araçlarında, raylı taşımacılıkta, otomotiv endüstrisinde, deniz taşımacılığında ve inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Yapıştırıcılar, havacılık yapılarında ilk zamanlar ikincil parçaların montajında kullanılsa da zamanla kompozit malzemelerin gelişimi ve havacılık sektöründe gövde ve kanat gibi birincil yapılarda kullanılmaya başlanmasıyla birlikte yapıştırıcı malzemeler de her iki bölgede de artarak kullanılmıştır (Lucas Filipe Martins da Silva vd., y.y.).



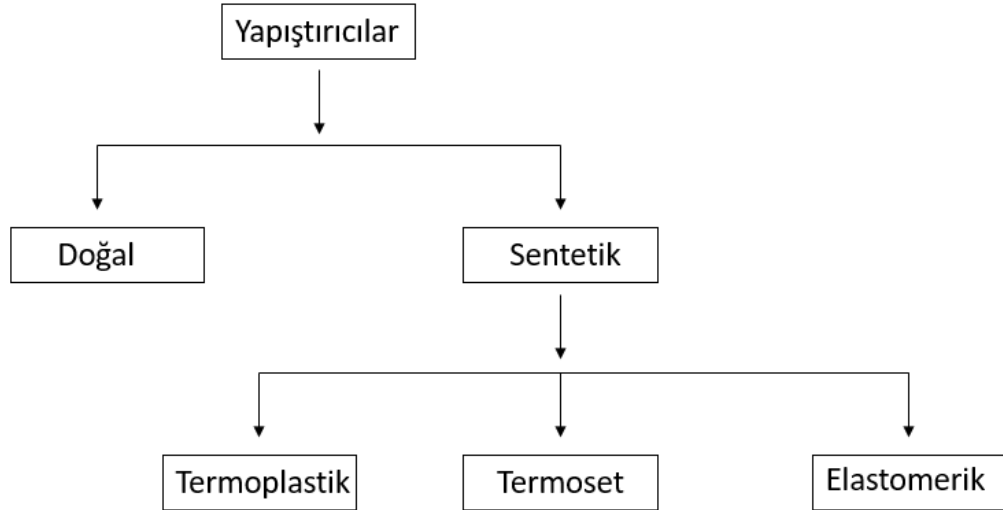
Şekil 1.2. Bal Peteği Yapılarında Çekirdek Yapıştırıcısının Kullanımı (Hao vd., 2020)

Yüksek dayanımlı yapısı ile birlikte ağırlıkta sağladığı azalma ile günümüzde alüminyum altıgen panellerin kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. Alüminyum bal peteği yapılarda, yapıyı bir araya getiren folyoların kalınlığı μm seviyelerinde değişmekte ve kalınlıktan dolayı oluşan hassasiyet dolayısıyla birleştirme yöntemi olarak geleneksel yöntemler kullanılamamakta ve yapıştırıcı ile birleştirilmektedir. Yapıştırıcı ile birleştirilen yapılarda, mekanik birleştirme yöntemlerinde olduğu gibi herhangi bir deformasyon ya da yapısal bütünlükte bozulma oluşmamakta, böylelikle alüminyum folyolar hasara uğramadan dizilerek altıgen bal peteği yapılar oluşturulabilmektedir. Ayrıca, yapıştırıcı ile birleştirme yöntemi folyoların dizilimi sırasında, altıgen yapıyı oluşturacak şekilde diziliminin yapılmasına olanak sağlamakta ve oluşan bal peteği yapının son halini almasında hassas kontrollere olanak sağlamaktadır.

1.2. Yapıştırıcıların Sınıflandırılması

Yapıştırıcılar, farklı koşulları yansıtmak için bir dizi farklı kritere göre sınıflandırılabilir. Ancak tüm yapıştırıcıları sınıflandırmak için bütünlük ve sistematik bir şema yoktur. Yapıştırıcıların sahip oldukları farklı özelliklere ve kullanım alanlarına göre bu sınıflandırma çeşitli şekillerde yapılabilir. Bu sebeple yapıştırıcılar bağ mukavemetlerine göre, kullanılacakları yüzeye göre, kimyasal yapılarına göre, uygulama alanlarına ve fiziksel formlarına göre pek çok farklı alt başlıkta incelenmektedir.

Yapıştırıcıların temel sınıflandırması doğal ve sentetik olmak üzere kaynaklarına göre ayrılarak yapılmaktadır. Doğal yapıştırıcılar bitkisel ve hayvansal bazlı yapıştırıcılardan oluşmaktadır. Sentetik olanlar doğal olan yapıştırıcı sınıfının dışında kalan tüm yapıştırıcıları kapsamaktadır ve termoplastik ve termoset yapıştırıcı gruplarından oluşmaktadır. Yapıştırıcıların genel sınıflandırılmasını gösteren bir şema Şekil 1.3'de gösterilmiştir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).



Şekil 1.3. Yapıştırıcıların basit bir sınıflandırması [4].

1.2.1. Doğal yapıştırıcılar

Bitkisel ve hayvansal bazlı yapıştırıcılar ve doğal reçinelerden oluşan yapıştırıcılardır. Nişasta ve reçine gibi organik malzemelerin yanı sıra sodyum silikat gibi inorganik malzemeler doğal yapıştırıcıları oluşturmaktadır. Genellikle kullanım alanları kâğıt, karton ve hafif ahşaplar ile sınırlıdır. Uygun fiyatlı, uygulamasının kolay ve raf ömrünün uzun olması sebebiyle tercih edilmektedir. Çoğunlukla çözücüleri sudur. Doğal yapıştırıcılar genellikle hızlı yapışmaktadır ancak mukavemetleri düşük olmaktadır (Ebnesajjad ve Landrock, 2014). Doğal yapıştırıcılar, birçok farklı sektörde farklı amaçlar için kullanılan geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Mobilya üretiminde, ahşap parçaların bir arada tutulması için kullanılmaktadır. Yapı sektöründe, yapı taşlarının bir arada tutulması için kullanılırken, gıda ambalajı üretiminde de kullanılmaktadır. Sanat ve el sanatlarından tıp ve kozmetiğe kadar birçok alanda kullanımı söz konusudur. Örneğin, el sanatları ve sanat eserlerinde farklı materyallerin bir arada tutulması için kullanılırken tıbbi amaçlar için yaraların tedavisinde ve cerrahi işlemlerde kullanılır. Kozmetik endüstrisinde saç ve cilt bakım ürünlerinde kullanılırken, tekstil endüstrisinde ise, tekstil malzemelerinin bir arada tutulmasında kullanılır. Bunlar sadece birkaç örnek olup, doğal yapıştırıcıların kullanım alanları oldukça geniştir ve sürekli olarak yeni kullanım alanları keşfedilmektedir.

1.2.2. Sentetik Yapıştırıcılar

Doğal yapıştırıcıların dışında kalan tüm yapıştırıcılar sentetik yapıştırıcılar olarak sınıflandırılmaktadırlar. Bu yapıştırıcı grubu da kendi içinde kimyasal yapılarına göre farklı kategoride incelenirler; termoplastik yapıştırıcılar, termoset yapıştırıcılar, elastomerik yapıştırıcılar ve bu yapıştırıcıların farklı kombinasyonu ile elde edilen alaşım yapıştırıcılar (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).

1.2.2.1. Termoset Yapıştırıcılar

Termoset malzemeler ilk kürleme gerçekleşikten sonra tekrar ısıtılıp eritilemeyen ve yeniden işlenemeyen malzemelerdir. Yapıştırıcının türüne göre, kürleşme işlemi oda sıcaklığında ya da kısmi sıcaklıklarda bazı kimyasal reaksiyonların sonucunda gerçekleşir. Bazı termoset yapıştırıcıların kürleme işlemi için basınç uygulanması gerekirken bir çözücü ilave edilmesi de uygulamayı kolaylaştırması açısından bazı yapıştırıcı türlerinde önem arz etmektedir. Termoset yapıştırıcılar tek ve iki bileşenli olarak iki farklı formda olabilmektedir. Tek bileşenli yapıştırıcılar genellikle yüksek sıcaklıkta kürleme işlemi gerektirir ve sınırlı raf ömrüne sahiptir. İki bileşenli yapıştırıcılar ise daha uzun raf ömrüne sahiptir ve oda sıcaklığında zamanla yavaşça ya da yüksek sıcaklıklarda hızlı bir şekilde kürlenebilirler. Termoset yapıştırıcıların kürleme işlemi tamamlandığında yoğun çapraz bağlar olduğundan ısıya ve çözücülere karşı dirençlidirler ve yüksek sıcaklıklarda yük altında çok az elastik deformasyon gösterirler. Genellikle yapısal yapıştırıcı olarak kullanılırlar. Epoksiler, fenolik reçineler, polyesterler ve siyanoakrilatlar termoset grubu yapıştırıcılarına örnek olarak verilebilir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014). Termoset reçineler, sıvı veya eriyik hâldeyken şekillendirilebilir ve genellikle bir katalizör veya sertleştirici ile birleştirilerek kimyasal reaksiyon yoluyla sertleştirilir. Bu sertleşme süreci, polimer zincirlerinin çapraz bağlar oluşturarak bir ağ yapısı oluşturmasını sağlar. Bu ağ yapısı, termoset reçinelerin yüksek mukavemet, sertlik ve kimyasal direnç gibi özelliklerine katkıda bulunur.

1.2.2.2. Termoplastik Yapıştırıcılar

Termoplastik malzemeler kürleme işlemi sonrasında termoset malzemelerdeki gibi geri dönüşü olmayan şekilde kürleşmeyen, ısıtıldığında yeniden şekillendirilebilen

polimerlerdir. Termoset malzemelerin kürlenmesi bir dizi kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi sonucu oluşurken, termoplastik malzemelerde bu durum eriyik halden soğutularak veya bir çözücünün ya da suyun buharlaşması ile meydana gelir. ~60 °C üzerinde termoplastiklerin kullanımı pek tavsiye edilmese de bazı uygulamalarda termoplastiklerin kullanımı 90 °C'ye kadar mümkün olabilmektedir. Bu malzemeler zayıf sürünme direncine ve ortalama bir ayrılma mukavemetine sahiptir. Deri, plastik, odun ve kâğıt gibi malzemelerin bir araya getirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Akrikler, polivinil asetatlar ve selüloz asetatlar bu gruba örnek olarak verilmektedirler (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).

1.2.2.3. Elastomerik Yapıştırıcılar

Elastomerik malzemeler doğal ya da sentetik polimerlere dayanmaktadır. Yüksek tokluk ve elastikiyete sahiptirler. Bu tür yapıştırıcılar farklı uygulama alanlarında farklı özellikleriyle kullanılsa da genellikle yüksek derecede esneklikleri ve üstün ayrılma mukavemetleri sebebiyle tercih edilmektedirler. Bant şeklinde ya da bir çözücü ile sıvı formda mevcut olup kütleme işlemleri kullanım alanına göre farklılık göstermekle birlikte kullanım sıcaklıkları 66 °C ile 204 °C arasında sınırlıdır. Bu malzemelerde bağlar arası kuvvet nispeten düşüktür ancak esneklik oldukça yüksektir. Bu sebeple hafif malzemelerde gerilmesiz bağlantılarda kullanılırlar, dolayısıyla yapısal yapıştırıcı olarak nitelendirilemezler. Bu tür yapıştırıcılar genellikle kauçuk, kumaş, folyo, kâğıt, deri ve plastik filmlerin yapıştırılması için sentetik reçinelerle modifiye edilerek kullanılırlar. Doğal kauçuk, nitril kauçuk, neopren ve silikon bunlara örnektir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).

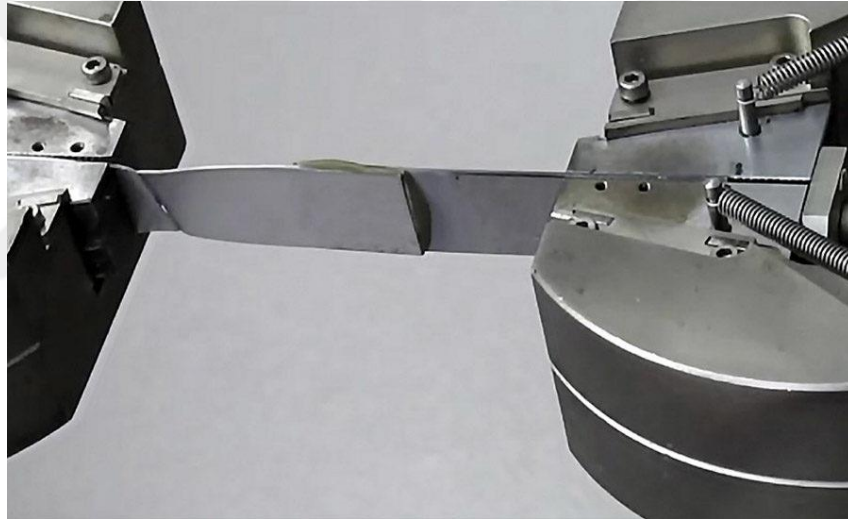
1.2.2.4. Alaşım Yapıştırıcılar

Termoset, termoplastik ve elastomerik gruplardan seçilen iki farklı bileşenin karışımı ile oluşan yapıştırıcı alaşımlarıdır. Termoset grubu reçineler sağladıkları yüksek dayanımla yapıştırıcıya katkı sağlarken, termoplastik grubu bir bileşen ise yapıştırıcının tokluğunun, elastikiyetinin ve darbe dayanımının artmasına katkıda bulunur. Alaşım yapıştırıcıların avantajı her bir bileşenin en önemli özelliğinden yararlanmasıdır. Bu tür yapıştırıcılar genellikle bileşenlerin bir çözücü ile çözündürülerek homojen karıştırılmasıyla hazırlanırlar. Bu yapıştırıcılar çoğunlukla mekanik özellikler

bakımından daha üstündür ve yüksek sıcaklıklara dayanımları yüksektir. Yapısal yapıştırıcı olarak kullanılırlar ve askeri uygulama alanları gibi en zorlu şartlar altında kullanılırlar. Bu yapıştırıcılar metaller, seramikler, cam ve termoset plastikleri bir araya getirmek için kullanılabilir. Epoksi-fenolik, vinil-fenolik, epoksi-naylon karışımları bu yapıştırıcılara örnek olarak verilebilir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).

1.2.3. Bağlantı Dayanımına Göre Yapıştırıcılar

Fonksiyonlarına göre yapıştırıcılar, yapısal olanlar ve olmayanlar olarak ikiye ayrılmaktadır. En basit hali ile kohezyon kuvveti yüksek olan ürünler yapıştırıcı olarak sınıflandırılır, bu özellik montajı sağlanmış parçada kalıcı ise bu tür yapıştırıcılar yapısal yapıştırıcı olarak sınıflandırılmaktadır (Müller ve Rath, 2014).



Şekil 1.4. Yüksek Dayanımlı Yapısal Yapıştırıcılar (Ay, 2019)

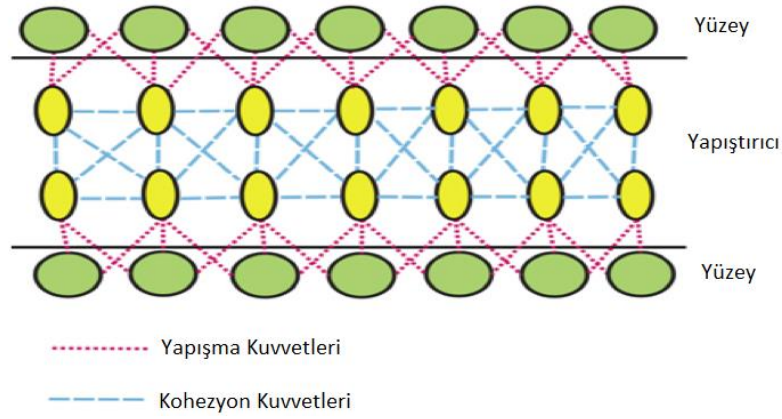
Yapısal yapıştırıcılar, yapıştırılan malzemelerin akma noktasına kadar yüksek gerilmelere maruz kalabilecek uygulamalar için geliştirilen yapıştırıcılardır. Yapısal yapıştırıcılar tasarımda herhangi bir bütünlük kaybı olmadan gerilimi iletebilme özelliğine sahiptir. Bununla birlikte yapısal bir bağ, 7 MPa'dan büyük bir kayma mukavemetiyle birlikte yaşlanmaya karşı yüksek dirençlidir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014). Yapısal olmayan yapıştırıcılar, önemli yükleri taşımamakla birlikte sadece yapıştırılan yüzeylerin bir arada kalmasını sağlar. Bu yapıştırıcılara örnek olarak boşlukları doldurması amaçlanan sızdırmazlık malzemeleri ve ofis uygulamalarında kâğıt yapıştırmaya yarayan kauçuk tutkallar vardır [4].

1.2.4. Uygulama Yöntemine Göre Yapıştırıcılar

Uygulama şekline göre sınıflandırılan yapıştırıcılar, kullanım amaçlarına uygun olarak tasarlanmıştır. Bu sınıflandırma genellikle yapıştırıcının nasıl uygulanacağına bağlıdır. Bazı yaygın uygulama şekilleri detaylı olarak açıklanmaktadır. Sıvı yapıştırıcılar, fırça veya püskürtme yöntemiyle uygulanır. Bu tip yapıştırıcılar genellikle solvent bazlıdır ve kolayca akarlar. Ahşap, metal, cam, seramik, plastik ve kâğıt gibi birçok malzemeyi bir arada tutmak için kullanılabilirler. Sıcak eriyik yapıştırıcılar ise termoplastik özellik gösterir ve özel bir yapıştırıcı tabancası ile uygulanır. Yapıştırıcı sınıflandırmaları, burada da olduğu gibi birbirlerini tamamlar niteliktedir. Yüksek sıcaklıkta eriten yapıştırıcı, tabancanın ucundan püskürtülerek uygulanır. Bu tip yapıştırıcılar, tekstil, kâğıt ve karton gibi malzemelerin bir arada tutulmasında sıkça kullanılır. Yapışkan bantlar, yapıştırıcının hazır bir şekilde bir ara yüzde bulunduğu, kullanıma hazır malzemelerdir. Bu tip yapışkanlar genellikle çift taraflıdır ve kolayca kesilebilir. Kumaş, kâğıt, plastik ve metal malzemelerin bir arada tutulması için kullanılabilirler. Yapıştırıcı filmler, bir ara yüzeyde hazır olarak bulunurlar ve uygulamak için sadece ısıtılması gereklidir. Bu tip yapıştırıcılar, elektronik endüstrisinde sıkça kullanılır. Uygulama yöntemi, yapıştırıcının tercih sebebini etkileyebilir. Örneğin, bir yapıştırıcı sprey veya tüp şeklinde sunuluyorsa, kullanımı kolaydır ve doğrudan uygulama için idealdir. Bu tür yapıştırıcılar, daha küçük işlerde veya düzensiz yüzeylerde kullanım için uygundur. Diğer taraftan, bazı yapıştırıcılar sıvı formda veya bir çift bileşenli sisteme sahiptir. Bu tür yapıştırıcılar, büyük yüzeyler veya yüksek mukavemet gerektiren uygulamalar için daha uygundur. Bir yapıştırıcının tercih edilen uygulama yöntemi, işin doğası ve gereksinimleri dikkate alınarak belirlenmelidir.

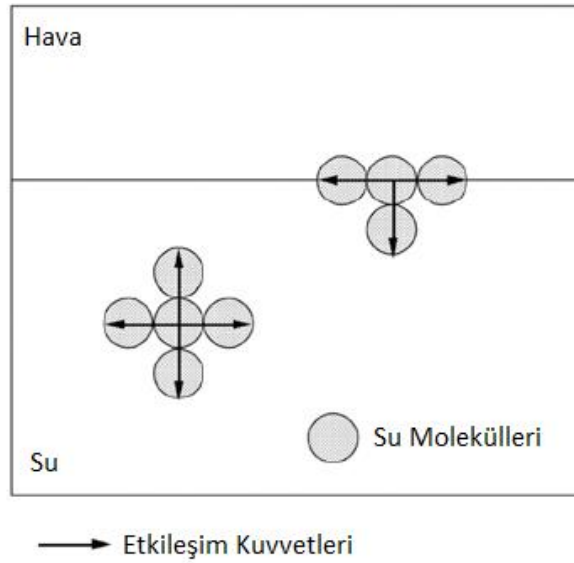
1.3. Yüzeylerin Islanması

Yapışma mukavemeti ve performansı yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemenin arayüzeyinin kalitesine önemli ölçüde bağlıdır. Bir malzemenin içinde olan atom ve molekülleri bir arada tutan kuvvet kohezyon kuvvetidir (Şekil 1.5).



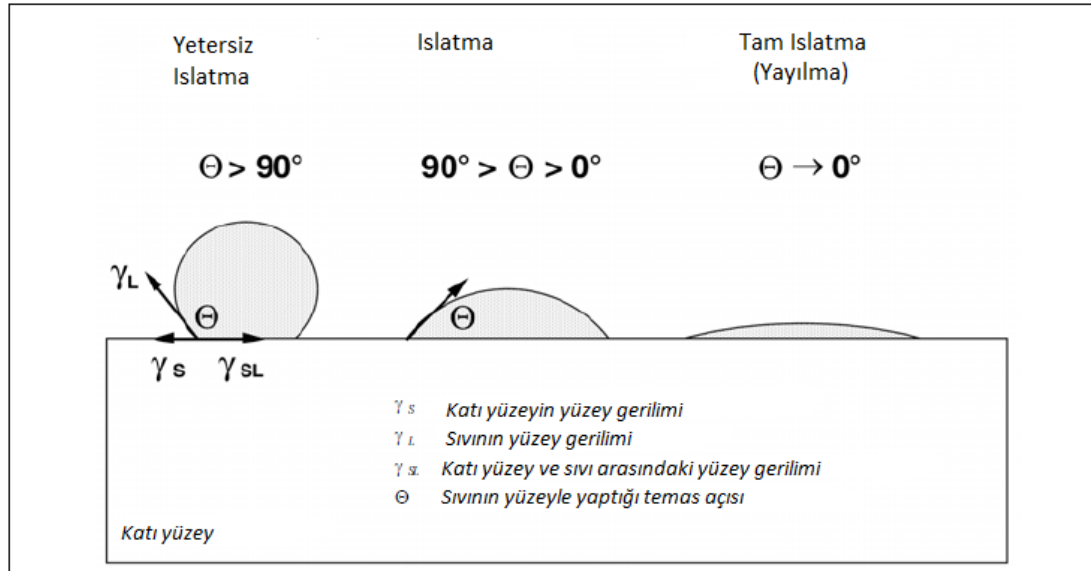
Şekil 1.5. Yapışma yüzeylerinde oluşan kuvvetler (“What is Adhesion, Cohesion and Tack?”, 2021)

Benzer durum farklı malzemeleri bir arada tutan kuvvetler için de geçerlidir ve burada kuvvet farklı atom ve moleküller arasında oluşarak iki yüzeyi birbirine bağlayan adezyon kuvvetidir (Şekil 1.6). Yapışma olgusu analiz edilmeye başlandığı ilk dönemlerde maddeyi oluşturan atom ve moleküllerin fiziksel ve kimyasal etkileşimleri konusunda yeterli bilgi bulunmamaktaydı. Bu sebeple çalışmalar makroskobik ölçekte, bir katının sıvı tarafından ıslatıldığında yüzeylerde oluşan enerjilerin hesaplanması üzerine gerçekleşmektedir. Bir sıvıyı oluşturan moleküller, toplu fazda kendi komşu molekülleri tarafından çevrelenmiştir ve bu moleküle etki eden iç kuvvetler tüm yönlerde eşit dağılırarak birbirlerini eşitler ve etkisizleşirler. Ancak bu sıvı faz, ikinci bir faz ile temas ettiği durumda, iç kuvvetler temas yüzeyinde dağılır ve o yönde kuvvetler birbirlerini etkisizleştirmez. Şekil 1.6’da hava ve su örneğinde gösterildiği üzere toplu faz yönünde olan iç kuvvetler baskın olur ve bu kuvvet, sıvının yüzeyinin olabildiğince küçülmesine neden olur (Müller ve Rath, 2014).



Şekil 1.6. Yüzey Gerilimini açıklayan kuvvet diyagramı (Müller ve Rath, 2014)

Sıvı faz ile temas eden yüzey hava olduğunda oluşan gerilim yüzey gerilimidir. Yüzey gerilimi ne kadar büyük olursa sıvı fazın kohezyon kuvveti de o kadar büyük olur ve fazdaki atom ve moleküller arasındaki etkileşim kuvvetleri fazla olur. Yüzey gerilimi, sıvıların ıslatma kabiliyeti üzerine etkiyen bir kuvvettir (Lucas F. M. da Silva, 2018). Sıvıların ıslatma kabiliyetini açıklamak üzere Şekil 1.7’de verilen basit diyagram kullanılabilir.



Şekil 1.7. Katı bir alt yüzeyin bir sıvı ile ıslanması (Müller ve Rath, 2014)

Islanma, Young denklemi (1.1) ile açıklanmaktadır. Islanma, katı yüzey ile sıvı arasında oluşan Θ açısının ölçüsü ile ölçülmektedir.

$$\gamma_s = \gamma_{SL} + \gamma_L * \cos \theta \quad (1.1)$$

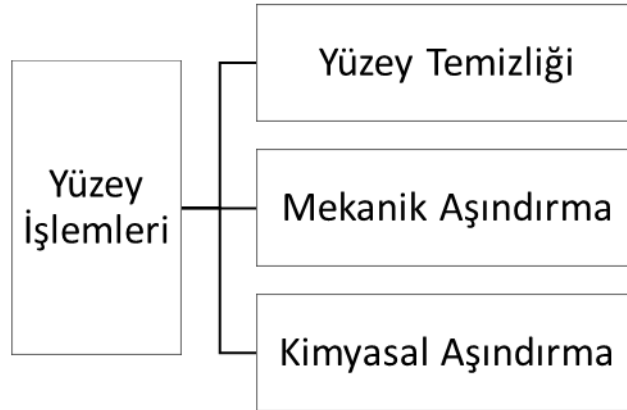
Oluşan θ açısı ne kadar küçükse, ıslanma o kadar fazladır. Yüzeyin tamamen ıslanması için $\theta = 0$ ve $\cos \theta = 1$ olmalıdır. Bir sıvı, yüzey gerilimi, ıslatılacak yüzeyin geriliminden daha düşük olmadıkça ($\gamma_L < \gamma_s$) yüzeyi ıslatamaz (Müller ve Rath, 2014). Bu sebeple, yapıştırıcının yüzey geriliminin, yapıştırılacak yüzeyin geriliminden daha düşük olması, yapıştırıcının maksimum performansını sergileyebilmesi için önem ihtiva etmektedir.

1.4. Yapışma Mukavemetini Etkileyen Parametreler

Yapışma mukavemeti, bir yapıştırıcının uygulandığı yüzeyden mekanik olarak ayrılmaya karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmektedir. Çekme yükleri için bu mukavemet birim alan başına ölçülen kuvvet olarak açıklanır ve birimi MPa ya da farklı bir ifadeyle N/mm^2 'dir (Müller ve Rath, 2014). Yapıştırıcı ve yüzeylerin yüzey gerilimi, yüzey morfolojisi ve temizliği, yapıştırıcı kalınlığı gibi pek çok parametre yapışma mukavemetini etkileyen önemli etkenlerdendir.

1.4.1. Yapışacak Yüzeylerin Hazırlığı

Yapıştırıcı ile yapılan bağlantılarda yapışacak yüzeyin temizliği, fiziksel ve kimyasal morfolojisi yapışma performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple uygulanan yüzey işlemleri, yüzeydeki kir ve kalıntılarla birlikte yağ gidermek ve fiziksel/kimyasal modifikasyonu sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Yapışacak yüzeyde sonradan oluşacak zayıf tabakaların önlenmesi, yapıştırıcı ve yüzey arasındaki moleküler etkileşimin derecesini artırmak ve servis ömrü süresince yeterli bağlantı dayanımını sağlamak da yüzey hazırlığı yapılmasının diğer nedenleri arasındadır (Ebnesajjad, 2013). Uygun yüzey hazırlığının yapılması, yapıştırılan yüzeyler arasında adezyon kuvvetinin kohezif kuvvetlerden fazla olmasını sağlayarak yapışma performansının iyi olmasını ve çevresel etkenlere direncinin artmasına etki etmektedir (Rudawska, 2019). Yüzey hazırlığı, genellikle yağ giderme, temizleme (durulama ve kurulama gibi adımları da içerir) mekanik aşındırma ve kimyasal aşındırma gibi adımları içermektedir (Şekil 1.8). Yapıştırılacak yüzey ve yapıştırıcının türü uygulanacak yüzey işlemlerinin belirlenmesinde etkindir (Rudawska, 2019).



Şekil 1.8. Yüzey İşlemleri

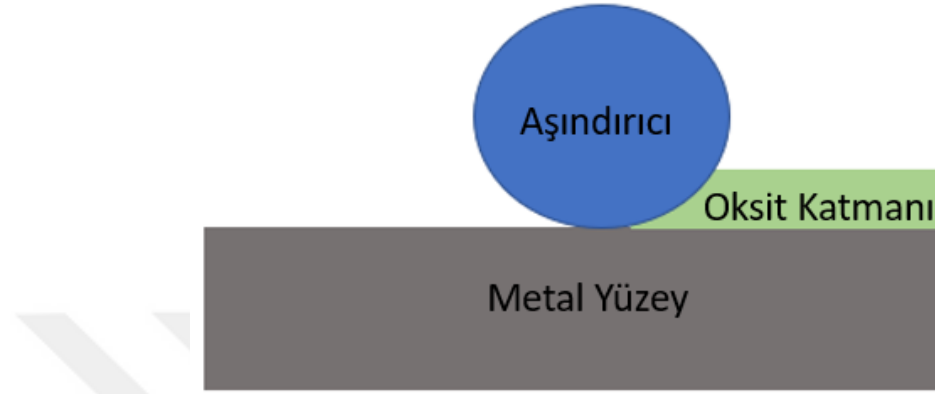
1.4.1.1. Yüzey Temizliği

Yapışacak yüzeyde bulunan yağların, kontaminasyonun ve gres izlerinin temizlenmesi, dayanıklı bir bağlantı sağlanması için yüksek önem taşımaktadır. Buharlı bir yağ giderme cihazıyla ve uygun solventler vasıtasıyla yüzey üzerindeki buhar yoğunlaştıkça kontaminasyonlar çözündürülmektedir ve yüzeyden uzaklaştırılmaktadır. Uygun ekipman olmadığı durumlarda yüzeyler aseton yardımıyla temizlenip, aseton yüzeyden tamamen buharlaştırılarak da yüzey temizliği sağlanabilmektedir. Ultrasonik yağ giderme, küçük parçalarda yüzey temizliği için oldukça elverişlidir ve aseton ve ağır alkoller ultrasonik yağ giderme için uygun çözücülerdir (Ebnesajjad, 2013).

1.4.1.2. Mekanik Aşındırma

Metaller yüksek enerjili yüzeylere sahiptirler ve sıklıkla yüzeyleri bir oksit tabakası ile kaplıdır. Yağ alma işlemi ile giderilemeyen bu oksit tabaka, mekanik aşındırma işlemleri ile giderilmektedir. Kumlama, taşlama ve zımparalama mekanik aşındırma yöntemlerindendir ve işlemler sonucu yüzeyde yapışmayı kötü etkileyen impüritelerin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Şekil 1.9). Yapışacak yüzey ve yapıştırıcı arasındaki kontak alanının artması sonucu genellikle yapışma mukavemetinde artışa sebep olmaktadır. Mekanik aşındırma işlemi öncesi ve sonrasında bir yüzey işlemi gerekmektedir. Mekanik aşındırma sırasında işlem parametrelerinin, pürüzlülüğün ve yüzey enerjisinin yapışma mukavemeti üzerine etkileri belirli sınırlar içerisinde toplanmamış olmakla birlikte, literatürde bu parametreler arasında kurulmuş pek çok ilişki deneysel işlemlere dayanmaktadır (Lucas F. M. da Silva, 2018). Literatürde yapılan çalışmaların neticeleri doğrultusunda, aşındırma için optimum bir nokta olduğu, bu

noktada mekanik aşındırma işleminin yapışma mukavemetine maksimum katkı sağladığı ancak daha fazla aşındırma işlemi uygulandığında yapışma mukavemetini düşürdüğü anlaşılmaktadır. Yüksek miktarda aşındırmaya tabi tutulan yüzeylerde, ıslanabilirliğin ciddi oranda azaldığı ve sonucunda da yapışma mukavemetinin düştüğü görülmektedir (Mandolino vd., 2013; Ghumatkar vd., 2016).



Şekil 1.9. Mekanik Aşındırma İşleminin Metal Yüzeyde Etkisi (Cadien ve Nolan, 2012)

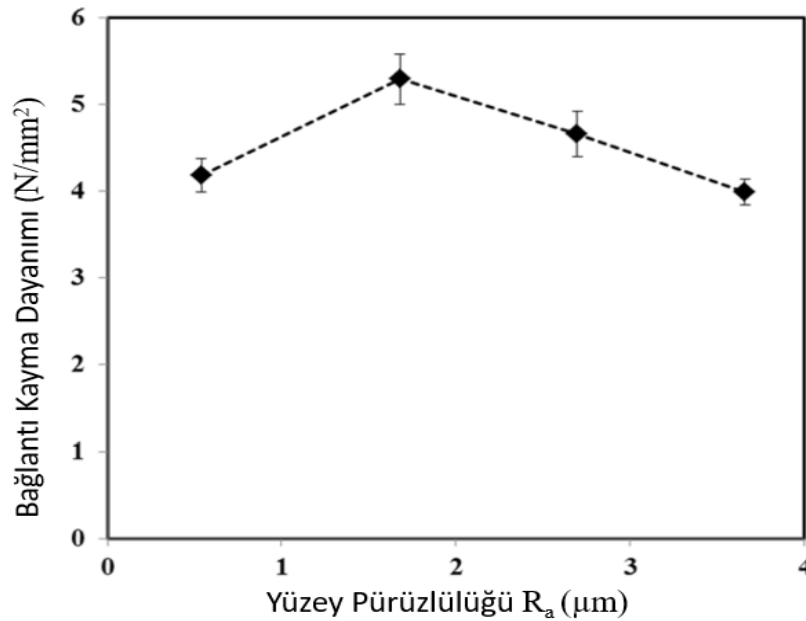
1.4.1.3. Kimyasal Aşındırma

Yapıştırıcının uygulanacağı yüzeye yüzeyde bulunan kirleri temizlemek ve yüzey enerjisi özellikleri açısından faydalı olabilecek bir katman oluşturmak için uygulanmaktadır. İlaveten, uygulanan işlemler yüzeye korozyon direnci kazandırmaktadır (Rudawska, 2019). Aşındırma solüsyonu olarak genellikle kuvvetli asitler kullanılsa da nadir durumlarda güçlü alkali çözeltiler de kullanılmaktadır. Bu tür solüsyonların kullanılmasının amacı yüzeyde bulunan oksitler, korozyon tabakaları gibi organik ya da inorganik kalıntıların yüzeyden giderilmesi ve gelişmiş bir yüzey topografyası oluşturmaktır. Çözelti tipi, işlem sıcaklığı ve süresi, işlemin uygulanacağı yüzey türü gibi pek çok parametre yapıştırılacak yüzeyin pürüzlülüğünü makro ölçekten nano ölçeğe kadar değiştirebilmektedir. Kimyasal aşındırma ile hazırlanan yüzeyler yapışmayı artıran fizikokimyasal özellikler sunarken, elektrokimyasal işlemler genellikle alüminyum ve titanyum için en iyi yapışma yüzeylerini sağlamaktadır. Yüzey hazırlamada kullanılan işlemler, yüzeylerde pürüz artışıyla birlikte yapıştırıcı sıvının nüfuziyetini artırarak yapışma performansına olumlu yönde etki etmektedir. Yüzey işleminin etkisini incelemek için elektron mikroskobu ve atomik kuvvet mikroskobu kullanılabilir (Lucas F. M. da Silva, 2018). Literatürde yapılan çalışmalarda NaOH ve HCl gibi basit kimyasallarla hazırlanan çözeltilerle yapılan kimyasal yüzey

işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü ve kayma mukavemetindeki artış açıkça görülmektedir (Saleema vd., 2012; Narbon vd., 2019).

1.4.2. Yapışacak Yüzey Morfolojisi

Yüzey morfolojisi, bir malzemenin yüzeyindeki topografik özelliklerin bir tanımlamasını yapar. Bu özellikler, yüzeyin pürüzlülüğü, girinti ve çıkıntıların şekli, boyutu ve dağılımı gibi faktörleri içerir. Yüzey morfolojisi, yapışma performansını önemli ölçüde etkileyen bir parametredir. Yüzey morfolojisi, yapıştırıcı ve substrat arasındaki teması ve etkileşim miktarını belirler. Pürüzlü bir yüzey, daha fazla temas alanı sağlar ve bu da yapıştırıcının yüzeye daha iyi tutunmasını sağlar. Girinti ve çıkıntılar, yapıştırıcı moleküllerin yüzeyde mekanik olarak tutunmasını sağlar. Bu da daha güçlü bir yapışma sağlar. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça, yapıştırıcı molekülleri yüzeydeki mekanik kuvvetlere daha iyi direnç gösterir. Bu da yapıştırıcının daha dayanıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlar. Ancak, yüzey pürüzlülüğünün yapışma performansına etkisi malzeme ve yapıştırıcı sistemine bağlı olarak değişebilir. Bazı malzemeler doğal olarak pürüzlüdür ve yapıştırıcı bu tür yüzeylere daha iyi tutunabilir. Diğer malzemeler ise düz veya düşük pürüzlü bir yüzeye sahiptir ve yapıştırıcıların bu tür yüzeylere tutunması zor olabilir (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Yüzey Pürüzlülüğünün Kayma Dayanımına Etkisi (Budhe vd., 2015)

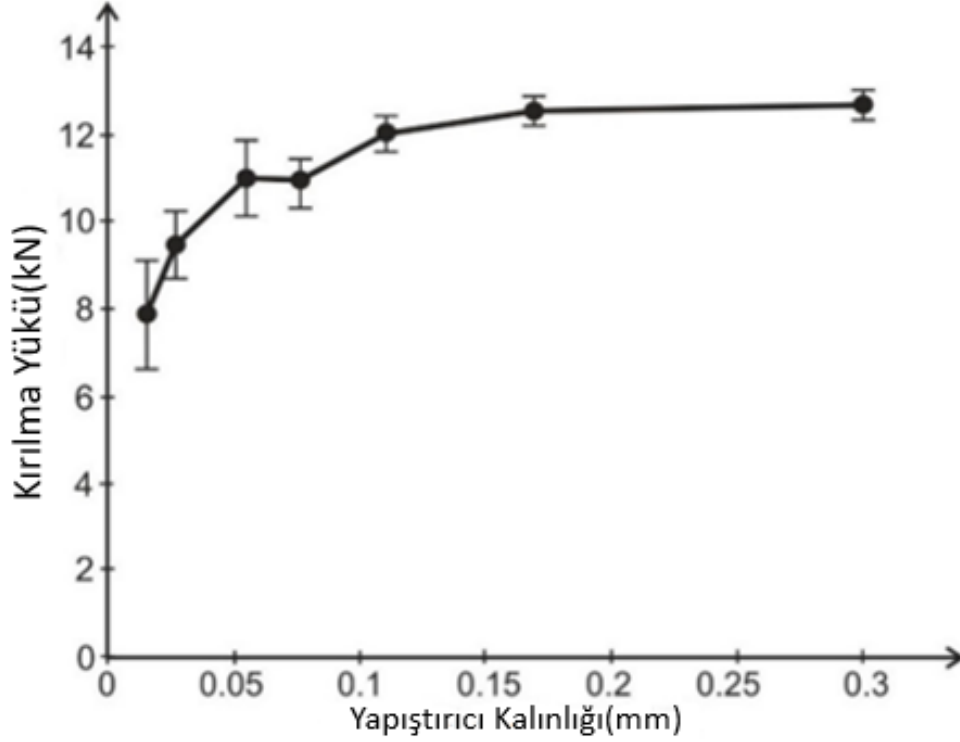
Yüzey pürüzlülüğü, yapışma performansını optimize etmek için kontrol edilebilir bir parametredir. Pürüzlülük seviyesi, malzemenin doğasına ve uygulama gereksinimlerine bağlı olarak ayarlanabilir. Ayrıca, yüzey morfolojisi yapıştırıcı akışını ve dağılımını da etkiler. Düzgün ve düz bir yüzey, yapıştırıcı moleküllerinin düzgün bir şekilde yayılmasını sağlar. Buna karşılık, girinti ve çıkıntılara sahip bir yüzey, yapıştırıcının bu özelliklere uyum sağlamasını ve daha karmaşık yüzey topografyalarına nüfuz etmesini sağlar. Bu, yapışma yüzeyinde daha iyi bir temas ve daha homojen bir yapışma sağlar. Ancak, yüzey morfolojisi tek başına yapışma performansını belirleyen bir faktör değildir. Yüzeyin kimyasal bileşimi, yüzey enerjisi, temizlik durumu ve substratın mekanik özellikleri gibi diğer parametreler de yapışma performansını etkiler. Bu nedenle, yüzey morfolojisiyle birlikte diğer faktörler de dikkate alınmalıdır.

Sonuç olarak, yüzey morfolojisi, yapışma performansını etkileyen önemli bir parametredir. Pürüzlü ve uygun şekilli bir yüzey, daha iyi bir yapışma sağlar. Yüzeyin uygun şekilde hazırlanması ve gerektiğinde pürüzlülüğün optimize edilmesi, istenen yapışma performansını elde etmek için önemlidir (GÜRSEL ve YILDIZ, 2021).

1.4.3. Yapıştırıcı Kalınlığı

Yapıştırıcı kalınlığının yapışma mukavemeti üzerine etkisi çeşitli çalışmalar sonucu gösterilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığının fazla olduğu durumlarda, yapıştırıcı tabakasında oluşan kohezyon kuvvetinin yüksek olması kohezif hasar oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum yapışma mukavemetini olumsuz etkilemektedir. Artan yapıştırıcı kalınlığı ile birlikte yapışma arayüzündeki boşluk ve mikro çatlak oluşumlarıyla yapışma performansını azaltan başka bir etken olarak karşılaşılmaktadır (Lucas F.M. da Silva vd., 2006). Literatürde yapıştırıcı kalınlığının yapışma performansına etkisini inceleyen araştırma sonuçları yapıştırıcı kalınlığının yapışma mukavemetini tek bindirmeli bağlantılarda yaklaşık %46 oranında etkilediği görülmektedir (Rajkumar vd., 2017). Silva ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada farklı tür yapıştırıcıların ve farklı yapışma kalınlıklarının tek tesirli bağlantıların yapışma mukavemetine etkisi incelenmiştir. Her bir yapıştırıcı için 0,2 ile 1 mm arasında farklı yapıştırıcı kalınlıkları ile tek tesirli bindirmeli bağlantı numuneleri hazırlanmış ve numuneler teste tabii tutulmuştur. Tüm durumlarda yapışma performansında ortalama %25 azalma olduğu anlaşılmaktadır (Lucas F.M. da Silva vd., 2006). Yapılan farklı çalışmalar da yapıştırıcı kalınlığındaki artışın yapışma mukavemetini azalttığını göstermektedir (Şekil 1.11)

(Kahraman vd., 2008; Banea vd., 2014),(Roşkiewicz vd., 2021). Yapılan bir diğer çalışmada yine yapıştırıcı kalınlığı arttıķça kesme mukavemetinin azaldığı görülmüş, optimum kalınlığın belirlenmesinde kohezif kırılma aralığı referans alınmış ve 0,4 - 0,5 mm olarak tespit edilmiştir (Arenas ve Alı, 2010).



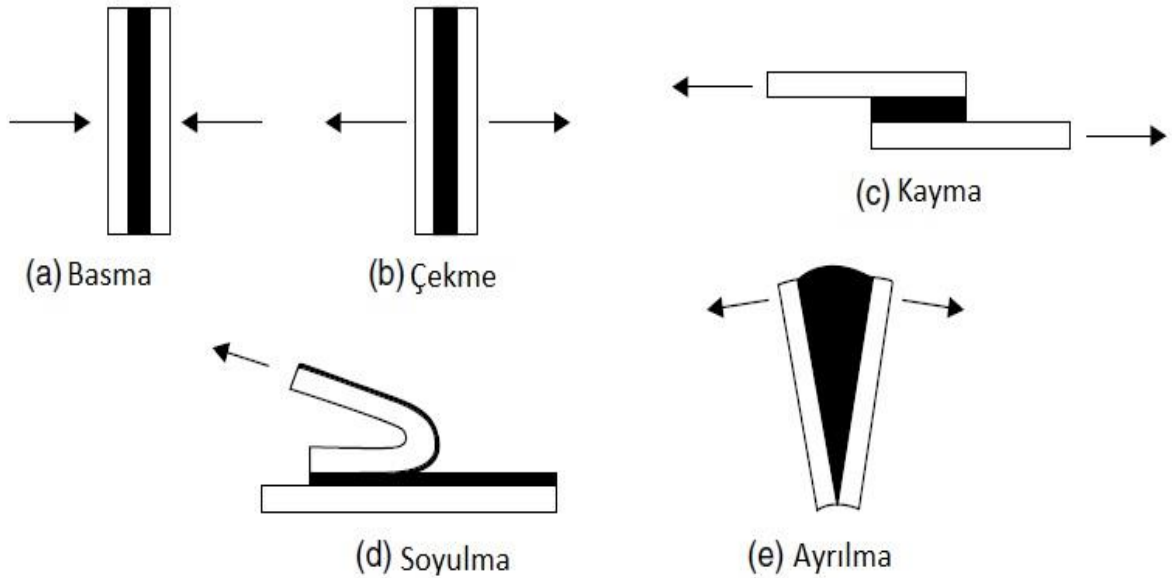
şekil 1.11. Bindirmeli bağlantı kuvvetinin yapıştırıcı kalınlığına bağlı değişimi (Roşkiewicz vd., 2021)

1.5. Yapışma Bağlantılarının Test Yöntemleri ve Yapışma Performansı

Yapıştırıcının kullanım alanına göre bir bağlantı tasarımı yapılması, performansı ve etkileyen parametreleri incelemek adına yüksek önem taşımaktadır. Yapıştırıcı bağlantılarının temel tasarım amacı, verilen sınırlı bir alan içinde yapıştırıcının maksimum performansını elde etmektir. Yapıştırıcı ile birleştirme tekniğinde, yapıştırıcı tek bir nokta üzerinde değil, belirli bir alan boyunca yapışmayı sağlayarak uygulanan yükleri taşımaktadır. Bu sebeple, bağlantı, stres konsantrasyonunu en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır. Bağlantı tasarımlarının sınırları, üretim tesislerinin sınırları, üretim maliyetleri ve istenilen nihai görünüm parametreleri doğrultusunda belirlenmektedir. Yapıştırıcı ile bağlantısı sağlanmış bir yapının mukavemeti, yapıştırılan yüzeyin ve yapıştırıcının mekanik özellikleri, artık i gerilmeleri, gerçek arayüz temasının derecesi ve bağlantı geometrisi tarafından belirlenir. Yapıştırılan bağlantıların

tasarımları, bağlantı mukavemetini ve kullanım ömrünü azaltan stres konsantrasyonunun azaltılması dikkate alınarak yapılmaktadır. Yapıştırıcı kalınlığındaki azalmayla birlikte, iç gerilmeler de azalmaktadır. Yapıştırıcının ihtiva ettiği uçucuların, kurlenme sırasında yapıda sıkışması da stres konsantrasyonunun bölgesel olarak artmasına ve yapışma performansının azalmasına sebep olabilmektedir. Yapıştırıcı çok yüksek bir viskoziteye sahipse, sertleşirken kolayca akıyorsa veya alt tabakayı ıslatmıyorsa, arayüzde havanın sıkışmasına ve yapışma performansının düşmesine sebep olmaktadır. Tüm bu etkenler göz önüne alınarak bağlantı tasarımları yapılmalıdır (Ebnesajjad ve Landrock, 2014). Uygulanan yüklere göre tasarımın maruz kaldığı stres ve yönelimler tasarım türünü etkilemektedir.

Yapıştırıcı bağlantılarının tabii tutulduğu test yöntemlerini açıklayabilmek için ilk olarak maruz kaldıkları kuvvet türlerinin anlaşılması gerekmektedir. Yapıştırıcı bağlantılarının sıklıkla maruz kaldığı 5 tür gerilim kuvveti vardır. Bu kuvvetler Şekil 1.12’de gösterilmiştir. Yapıştırıcı bağlantıları, bu kuvvetlerden bir ya da birden fazla kombinasyonuyla karşılaşmaktadır (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).



Şekil 1.12. Yapıştırıcı Bağlantılarında Görülen Gerilim Kuvvetleri (Ebnesajjad ve Landrock, 2014)

Yapıştırıcı bağlantılarına uygulanan testlerin amacı temelde,

- Çekme, basma, darbe ve ayrılma mukavemeti gibi farklı özelliklerin mukayese edilmesi,

- Hazırlanan yapıştırıcı bağlantılarının standartlara uygunluğunun tespit edilmesi,
 - Yapıştırıcının kimyasal yapısı ve yüzey hazırlığı gibi çeşitli parametrelerinin etkisinin test edilmesi,
- olmak üzere çeşitli faktörlerin tespit edilmesi için gerçekleştirilmektedir.

1.5.1. Çekme Testi

Çekme testlerinde bilinen bir kesit alanı A , test makinesi tarafından uygulanan kuvvet F olmak üzere, çekme gerilmesi σ ,

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1.2)$$

olarak hesaplanır. Uzama (ε) çekme testlerinde karşılaşılan bir diğer değişkendir. Numunedeki uzama ve numunenin orijinal boyutları ile hesaplanır,

$$\varepsilon = (l - l_0)/l_0 \quad (1.3)$$

formülü kullanılarak hesaplanır. Formüldeki ε değeri, mühendislik çekme gerinimidir ve bu değer boyutsuzdur. Çekme gerilmesi ve gerinimi kullanarak,

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (1.4)$$

E değeri, test edilen malzemenin gerilme modülü veya Young modülü olarak bilinir. Young modülü, bir malzemenin belirli bir çekme kuvvetine nasıl tepki verdiğini açıklayan bir malzeme parametresidir ve birimi SI birim sisteminde Pa 'dır. Çekme testleri sonucu elde edilen gerilme ve genleme değerleri ile gerilme-genleme grafiği oluşturularak bağlantının çeşitli özellikleri incelenebilmektedir (Pocius, y.y.).

ASTM D897 standardı, yapıştırıcı bağlantılarına uygulanan en eski standartlardan biri olsa da standart gereği numune ve çenelerin makineyle işlenmesi gerekir ve test sırasında kenar gerilimleri oluşmaktadır. Bu sınırlayıcı sebepler dolayısıyla çubuk türü numunelerde D897 standardının yerini D2095 almaktadır. Hazırlanan numunelerin hizalanması daha basittir ve doğru şekilde hazırlanıp test edildiğinde yapışma bağlantılarının çekme mukavemetini daha doğru şekilde ölçer. Çekme testleri yapıştırıcıları değerlendirmek için kullanılan en yaygın testler arasındadır. Çekme testinin avantajlarından biri, temel çekme gerilmesi, modülü ve mukavemet verileri vermesidir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).

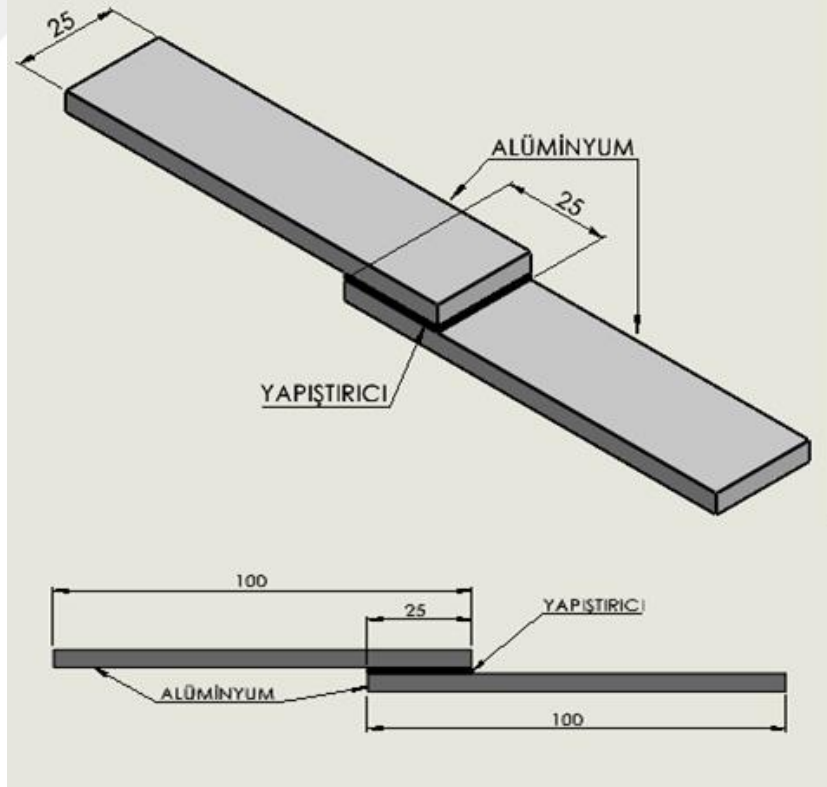
1.5.2. Kayma Testi

Kayma gerilimi, çekme geriliminden farklı olarak birim alana teğet olarak uygulanan kuvveti ifade etmektedir. Kayma testleri, çekme testlerinde oluşan gerilim-gerinim verilerine benzerdir ve kesme mukavemetini hesaplamak için aşağıda verilen ifadelerden faydalanılmaktadır.

$$\tau = G * \phi \quad (1.5)$$

G değeri malzemenin kayma modülünü, τ kayma gerilimini, ϕ kayma gerinimini ifade etmektedir. Kayma modülü (G)'nin birimi SI birim sisteminde Pa 'dır ve yapışma bağlantılarının kayma mukavemeti altındaki davranışlarının incelenmesinde kullanılmaktadır (Pocius, y.y.).

Tek bindirmeli kayma numuneleri pratik ve hazırlaması basit sistemlerdir. Bu numuneler ASTM D1002 standardına uygun olarak hazırlanıp test edilmektedirler. ASTM D1002 standardına ait numune şeması Şekil 1.13'de verilmiştir. Numune hazırlık sürecinin kolaylığı ve pek çok yapısal yapıştırıcı için gerçek geometri ve hizmet koşullarına en yakın test olması sebebiyle yaygın kullanılmaktadır.



Şekil 1.13. Tek Tesirli Bindirme Bağlantılarının Şeması

ASTM D1002 standardının yanı sıra farklı metotlar da kullanılmaktadır. ASTM D3163 standardı yapısal olarak D1002 standardına çok yakın olmakla beraber, yapıştırma işlemi sırasında yapıştırıcıların taşması durumunu nispeten ortadan kaldırmak için faydalı olmaktadır. Çift bindirmeli numunelerle gerçekleştirilen kayma testi, tek bindirmeli numunelerle yapılan testlerde yaşanan ayrılma ve soyulma gibi gerilimlerin azaltılması konusunda avantaj sağlamaktadır (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).

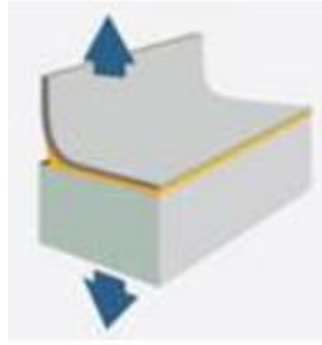
1.5.3. Basma Testi

Basma testi, malzemenin sıkıştırıldığında oluşan davranışları incelemektedir ve malzemenin sünek kırılma limitlerini ölçmektedir. Test edilmek istenilen malzemenin elastikiyet modülünü, basma akma noktasını, basma akma dayanımını ve basma dayanımını belirlemek için basma testleri de kullanılmaktadır. Bu özellikler malzemenin belirli uygulamalar için uygunluğunu çeşitli baskılar altında göstereceği performansı öngörebilmek için gerekmektedir (Shrivastava, 2018). Basma yükleri altında yapıştırıcıların kullanımı sınırlıdır. Bu sebeple yaygın olarak kullanılmamaktadır. ASTM D905 yapıştırıcılarda basma mukavemetini kesme ile ölçmek ve ASTM D2182 standardı basma kuvveti ile metalden metale yapıştırıcıların mukavemet özelliklerini tespit etmek için kullanılan standart test yöntemleridir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).

1.5.4. Soyulma Testi

Yüksek düzeyde lokalize gerilimleri ölçmek için tasarlanan soyulma testleri, esnek yapıştırıcıların performansını ölçmek için kullanılmaktadır. Sıklıkla uygulanan bir soyulma testi, ASTM D1876'da açıklanan T-sıyrılma testi olarak uygulanmaktadır. Eşit kalınlıkta iki yüzeye uygulanan yapıştırıcının, numunenin çekme çenelerine bağlanıp belirlenen hız-süre oranında çekilmesiyle test gerçekleştirilmektedir (Pocius, y.y.).

Soyulma mukavemeti uygulanan yapıştırıcının kalınlığına bağlıdır ve yapıştırıcı kalınlığı arttıkça, daha geniş alanın uygulanan yüke direnç göstermesini ve soyulma mukavemetinin artmasını sağlamaktadır (Ebnesajjad ve Landrock, 2014). Soyulma testinde numunenin maruz kaldığı kuvvet yönü Şekil 1.14'de gösterilmektedir.

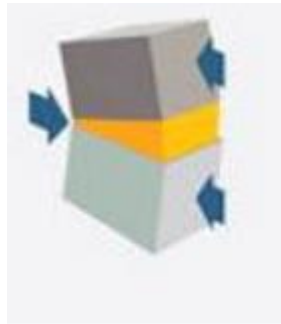


Soyulma Testi

Şekil 1.14. Soyulma Testi ve Kuvvet Doğrultuları (Richardson, y.y.)

1.5.5. Ayrılma Testi

Ayrılma, iki yüzeyin de rijit olduğu, kuvvetin numunenin bir ucundaki yapışma alanına dik olarak uygulandığı bir test türüdür (Şekil 1.15). Ayrılma kuvvetleri, bağ çizgisinden uzağa olacak yönde uygulanır ve çoğunlukla numunenin köşelerinde yoğunlaşmaktadır. ASTM D3807 standardı, mühendislik plastiklerinde kullanılan yapıştırıcıların ayrılma mukavemetini ölçmek için kullanılmaktadır (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).



Ayrılma Testi

Şekil 1.15. Ayrılma Testi ve Kuvvet Doğrultuları (Richardson, y.y.)

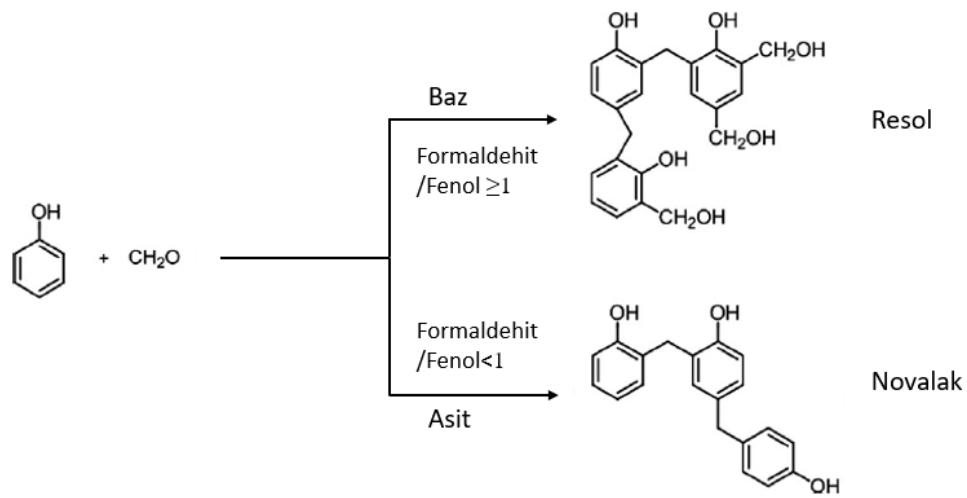
Tez çalışması kapsamında, alüminyum başta olmak üzere çeşitli metalleri birleştirmekte kullanılan ticari bir hibrit yapıştırıcı üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Bahsi geçen ticari yapıştırıcının, güvenlik bilgi formundan (MSDS) elde edilen bilgiler ve uygulama aşamasındaki prosedürden edinilen tecrübeler doğrultusunda termoplastik ve termoset kaynaklı bileşenler ihtiva ettiği bilinmektedir. Çalışma kapsamında, termoset

bileşen yerine farklı özelliklerde yerli fenolik reçineler kullanılarak reçinenin yapısının, yapıştırıcının kimyasal, termal ve mekanik özellikleri üzerinde sahip olduğu etki incelenecektir. Bu çalışmalar sonucunda, bileşenlerden birinin yerli ikamesinin olduğunu göstermek ve bu ürünün yapısal farklılıklarının yapıştırıcıya etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmanın hedef ve amacı ülkemizde üretimi olmayan ticari metal yüzey bağlantısında kullanılan yapıştırıcının yerlileştirilmesi hususunda ilk aşamayı başarı ile geçerek ilerleme kaydetmektir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

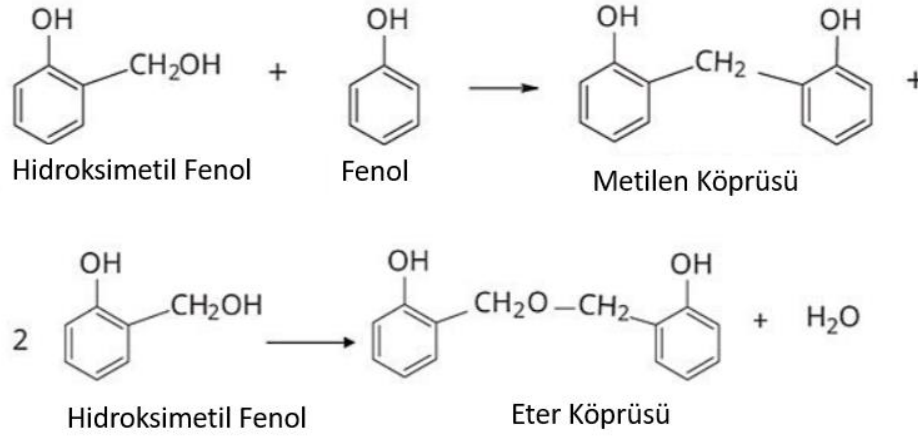
Polimer malzeme olan termoset ve termoplastik malzemeler yapıştırıcıları oluşturan temel bileşenlerdir. Yapıştırıcının mukavemetini ya da yapışma performansını artırmak amacıyla takviye malzemeler kullanım amacına uygun şekilde ilave edilmektedir. Termoplastik malzemeler yapıştırıcı tokluğunun artmasını sağlaması sebebiyle, termoset malzemeler sıcaklık ve çözücülere gösterdiği direnç sebebiyle yapıştırıcı hammaddesi olarak tercih edilmektedir (Petrie, 2007). Önceki bölümde de bahsedildiği üzere yapıştırıcıların çeşitli sınıflandırma yöntemleri vardır. Bunlardan bir tanesi de özellikle metal yüzeyleri birleştirmekte kullanılan, diğer yapıştırıcılara kıyasla dayanımı ve termal kararlılığı hayli yüksek olan yapısal yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcıların içeriğinde genellikle yüksek dayanım ve termal kararlılığı yüksek olan fenolik reçineler kullanılmaktadır. Fenolik reçineler, genel olarak Novalak fenolik reçineleri ve Resol fenolik reçineleri olmak üzere iki ana gruba ayrılır (Şekil 2.1). Novalak reçineleri, asidik katalizörlerin varlığında ve fenolün formaldehitten daha fazla olduğu bir molar oran altında üretilirken, Resol reçineleri genellikle bazik katalizörlerin varlığında ve formaldehitin fenolden daha fazla olduğu bir molar oran altında üretilir.



Şekil 2.1. Fenolik ve Novalak Türü Fenolik Reçinelerin Kimyasal Yapısı [10]

Kürleşme reaksiyonunda, formaldehit reaktifliğini artırmak için bir katalizör kullanılır. Bu reaksiyon sırasında, fenolik bileşiklerin fenol halkaları ve formaldehit molekülleri arasında kimyasal bağlar oluşur. Bu bağlar arasında eter ve metilen köprüleri de bulunabilir (Şekil 2.2). Novalak reçineleri, fenolik bileşiklerin arasında metilen

köprüleriyle bağlandığı üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturur. Resol reçinelerinde ise fenolik bileşikler ile formaldehit arasında metilen köprüleriyle bağlantı oluşur, ancak ağ yapısı daha gevşek ve daha lineerdir [9].



Şekil 2.2. Fenolik Reçinenin Kürleşmesinde Oluşan Fonksiyonel Gruplar

Genellikle, Novalak reçineleri yüksek sertlik ve mukavemete sahiptir. Bu reçinelerin yüksek sertlik değeri, mekanik dayanıklılık açısından avantaj sağlamaktadır. Öte yandan, Resol reçineleri daha yumuşak olabilir ve mukavemet açısından novalak reçinelere kıyasla daha düşük performansa sahip olabilirler. Termal kararlılık açısından kıyaslandığında, novalak reçineleri, yüksek termal dayanıklılığa sahip olabilirler. Bu reçineler, genellikle yüksek sıcaklık ortamlarında istikrarlı bir şekilde performans gösterebilirler. Resol reçineleri de iyi bir termal dayanıklılığa sahiptir, ancak Novalak reçineleri kadar yüksek sıcaklık performansı sergileyemeyebilirler. Resol ve Novalak türü reçine, gösterdikleri farklı özellikler dolayısıyla kullanım alanına göre tercih edilmektedirler (Pilato, 2013).

Sturiale ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada epoksi-amin türevi yapıştırıcının mukavemetini artırmak için Resol tipi fenolik reçine ilavesinin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonuçları, %0 ile %30 aralığında Resol reçine ilavesinde elastik modülün 4.30 MPa'dan 2.45 MPa'a düştüğünü göstermiştir. Ayrıca, yapıştırıcı- alüminyum arayüzü için kırılma tokluğu incelenmiş, Resol reçine takviyesinin yapışma mukavemetini ve kırılma tokluğunu artırdığı anlaşılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, Resol tipi reçinelerin epoksi-amin türevi yapıştırıcılara ilavesinin yapıştırıcı özelliklerini geliştirmek için etkili bir ilave olduğu anlaşılmaktadır (Sturiale vd., 2007).

Fenolik reçinelerin üretimi esnasında karşılaşılan farklı değişkenlerin, nihai ürünün sahip olduğu özellikler üzerinde belirleyici unsurlar olduğu anlaşılmaktadır. Reçinenin üretiminde kullanılan katalizör, başlangıç fenol-formaldehit oranı, ortam sıcaklığı ve pH ölçüsü nihai ürünün kimyasal yapısı ve dolayısıyla mekanik özelliklerini etkilemektedir. Literatürde yapılan çalışmalar, fenolik reçinelerin sentez parametrelerinde yapılan değişikliklerin, reçinenin kimyasal yapısı ve mekanik özelliklerinde sebep olduğu değişiklikleri açıklamaktadır. Fenolik reçine yapısında oluşan metilol fenoller, kürleşme ile metilen bağları ve eter bağları oluşturmaktadır. Kürlenmiş reçinelerin yapısında bulunan metilen ve eter bağlarının yoğunluğu ise başlangıç fenol/formaldehit oranına ve katalizör türüne bağlı olmaktadır (Parameswaran ve Thachil, 2007).

İlk olarak reçinelerin başlangıç fenol/formaldehit oranları incelendiğinde farklı proses parametreleri de göz önünde bulundurulmak kaydıyla optimum fenol formaldehit oranı ile fenolik reçinelerde maksimum çapraz bağ oluşumu gözlenmekte ve en yüksek mekanik özelliklere ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Eter bağları, bağ enerjisi bazında metilen bağlarından daha zayıf ve daha az stabildir. Artan fenol/formaldehit oranı ile fenolik reçine yapısında aşırı miktarda eter bağları oluşmakta ve artan eter bağları kürlenmiş reçinenin dayanımını düşürmektedir. Kabul edilebilir miktarda eter bağları, hidrojen bağlantılarının oluşumuna ve reçinenin özelliklerinde iyileşmeye sebep olmaktadır (Manfredi vd., 1999; Livia Tonge, 2007; Parameswaran ve Thachil, 2007; Ma vd., 2013).

İkinci olarak, reçine sentezinde kullanılan katalizörün türü, oranı ve pH' sının reçine özelliklerine etkisi incelenmiştir. Katalizör olarak NaOH tercih edilen bir fenolik reçine sentezinde, belirli bir Fenol / Formaldehit molar oranına sahip resol formülasyonları için çapraz bağlanma reaksiyonlarının arttığı ve difüzyon mekanizmasının en aza indirildiği optimum bir NaOH / Fenol molar oranı seviyesi olduğu çalışmalar sonucu gösterilmektedir. Daha yüksek NaOH / Fenol oranlarının, artan difüzyon sınırlama mekanizmaları nedeniyle kürleşme reaksiyonlarını yavaşlattığı anlaşılmaktadır (Livia Tonge, 2007).

Reçine sentezi sırasında kullanılan katalizörün fenol formaldehit reçinesinin sertleşme oranı üzerindeki etkisi incelendiğinde, reçinenin sertleşme oranının nötr veya hafif asidik koşullar altında en hızlı olduğu ve ahşap malzemeler için yapıştırıcı olarak tercih edildiği gösterilmektedir. Ayrıca farklı tür katalizör olarak NH_3 , TEA ve NaOH karşılaştırıldığında, NH_3 katalizör ile üretilen reçinenin düzlem geriliminin diğer iki katalizörden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İlave, NaOH ile katalize edilmiş

reçinenin, daha yoğun çapraz bağlı olduğu ve daha gevrek yapıda olduğu anlaşılmaktadır (Shafizadeh, J.E., Guionnet, S., Tillman, 1999).

Son olarak, incelenen çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, reçine sentezinde kullanılan katalizörün dolayısıyla sentez ortamı ne kadar asidikse reçinenin yapısında metilen bağlarının eter bağlarından daha fazla olduğu ve reçinenin daha kararlı bir yapı sergilediği ve daha yüksek dayanım gösterdiği anlaşılmaktadır. Yapıda artan pH ile eter bağlarının da arttığı ve bu bağların reçinenin kararlılığını azaltmakla birlikte daha gevrek bir yapıya sebep olduğu bilinmektedir. Katalizör pH 'sının yanı sıra türünün de reçine yapısında oluşan boşlukların şekil ve dağılımlarını etkilediği, daha asidik yapıda olan reçinelerde boşlukların daha küçük, tek düze ve daha oval şekillere sahip olduğu görülmektedir. Reçine yapısında bulunan bu boşluk yapıları sayesinde daha asidik yapıdaki reçinelerin dayanımının daha bazik yapıda olan reçinelere göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Hamad vd., 2019).

Fenolik reçine yapısının metal yüzey bağlantısını sağlayan ticari yapıştırıcının kimyasal, termal ve mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla diğer ticari bileşenler sabit tutulmak suretiyle farklı özelliklerde yerli üretim fenolik reçineler kullanılarak yapıştırıcılar hazırlanacaktır. Belirtilen özellikleri incelemek maksadıyla yapıştırıcı ve reçinelere çeşitli karakterizasyon çalışmaları yapılacak ve yapıştırıcıların mekanik dayanımları ve karakterizasyonları yapılacaktır. Böylece en iyi performansa sahip malzemenin tespitiyle birlikte bu malzemenin yapışma mekanizmasında gösterdiği etki de incelenecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapıştırıcıların hazırlık prosesi, reçine ve yapıştırıcıların kimyasal ve termal yapılarının tespitine dayalı analiz süreci, yapıştırıcı mekanik özelliklerinin tespit edilmesine yönelik tek tesirli bindirmeli bağlantıların hazırlık süreci ve mekanik testlerin yürütülmesi süreci aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır. Altıgen bal peteği üretiminde kullanılan epoksi, fenolik reçine ve karbon türevi bir takviye içeren yapıştırıcının epoksi bileşeni ve takviyesi sabit olmak üzere aynı reçete ile farklı fenolik reçine ihtiva eden 5 farklı yapıştırıcının hazırlık süreci gerçekleştirilmiştir. Yapıştırıcı ve reçinelerin fonksiyonel gruplarının ve termal kararlılıklarının tayin edilmesi amacıyla çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yapıştırıcı mekanik performansları incelenmiştir ve karakterizasyon/performans ilişkisi kurup çalışmanın amacı olan ticari malzeme seçiminin nedenleri bilimsel veriler kullanarak açıklanmıştır. Burada yapılan bütün çalışmalar, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde yürütülmüştür.

3.1. Yapıştırıcı Hazırlığı

İlk olarak üç bileşenli bir yapıştırıcının hazırlık süreci gerçekleştirilmiştir. Altıgen bal peteği üretiminde kullanılan çok bileşenli ticari yapıştırıcının iki bileşeni sabit tutulup, fenolik reçine diğer bir bileşen olarak kullanılmıştır. Homojen bir karışım elde etmek amacıyla bileşenler sırayla ve 12 saat aralıklarla kapalı bir kaptaki manyetik karıştırıcı vasıtasıyla karıştırılmıştır (Şekil 3.1). Uygulanan bu hazırlık süreci, ticari yapıştırıcının hazırlık süreci için verilen talimatlardan yola çıkılarak belirlenmiştir. Yapıştırıcı formülasyonu olarak ticari üründe kullanılan 10:10:1 oranında ticari bileşen/reçine/ticari katalizör kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Manyetik Karıştırıcı ile Yapıştırıcıların Hazırlanması Süreci

Fenolik reçinenin yapıştırıcı performansına etkisini incelemek maksadıyla diğer bileşenler sabit tutularak, aynı formülle yapıştırıcılar hazırlanmıştır. Çizelge 3.1’de verilen farklı fenol formaldehit oranı, pH ve viskoziteye sahip 5 farklı reçine kullanılarak 5 farklı yapıştırıcı elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Fenolik Reçinelere Ait Özellik Tablosu

Numune Kodu	pH (25 °C)	Serbest Formaldehit (%)	Serbest Fenol (%)	Vizkozite (cP)(25 °C)
R1	6,5-7,7	<0.1	0.17	2020
R2	7,3	0.98	15.93	818
R3	7,6	0.7	8.0	484
R4	8.2-8.9	<0.5	4,6	315
R5	13,1	<0.05	-	39

Yapıştırıcıların hazırlık süreci tamamlandıktan sonra numune hazırlama ve uygulama aşamasına geçilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Uygulamada Hazırlanmış Yapıştırıcılar

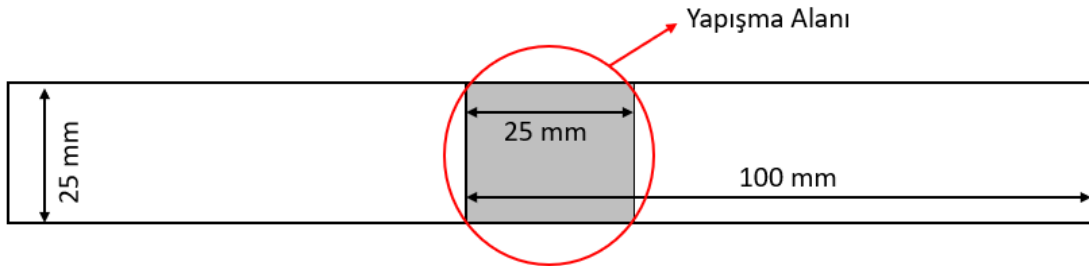
3.2. Mekanik Testler için Numune Hazırlığı

Yapıştırıcı performansını test etmek amacıyla yapılacak olan çekme testleri için numuneler hazırlanmıştır. 1 mm kalınlığında alüminyum levhalar, ASTM D1002 standardına uygunlukta 100 x 25 mm boyutlarında kesilmiştir. Kesim işlemi sonrası parçaların kenarında oluşan çapaklar yapışma performansını etkilememesi için gravür makinesiyle temizlenmiştir. Boyutlandırması tamamlanan levhalar ilk olarak üretim sırasında veya sonrasında alüminyum levha üzerinde bulunabilen gliserin ve yağ tarzı kir tabakalarının uzaklaştırılması amacıyla alkol dolu bir kaptaki ultrasonik banyo kullanılarak temizlenmiştir. Devamında alkolü giderilen alüminyum çubuklar aseton ile temizlenerek Şekil 3.3’de gösterildiği gibi hazır hale getirilmiştir. Standartta uygun şekilde yapışma alanları 25 x 25 mm olacak şekilde belirlenmiş ve yapışma alan sınırları yapıştırıcı uygulanması sırasında taşmayı önlemek için alüminyum folyo bantlar ile belirlenmiştir. İşlem sırasında ve sonrasında analizlerin kıyaslanabilirliğini sağlamak üzere yüzey pürüzlülüğünü artırmak için numunelere herhangi bir yüzey işlemi uygulanmamıştır.



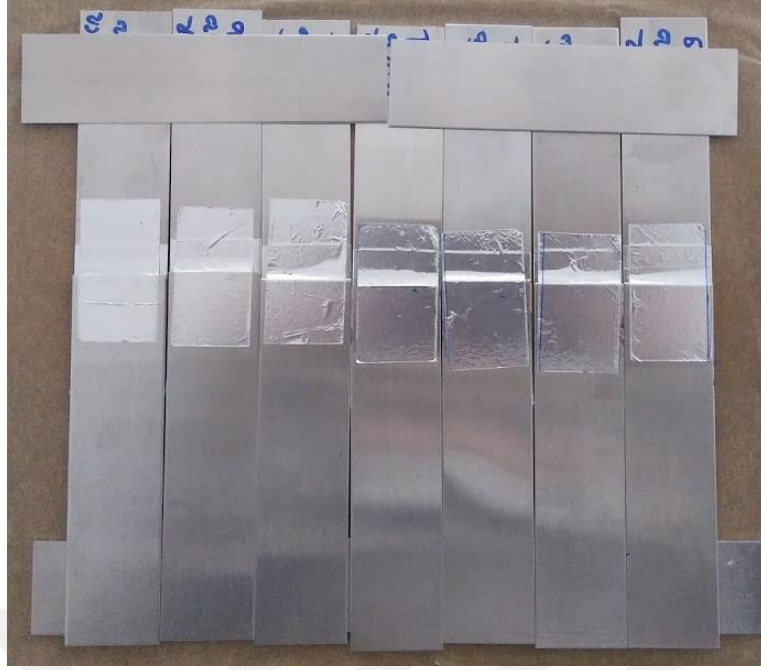
Şekil 3.3. Yapıştırma İşlemi Öncesi Alüminyum Levhaların Hazırlanması

Ön hazırlığı yapılan levaların yapıştırma işlemi Şekil 3.4’de verilen şemada görüldüğü gibi standarda uygun tek bindirmeli bağlantı numuneleri hazırlanmıştır.



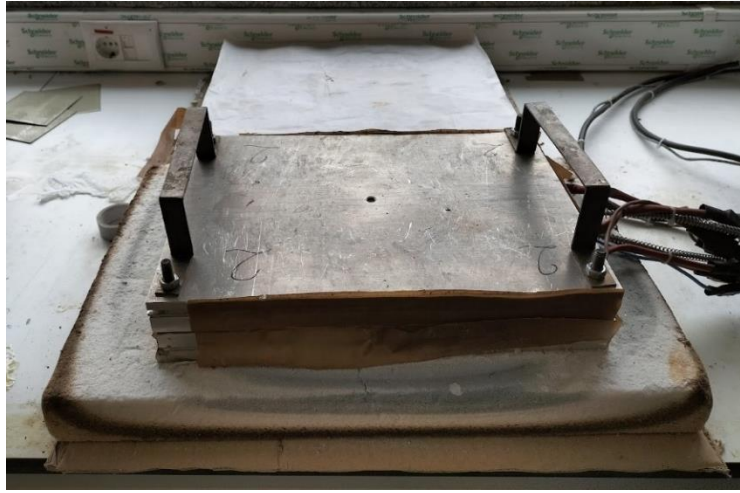
Şekil 3.4. Tesirli Bindirmeli Numunelerin Gösterimi

Yapıştırıcının alüminyum çubuklara uygulanması aşamasında belirlenen yapışma alanına sabit 50 μ l hacimde yapıştırıcı damlatılıp karşılıklı yapışma yüzeyleri eş doğrultuda olacak halde Şekil 3.5’te gösterildiği gibi birleştirilmiştir. Bu işlem sonrasında, yapıştırılan çubuklarda kürlenme tamamlanmadan önce kayma olmaması için alüminyum folyo bantlar yardımıyla her iki çubuk birbirine sabitlenmiştir. Sabitleme için kullanılan bu bantlar, kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra kaldırılmıştır. Test edilmek üzere her bir numune grubundan 5’er adet numune hazırlanmıştır.



Şekil 3.5. Yapıştırıcı Uygulanmış Alüminyum Çubuklar

Yapıştırıcı uygulanmış alüminyum çubuklar ısı plakasının üzerine yerleştirilmiştir ve 3 saat süreyle 180 °C sıcaklıkta kürleme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kürleme İşleminin Gerçekleştirildiği Isı Plakaları

Hazırlanan numuneler Shimadzu AGS-X (100 kN) test cihazında teste tabii tutulmuştur. ASTM D1002 standardına uygun olarak hazırlanan numuneler, 1 mm/dakika hızda test edilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Shimadzu AGS-X Test Cihazı

3.3. Yapıştırıcı ve Bileşenlerin Karakterizasyonu

Hazırlanan yapıştırıcıların fonksiyonlarını ve bu fonksiyonların yapıya etkisini incelemek amacıyla çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Yapıştırıcı ve Bileşenlere Uygulanan Termal Analizler

TGA cihazı kullanılarak numunenin kütlesinin numunenin sıcaklığına ve zamana bağlı değişimi incelenerek numunenin ısıl dengesinin ölçülmesi ve karakterize edilmesi amaçlanmaktadır. Setaram – Labsys Evo cihazında TGA analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Analizlerinde Kullanılan Setaram-Labsys Evo Cihazı

Özellikle polimer bazlı malzemelerin uçucu moleküllerinin kaybına bağlı kütle değişimi ile numunelerin ısı analizleri gerçekleştirilmektedir. Test sırasında numune 500 °C' ye kadar 10°C/dakika hızda ısıtılarak inert atmosferde numunenin bozunması incelenmiştir.

3.3.2. Yapıştırıcı ve Bileşenlerine Uygulanan Kimyasal Analizler

FT-IR spektrometresinin katı, sıvı ya da gaz numunelerinin belirli dalga boylarında moleküllerin titreşim hareketlerinin soğurulması ile hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilir. Moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak numune yapısında bulunan fonksiyonel grupların, bağların ve bağ sınıfının (aromatik/alifatik) tespitinde yardımcı bir analiz yöntemidir. Thermo Scientific – Nicolet iS20 marka ve model cihaz (Şekil 3.9) kullanılmış olup 400-4000 cm^{-1} aralığında tarama yapılmıştır.



Şekil 3.9. Scientific – Nicolet iS20 FT-IR Cihazı

Yapışma yüzeylerinde yapılan Raman haritalama, iki veya daha fazla malzemenin birleştirildiği yerlerde gerçekleştirilir. Yapıştırıcı yüzeyine uygulanan lazer ışığı, örneğin yüzeyindeki bileşenlerden bazıları tarafından saçılır ve bu saçılan ışık, Raman spektrumunu oluşturmak için dedektöre yönlendirilir. Raman spektrumları, farklı malzemelerin birleşme noktasındaki kimyasal bileşimini analiz etmek için kullanılabilir.

Raman haritalama, yapışma yüzeylerindeki farklı bileşenlerin ve bunların dağılımının belirlenmesine yardımcı olabilir. Örneğin, Raman haritalama, bir yapıştırıcının yüzeyindeki polimer tabakasının kalınlığını veya dağılımını ölçmek için kullanılabilir. Ayrıca, Raman haritalama, malzemelerin birbirine yapıştırılması sırasında

oluşabilecek kimyasal reaksiyonların ve diğer değişikliklerin tespiti için de kullanılabilir. Renishaw inVia Reflex Konfokal Raman (Şekil 3.10) kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Renishaw inVia Reflex Konfokal Raman Mikroskobu

Temas açısı analizi, sıvıların yüzeydeki temas açısının ölçüldüğü bir analiz yöntemidir ve yapıştırıcıların yüzey özelliklerinin incelenmesinde kullanılan bir araçtır. Yapıştırıcının yüzeyindeki temas açısı, sıvının yüzeydeki enerji durumu ve yüzey gerilimi hakkında bilgi sağlar ve yapıştırıcı yüzeyinin polarite ve hidrofobisitesi hakkında ipuçları verir. Temas açısı analizi, yapıştırıcının yüzey özelliklerinin yanı sıra yapışma yeteneği ve performansını tahmin etmek için de kullanılır. Temas açısı analizi, yapıştırıcının yüzey özelliklerinin yanı sıra, yapıştırıcının uygulanması sırasında yüzeyin temizliği ve diğer faktörlerin de etkisini göz önünde bulundurarak yapışma performansı hakkında ön bilgi sunabilmektedir.

Sonuç olarak temas açısı analizi, yapıştırıcının yüzey özelliklerinin değerlendirilmesi, yapışma yeteneği ve yapışma performansının tahmini için önemli bir araçtır. Temas açısı Biolin Scientific Attension – Theta Lite marka ve model cihaz (Şekil 3.11) kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 3.11. Scientific Attension – Theta Lite Temas Açısı Ölçüm Cihazı

3.3.3. Yapıştırıcı ve Bileşenlerine Uygulanan Yüzey Analizleri

Optik profilometre, yüzey özelliklerinin (örneğin pürüzlülük) üç boyutlu olarak ölçüldüğü yüzey karakterizasyon cihazıdır. Ayrılmış yüzeylere yapılan optik profilometre analizi, iki yüzeyin birleştirilmesiyle oluşan arayüzün yüzey özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Bu analiz yöntemi, yüzeyler arasındaki yapışma kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir araçtır. Yüzey özellikleri, yapıştırıcıların yüzeyler arasındaki tutunma performanslarını belirler. Optik profilometre, yüzeylerin pürüzlülüğü ve yüzeylerin birbirine ne kadar iyi tutunacağı hakkında bilgi sağlar. Ayrılmış yüzeylere yapılan optik profilometre analizi, yapıştırıcıların yapışma yeteneğinin belirlenmesinde de kullanılır. Bu bilgiler, yapıştırıcının kullanım amacına uygunluğunu belirlemek ve yapıştırma performansını artırmak için kullanılabilir. Ayrılmış yüzeylere yapılan optik profilometre analizi, yüzeylerin hazırlanması ve temizlenmesi de dahil olmak üzere birçok faktörün yapışma kalitesine etkisini belirlemeye yardımcı olabilir. Analiz sonuçları, yapıştırıcıların uygulanması öncesinde yüzeylerin nasıl hazırlanacağı ve temizleneceği hakkında da ipuçları sağlayabilir.

Özetle, ayrılmış yüzeylere yapılan optik profilometre analizi, yapıştırıcıların yüzeylere ne kadar iyi yapışacağı, yapışmanın ne kadar güçlü olacağı ve yapışma kalitesinin ne kadar iyi olacağı hakkında önemli bilgiler sağlayan bir yöntemdir. Bu analiz yöntemi, yapıştırıcının kullanım amacına uygunluğunu belirlemek ve yapıştırma performansını artırmak için kullanılmıştır. Filmetrics Profilm3D marka model optik profilometre cihazı ile analiz gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Filmetrics Profilm3D Optik Profilometre Cihazı

Ayrılan yapışma yüzeylerinde optik yöntemlerle yapılan yapışma alanlarının analizi, yapıştırıcıların yapışma performansını ve birleşim yüzeylerinin kalitesini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz, yüzeyler arasındaki yapışmanın ne kadar güçlü olduğunu ve ne kadar alan kapladığını belirleyebilir. Yapışma yüzeylerindeki yapışma alanı analizi, optik mikroskoplarla gerçekleştirilebilir. Bu analiz yöntemi, ayrılan yapışma yüzeylerinin görüntülerini alarak yapışma alanlarını hesaplar. Görüntüler, özel yazılımlar kullanılarak analiz edilir ve yapışma alanları ölçülür. Bu cihazda, yerli girişimler sonucu geliştirilmiş olan KameramGen3 yazılımı kullanılmıştır (Şekil 3.13). Yapışma alanları, yapıştırıcının yüzeylere ne kadar iyi yapıştığına bir göstergesi olarak kabul edilir. Yapışma alanlarının büyüklüğü, yapıştırıcının yapışma

performansı hakkında bilgi sağlar. Daha büyük yapışma alanları, daha güçlü bir yapışma anlamına gelirken, daha küçük yapışma alanları daha zayıf bir yapışma anlamına gelir.



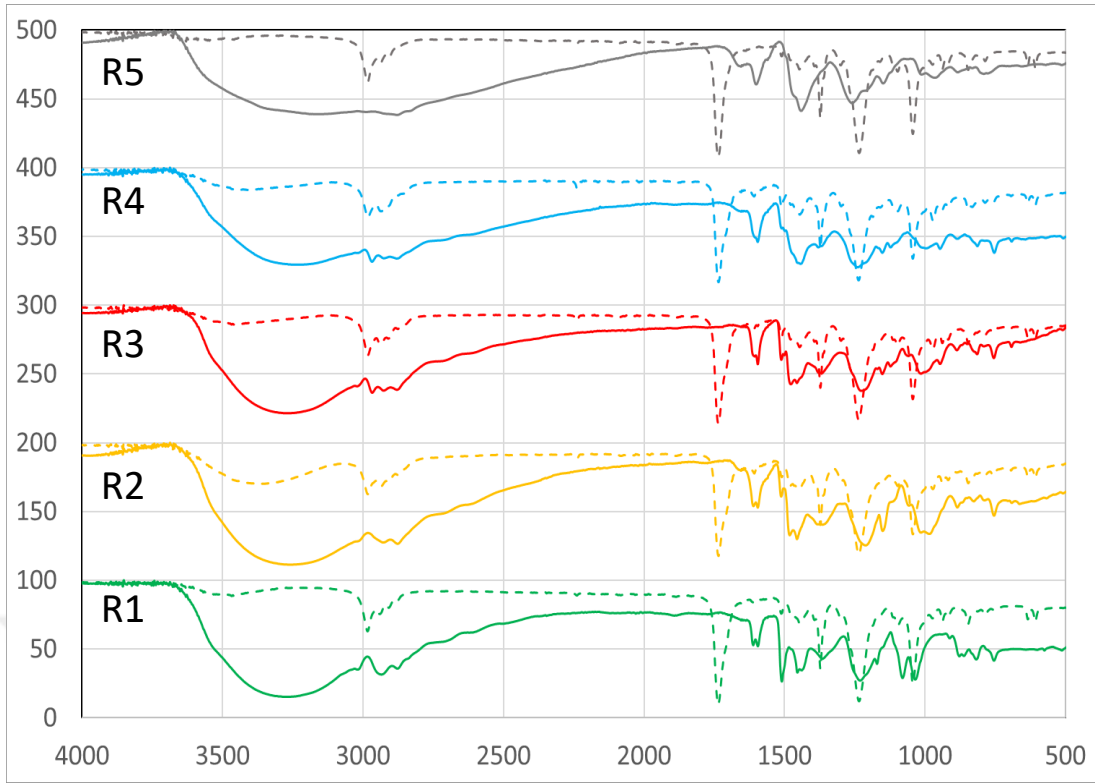
Şekil 3.13. Mikroskop ile Yapışma Yüzeylerinin İncelenmesi

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Yapıştırıcı ve Reçinelerin Karakterizasyonu

4.1.1. Bileşenlerin ve Yapıştırıcının Kimyasal Yapı Analizi (FT-IR)

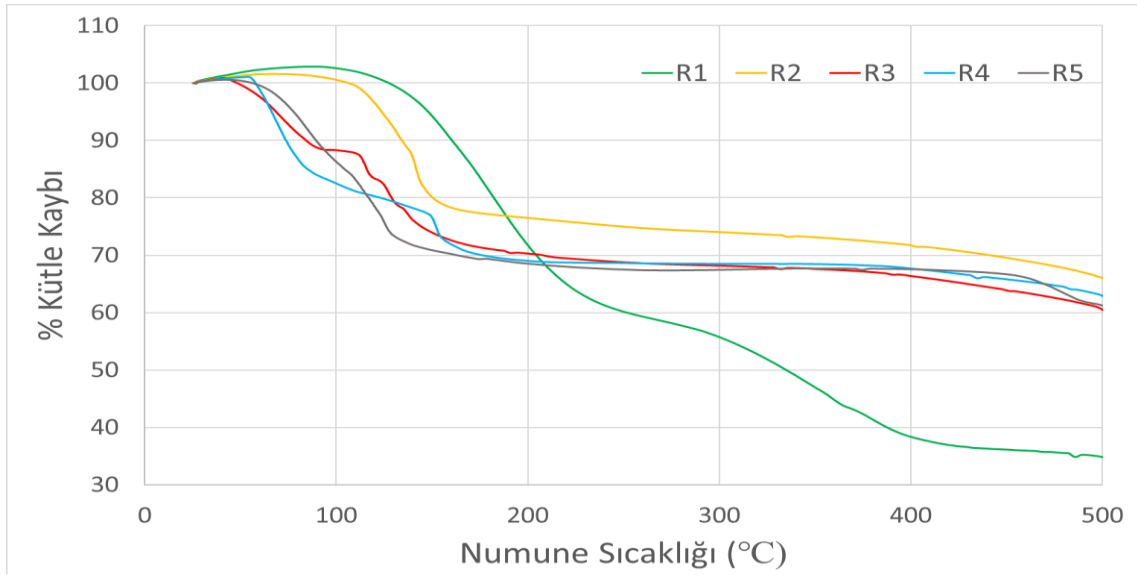
Yapıştırıcıların performansında görülen farklılıklarını kimyasal açıdan inceleyebilmek ve açıklayabilmek adına ham reçinelere ve yapıştırıcılara FT-IR analizi yapılmıştır. Bu sayede temin edilen ham maddelerin bünyesinde tepkinirliğe sebep olan yüzey fonksiyonların karakterizasyonu sağlanmıştır. R1 reçinesi yapısında farklı grupları bulundurması ve bu grupların R1 reçine yapısında R5 reçine yapısına göre sayıca daha fazla olması sebebiyle FT-IR grafiklerindeki piklerin fazlalığından anlaşılmaktadır. Sonuçlarda, R5 reçinesi hariç bütün reçinelerde $\sim 2940\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen titreşim bandının bulunduğu, yani reçine yapılarında metilen köprülerinin ($-\text{CH}_2-$) mevcut olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.1). Benzer şekilde R2 ve R3 reçinelerinde 1480 cm^{-1} civarında görülen titreşim bandı da metilen köprülerinden kaynaklanmaktadır (Pelin vd., 2016; Hamad vd., 2019). Yapıştırıcı verileriyle karşılaştırıldığında ise pik şiddetlerinin azaldığının görülmesi, tepkinirliği düşük olan metilen köprülerinin başlıca reçinelerden yapıştırıcı yapısına dahil olduğunu göstermektedir. Literatür çalışmalarına bakıldığında metilen köprülerinin reçine sertliğini ve dayanıklılığını artırdığı, yapıştırıcıların termal dayanımını artırdığı gösterilmiştir [31]. Dikkat çeken diğer iki pik ise $\sim 1070\text{ cm}^{-1}$ ve $\sim 750\text{ cm}^{-1}$ seviyelerinde hidroksil ve eter gruplarına aittir (Hu vd., 2022). İlki sadece R1 reçinesinde gözlenirken, ikincisi sadece R5 reçinesinde görülmemektedir. Eter köprülerinin ise reçine esnekliğini ve elastikiyetini artırarak yapıştırıcıların darbe dayanımını yükselttiği, fakat sertlik ve mukavemetin azalması ve düşük sıcaklıkta ayrışma eğilimlerinin artması gibi olumsuz etkilere neden olabileceği tespit edilmiştir [39]. Reçine yapılarında tespit edilen hidroksil gruplarının, eter ve metilen köprülerinin yapıştırıcı kimyasal, mekanik ve termal performanslarını ne ölçüde etkilediği çalışmanın devamında ortaya koyulacaktır.



Şekil 4.1. Reçine ve Yapıştırıcılara Ait FT-IR Grafikleri

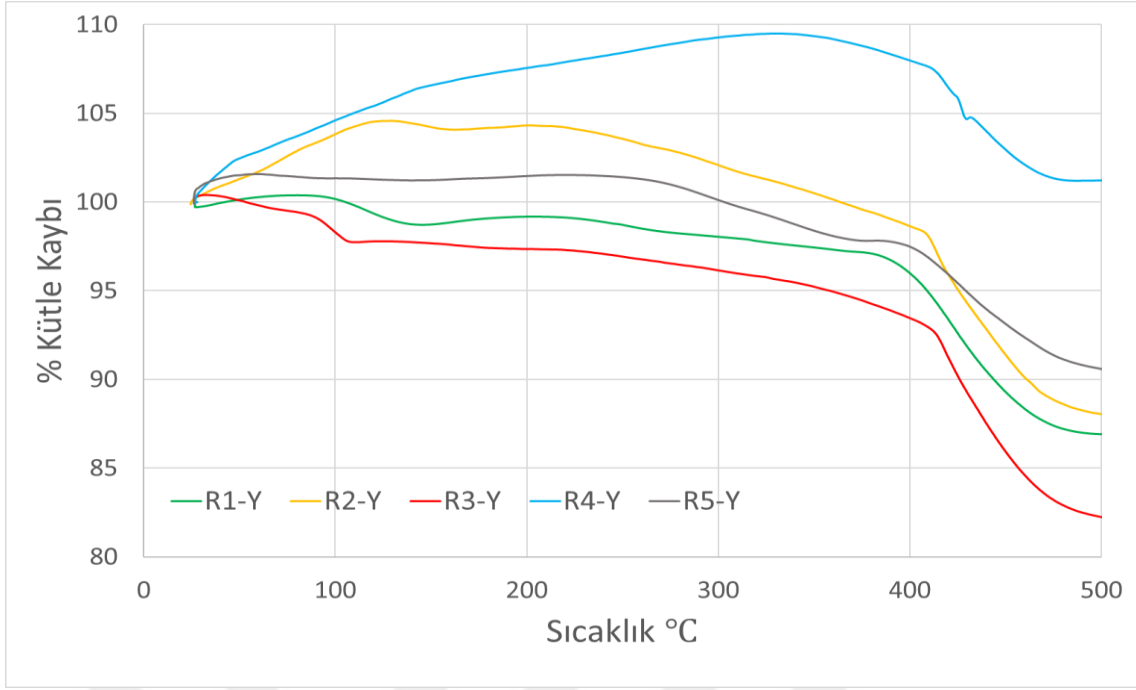
4.1.2. Yapıştırıcı ve Reçinelerin Termal Bozunması

Reçinelerin kimyasal yapılarını analiz edebilmek, yapılarında bulunan grupların termal davranışlarını analiz edebilmek ve bu unsurların yapıştırıcı performansı üzerine etkisini açıklayabilmek için ham reçine ve yapıştırıcılar TGA yöntemi ile incelenmiştir. TGA analizi sıcaklıkla polimerin bozunması sırasında bazı uçucu bileşikler ve artık ürünler oluşturan polimer zincirlerinin bölünmesiyle gerçekleşir.



Şekil 4.2. Fenolik Reçinelerin TGA Eğrileri

Reçinelerin TGA eğrileri Şekil 4.2’de verilmiştir. Reçinelere ait TGA eğrileri incelendiğinde, 200 °C’de tüm reçinelerde görülen yaklaşık %20’lik kütle kaybı çapraz bağlanma/yoğunlaşma reaksiyonunun neden olduğu serbest fenol, formaldehit, oligomer ve suyun buharlaşmasından kaynaklanan bir kütle kaybıdır (Yang vd., 2019). 500 °C’ye kadar artan sıcaklıkla birlikte R1 reçinesinde kütle kaybının %60’a kadar çıktığı görülürken, diğer tüm reçinelerde kütle kaybı neredeyse olmamıştır. Bu aşamadaki R1 reçinesinde kütle kaybı, köprülenmiş metilenden kaynaklanabilir, ancak bazı araştırmacılar, metilen ve fenolik -OH arasındaki kondensasyon reaksiyonu sonucu oluşan suyun buharlaşmasının da bu aşamadaki kütle kaybına katkıda bulunabileceğini belirtmişlerdir (Li vd., 2016). Fenolik reçinelerin yapısında bulunan hidroksil grupları, sıcaklığın artmasıyla termal kararlılığını kaybetmektedir ve dehidrasyona uğradıkları, metilen gruplarının hidrokarbon gazlarına dönüşebildiği ve aldehytlerin de oksitlenerek yapılarının bozulduğu göz önüne alınarak literatürde belirtilen her iki durumda da reçinenin yapısında bulunan oksijenli fonksiyonel grupların sıcaklıkla birlikte bozularak kütle kaybına neden olduğu açıklanmıştır. R1 reçinesinde artan sıcaklıklarda kütle kaybı olması, kürleşmeden sonra da reçinenin yapısında ve yüzeyinde halen fonksiyonel grupların olduğunun göstergesidir. R1 reçinesinin TGA eğrilerinden elde edilen bu veriler, FT-IR verileriyle de uyumludur ve bu reçine ile hazırlanan yapıştırıcının diğer yapıştırıcılara kıyasla daha yüksek performans göstermesini de açıklar niteliktedir (Shafizadeh, J.E., Guionnet, S., Tillman, 1999; Lee vd., 2003; Alonso vd., 2011).



Şekil 4.3. Yapıştırıcılara Ait TGA Eğrileri

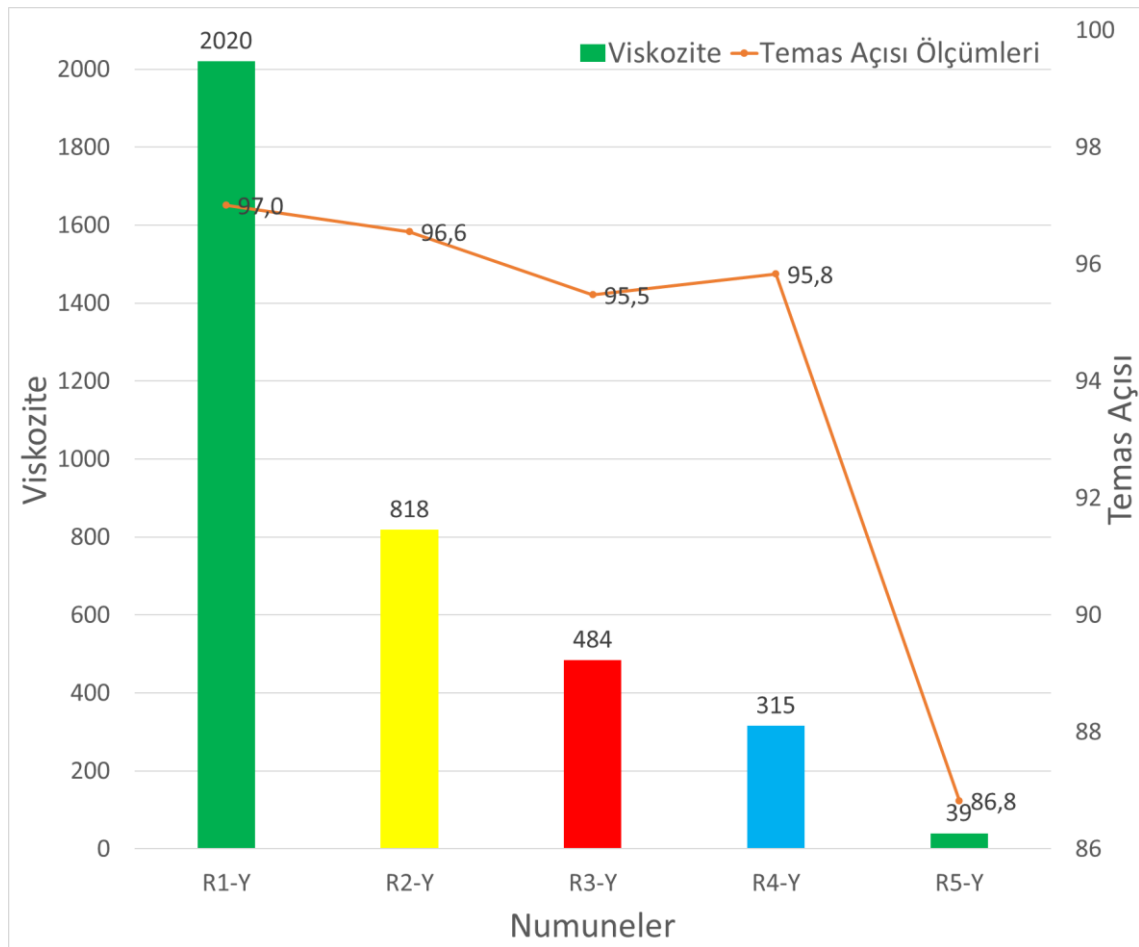
Şekil 4.3'te reçinelerle hazırlanan yapıştırıcıların TGA eğrileri incelendiğinde, yapıştırıcıların sıcaklıkla birlikte 400 °C'ye kadar termal kararlılıklarını koruduğu, 400-500 °C arasındaki sıcaklıkta da ortalama ~ %10 kütle kaybı olduğu gözlenmektedir. Elde edilen verilerle, hazırlanan yapıştırıcının 400 °C'ye kadar kararlılığını koruduğu, 500 °C'ye kadar artan sıcaklıklarda düşük kütle kaybı olması sebebiyle yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda kullanılabilirliği anlaşılmaktadır. İlaveten, R1 yapıştırıcısı ile kütle kaybının azalması yapıştırıcı esnasında fonksiyonların tepkimeye girdiğini göstermektedir.

4.1.3. Kürlenmemiş Yapıştırıcının Islatma Kabiliyeti

Yapıştırıcının ıslatma kabiliyeti, bir yapıştırıcıyı bir yüzeye yayma ve o yüzeyin üzerine yayılma yeteneğini gösterir. Islatma kabiliyeti, yapıştırıcı ile yapıştırılacak malzeme arasındaki etkileşimi ve temas açısını belirler. Örneğin, bir yapıştırıcının yüzey gerilimi arttıkça temas açısı da artar. Yüzey gerilimi, yapıştırıcının içerisindeki polar ve apolar bileşenlerin oranına bağlıdır ve polar bileşenler arttıkça yüzey gerilimi de artar. Aynı şekilde, yapıştırıcının viskozitesi de temas açısını etkiler. Yüksek viskoziteli yapıştırıcılar daha az yayılır ve daha yüksek temas açılarına sahiptir. Farklı özelliklere

sahip fenolik reçinelerin yapıştırıcılarda kullanılması, yapıştırıcının temas açısını etkileyebilir.

Bu nedenle, yapıştırıcının kimyasal bileşimi, içeriğindeki fenolik reçinenin özellikleri ve viskozitesi, yapıştırıcının temas açısını etkileyebilir ve farklı yapıştırıcılarda farklılık gösterebilir. Şekil 4.4'te farklı fenolik reçinelerle hazırlanmış yapıştırıcılara ait temas açısı ölçüm sonuçları, reçinelere ait viskozite değerleri ve çekme testlerinden elde edilen ortalama kuvvet değerleri ile birlikte verilmiştir.

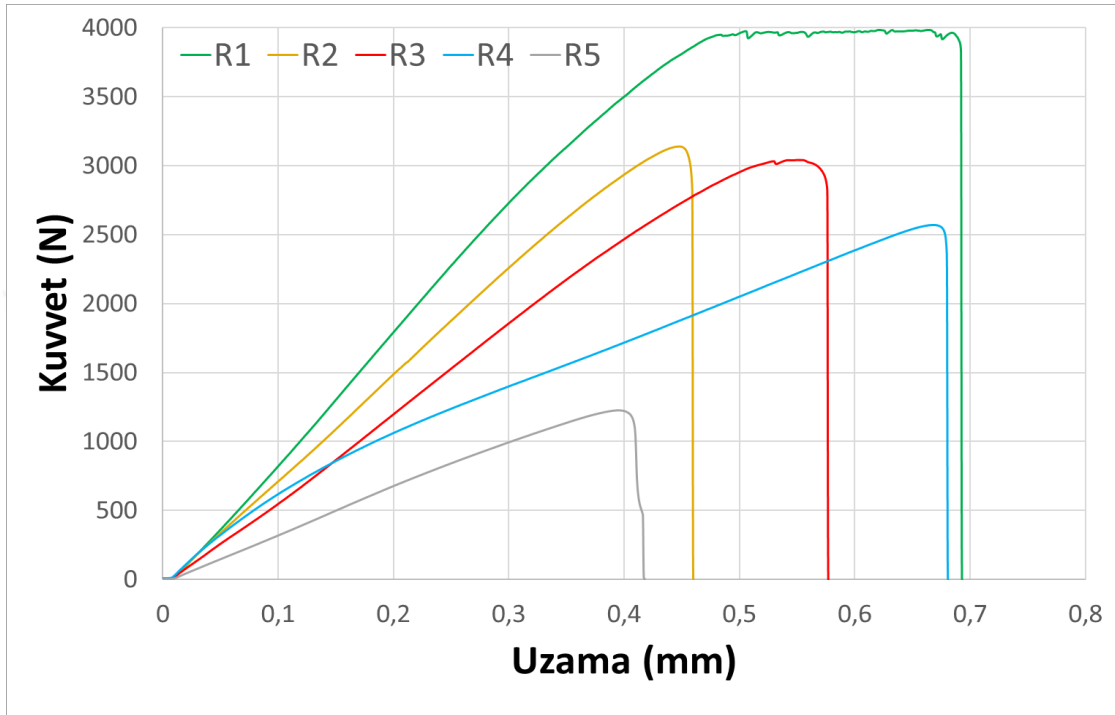


Şekil 4.4. Temas Açısı-Viskozite ve Ortalama Kuvvet Grafiği

Tablo incelendiğinde, temas açısı-reçine viskozite arasında bir korelasyon kurulabilmektedir. Küçük ölçekli sapmalar olsa da reçine viskozitesindeki artışla birlikte yapıştırıcının temas açısı artmaktadır. Yukarıda da bahsedildiği üzere, yüksek viskoziteli reçine içerikli yapıştırıcılarda, yüzey gerilimi ve buna bağlı olarak temas açısı artmıştır.

4.2. Kürlenmiş Yapıştırıcıların Mekanik Performansı

Yukarıda özellikleri verilen 5 farklı fenolik reçine ve ticari bileşenler kullanılarak hazırlanan tek tesirli bindirmeli bağlantılar çekme testi ile incelenmiştir. Test sonucunda elde edilen maksimum kuvvet-uzama eğrileri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Yapıştırıcılardan Elde Edilen Çekme Eğrileri

Çekme eğrileri incelendiğinde, R1 reçineli yapıştırıcının, diğer tüm yapıştırıcılara oranla daha yüksek maksimum kuvvet değerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca maksimum kuvvet değerinde kopma ani olmayıp, yapışan parçalar bir miktar ($\sim 0,03$ mm) kaydıkdan sonra ayrılmıştır. Bunun dışındaki diğer yapıştırıcılar ile neredeyse gevrek kopma görülmektedir.

R5 reçineli yapıştırıcı, diğer tüm yapıştırıcılara nispetle çok düşük kuvvette kopmuştur. Buna ilave olarak, en düşük uzama karakterine sahiptir. R2 ve R3 reçineli yapıştırıcılar hemen hemen aynı kopma kuvvet değerine sahiptir. Her ikisi de gevrek kırılma davranışı göstermiştir. R4 reçineli yapıştırıcı R1 reçineli yapıştırıcıya benzer şekilde diğer yapıştırıcılara nispetle daha yüksek uzama değerine sahiptir ancak maksimum dayanma kuvveti açısından R5 reçineli yapıştırıcıdan sonra en zayıf performansa sahiptir.

Reçinelerin ve dolayısıyla yapıştırıcıların da kimyasal yapısı göz önüne alınarak literatür incelendiğinde, bu sonuçlar Shafizadeh ve ark. sonuçlarını desteklemektedir (Shafizadeh, J.E., Guionnet, S., Tillman, 1999; Hamad vd., 2019). Reçine hazırlamasında bazik katalizörün termal kararlılığı kürlleme esnasında yapı içinde kalıntıların kalmasına, yapı içinde zayıf noktalar olan gözeneklerin oluşmasına sebeptir. Farklı katalizörler kullanılarak sentezlenen fenolik reçinelerle gerçekleştirilen çalışmalarda, NaOH gibi daha bazik katalizörlerle sentezlenen reçinelerin farklı ortamlarda maruz bırakıldığı gerilimler altında daha gevrek davranış sergilediği görülmektedir. Bu yapılarda, çatlak başlangıcı sonrasında stabil olmayan bir ilerleme sergilediği ve gevrek kırılmalara sebep olabileceği bilinmektedir. Bu durum bazik ortamlarda sentezlenen reçinelerin, kürlleşme sonrasında daha yoğun çapraz bağlı yapıya sahip olması ile açıklanabilir. NaOH katalizörlüğündeki reçinenin gazından arındırılması sırasında, NaOH'ın yüksek kaynama noktası (normal kaynama noktası 1390 °C) nedeniyle tüm sodyum hidroksit reçinede kalır. Son reçinedeki yüksek hidroksit konsantrasyonu, fenolik reçinenin kondensasyon reaksiyonunu katalize eder ve bu reçinede gözlemlenen yüksek çapraz bağlanmaya sebep olur. NH₃ gibi daha düşük pH 'ya sahip katalizör kullanılarak elde edilen bir reçinede, başlangıç reaksiyon karışımında daha az miktarda serbest hidroksit iyonu bulunur. NH₃ ile katalize edilmiş reçinenin gazı giderilirken, NH₃'ün yüksek buhar basıncı (normal kaynama noktası = 233 °C) nedeniyle büyük bir katalizör konsantrasyonu buharlaştırılır. Bu durum reaksiyon sırasında reçinedeki katalizör konsantrasyonunun çok daha düşük olmasına neden olur. NH₃'nin daha düşük bazikliği ve yüksek buhar basıncı, NaOH katalizörlü reçineye kıyasla NH₃ katalizörlü reçinede daha düşük çapraz bağlanma derecesine katkıda bulunur. Çapraz bağlanma yoğunluğundaki göreceli azalma, reçinenin gevrekliğinde de azalmaya sebep olmaktadır (Shafizadeh, J.E., Guionnet, S., Tillman, 1999).

Deneyisel çalışmalardan elde edilen veriler, literatürdeki verilerle uyumluluk göstermektedir. Bazik ortamda sentezlendiği bilinen reçinelerle elde edilen yapıştırıcılar gevrek kopmaya yakın davranış göstermektedir. Düşük baz ortamında sentezlendiği bilinen reçinelerle ise yapıştırıcıların sünek kopmaya daha uygun davranış gösterdiği anlaşılmaktadır. Asidik ortamda sentezlendiği bilinen reçinelerden elde edilen yapıştırıcıların da daha yüksek dayanıma sahip olduğu, bunun da daha az eter köprüsü ve daha çok metilen köprüsü bulunup, daha yüksek dayanıma sahip olmasından kaynaklandığı açıklanmıştır (Hamad vd., 2019).

4.3. Ayrılan Yüzeylerin Karakterizasyonu

Çekme testleri sonrasında, yapıştırıcı yayılımı, kalınlığı ve homojenliği gibi pek çok etkeni incelemek amacıyla ayrılan yüzeyler üzerinde çeşitli görüntüleme analizleri yapılarak, yapıştırıcının yayıldığı alan, yapıştırma kalınlığı ve kimyasal içerik dağılımı incelenmiştir.

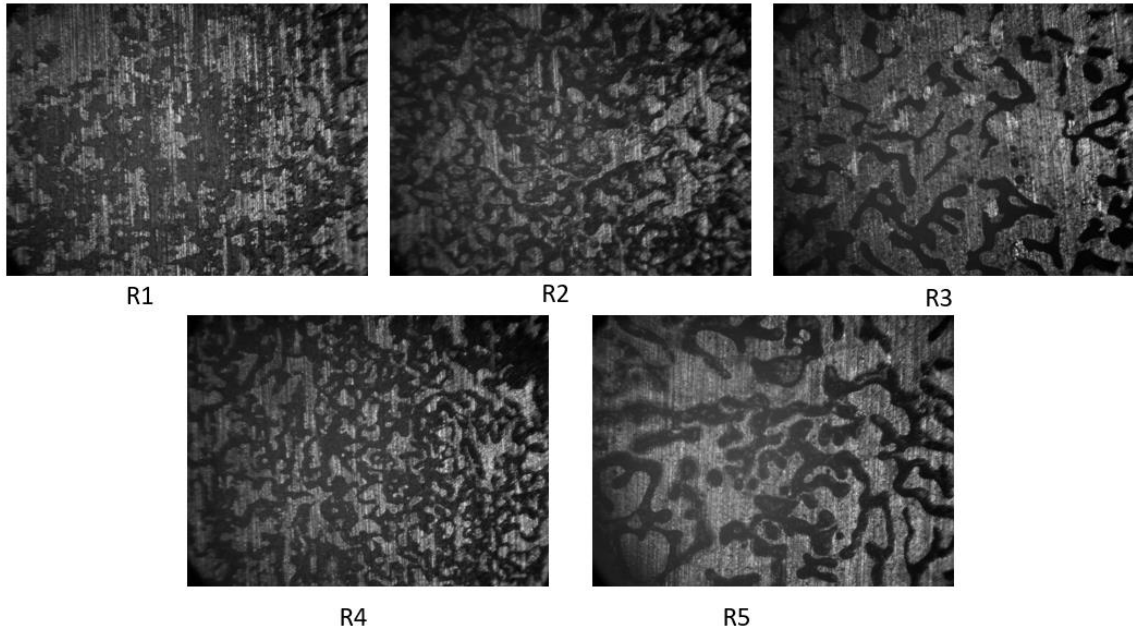
4.3.1. Optik ile Yayılma Alanının Belirlenmesi

Yapıştırıcının belirlenen yüzeyde yayılımı, yapıştırma performansını doğrudan ya da dolaylı etkileyebilmektedir. Yapıştırıcının yüzeyde yayılımı, yapışma yüzeyinin maksimum alanını kaplamasını sağlar ve bu da daha güçlü bağlanma oluşturur. İyi bir yayılma, yapıştırıcının yüzeye daha fazla temas etmesini ve yüzeydeki küçük çukurları veya çatlakları doldurmasını sağlar. Optik ile yapıştırıcının yüzeyde yayılımının analizi ile hata modları analiz edilmiştir.

Çizelge 4.1. Ayrılan Yüzeylerin Optik ile İncelenmesi Sonucu Elde Edilen Yapışma Alanları ve Spesifik Yapışma Kuvvetleri

Yapıştırıcı Numuneleri	Yapışma Alanı (%)	Spesifik Yapıştırma Kuvveti (N/ mm ²)
R1-Y	66	487
R2-Y	61	431
R3-Y	52	488
R4-Y	59	331
R5-Y	52	187

Hazırlanan numunelerde ayrılma yüzeyleri optik ile incelenmiş ve ortalama yapışma alanları tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Çizelge 4.1’te verilen sonuçlar incelendiğinde yüksek dayanıma sahip olan R1 reçineli yapıştırıcıdan hazırlanan numunelerin yapışma alanının diğer numunelerin yapışma alanlarına kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. R1 reçineli yapıştırıcının daha yüksek yapışma alanına sahip olması, yapıştırıcılarda, yapışma alanını etkileyebilecek fonksiyonların varlığı ile de açıklanabilir. Bunlar, yüzeyle kimyasal olarak etkileşime girerek yüzeyin ıslatılmasını artırabilir ve daha güçlü bağlantı oluşturabilir. Diğer yapıştırıcılarda ise fonksiyonlar bulunmayabilir ve yüzeyin ıslatılması azalır.



Şekil 4.6. Optik ile Elde Edilen Yapışma Alanlarına Ait Görüntüler

Yapışma alanları ortalama kuvvet- yapışma alanı şeklinde incelendiğinde kısmi olarak doğrusal değişim gözlenmiştir. En düşük dayanıma sahip yapıştırıcının yapışma alanı en az olanıdır. Yapışma alanının ve yapıştırıcının kimyasal yapısının da yapışma dayanımını etkilediği gösterilmiştir. Ayrıca, daha düşük viskoziteli yapıştırıcılar, yüzeye daha iyi yayılabilir ve daha geniş yapışma alanı oluşturabilir. Ancak, çok düşük viskoziteli yapıştırıcılar yüzeyde sızabilir ve istenmeyen alanlara yayılabilir. En düşük dayanıma sahip R5 reçinesinin viskozitesinin çok düşük olduğu, bu sebeple yüzeyde tutulumunun az olduğu, R1 reçinesinin viskozitesinin ideal seviyede olması sebebiyle de diğer yapıştırıcılara kıyasla yapışma alanının daha yüksek olması muhtemeldir. Yapışma alanının azalması, yapıştırma performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu durumda, yapıştırıcının yüzeyin tamamını kaplaması ve yüzeye tam olarak temas etmesi sağlanmalıdır.

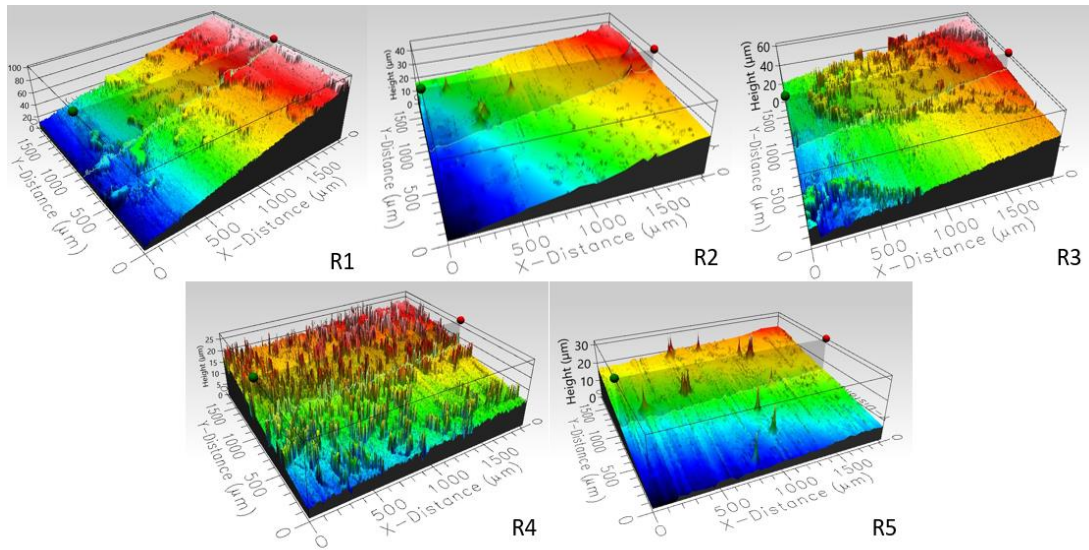
4.3.2. Optik Profilometre ile Yapıştırıcı Kalınlığının İncelenmesi

Mekanik testler sonucu ortaya çıkan ayrılma yüzeyleri, yapıştırıcı kalınlığını ve performansa etkisini belirlemek için optik profilometre ile incelenmiştir (Şekil 4.7). Yapıştırıcı kalınlıkları ve çekme test sonuçlarıyla ilişkilendirilebilir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Optik Profilometre Ölçümleri Sonucu Elde Edilen Ortalama Kalınlık Değerleri

Numune	Kalınlık (μm)
R1-Y	83
R2-Y	32
R3-Y	36
R4-Y	14
R5-Y	15

Numuneler incelendiğinde 14 ve 83 μm arasında değişen farklı yapışma kalınlıkları olduğu anlaşılmıştır. Tüm numunelerin aynı uygulama ile elde edildiği göz önüne alınırsa, yapıştırıcı kalınlıklarındaki bu farklılıklar reçine ve dolayısıyla yapıştırıcıların sahip olduğu farklı viskozite değerleriyle ilişkilendirilebilmektedir. Aynı şekilde bu durum, yapışma alanlarından elde edilen sonuçlarla da örtüşmektedir. Literatürde yapışma kalınlığının performansa etkisi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde 50-500 μm aralığında yüksek dayanım elde edildiği ve optimum kalınlığın bu aralık olduğu öne sürülmüştür [15], [20]. Deneysel çalışma sonuçları incelendiğinde, 14 ve 15 μm gibi oldukça düşük bir yapışma kalınlığına sahip olan R5 ve R4 reçineli yapıştırıcıların, yapışma performansının diğer tüm yapıştırıcılardan düşük olduğu anlaşılmaktadır. Yapıştırıcı kalınlıklarında görülen bu değişiklik, yapıştırıcı bileşenini oluşturan fenolik reçinelerin viskozitesi ile de ilişkili olabilmektedir. Reçine viskozitesindeki artış ile birlikte, yapıştırıcının da viskozitesinde bir artış beklenmektedir.

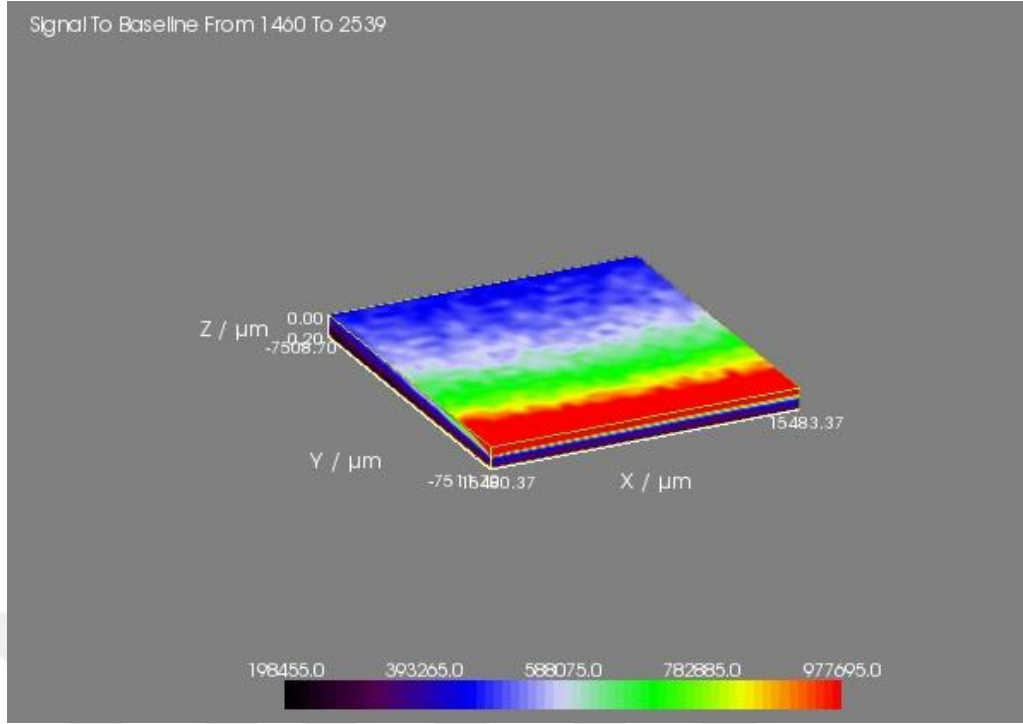


Şekil 4.7. Optik Profilometre ile Elde Edilen Yüzey Görüntüleri

Viskozitesi yüksek olan yapıştırıcılar, daha yoğun ve akışkan olmayan bir yapıya sahiptir. Bu yapıştırıcılar, substrat yüzeyine daha iyi nüfuz edebilir ve adezyon kuvvetini artırabilir. Aynı zamanda, viskozitesi düşük olan yapıştırıcılar daha akışkan bir yapıya sahiptir. Bu tür yapıştırıcılar substrat yüzeyine daha kolay yayılabilir ve genellikle daha düşük adezyon kuvvetleri sergiler. Kohezyon kuvveti ise yapıştırıcının içindeki moleküler etkileşimlerden kaynaklanır. Daha yüksek viskoziteli yapıştırıcılar genellikle daha yüksek kohezyon kuvvetlerine sahip olabilir çünkü içerdikleri moleküller birbirine daha sıkı bağlanabilir. Sonuç olarak, yapıştırıcının viskozitesi hem adezyon hem de kohezyon kuvvetlerini etkileyebilir. Yüksek viskoziteli yapıştırıcılar genellikle daha yüksek adezyon ve kohezyon kuvvetlerine sahip olabilirken, düşük viskoziteli yapıştırıcılar daha düşük adezyon ve kohezyon kuvvetlerine sahip olabilir. Bu durumun yapıştırıcı kalınlığının az olması ile ve dolayısıyla daha düşük bir dayanıma sebebiyet vermesi ile sonuçlanabilir. Yapıştırıcıların kimyasal bileşimi, bünyelerinde bulundukları fonksiyonel gruplar ve bunların performansına etkisinin yanı sıra, yapışma kalınlığının da yapışma performansı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu deneysel sonuçlarla da gösterilmiştir.

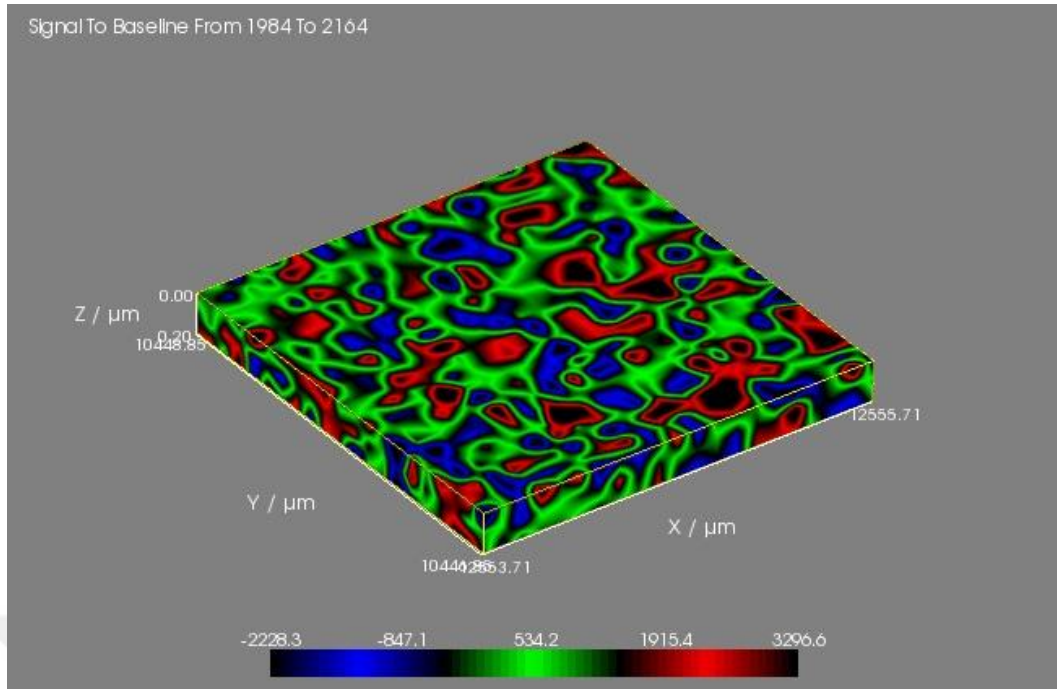
4.3.3. Raman Haritalama ile Yapıştırıcı Homojenliğinin İncelenmesi

Yapıştırılmış malzemelerde yapışma alanının dağılımını incelemek, yapıştırıcıların yüzeye nasıl yayıldığını, dağıldığını ve etkileşimde bulunduğunu anlamak için Raman haritalama kullanılmıştır. En iyi sonuç alınan R3 reçineli yapıştırıcıdan elde edilen çekme çubukları görüntülenmiştir. İlk olarak $1460\text{-}2539\text{ cm}^{-1}$ geniş bant aralığında tarama yapılarak yapıştırıcının yüzeyde dağılımı incelenmiştir. Raman haritalama sonucu elde edilen görüntüler Şekil 4.8’de verilmiştir. Yapıştırıcı dağılımı incelendiğinde yüzeydeki dağılımın, numunelere yapıştırıcı uygulanması sürecindeki yapıştırıcının damlatılarak bir doğrultuda çekilip dağıtılmasına uygun şekilde olduğu görülmektedir. Elde edilen bu görüntü sonucu hazırlık sürecindeki işlem adımlarıyla ayrılan numune üzerinde gerçekleştirilen incelemelerin birbirine uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.



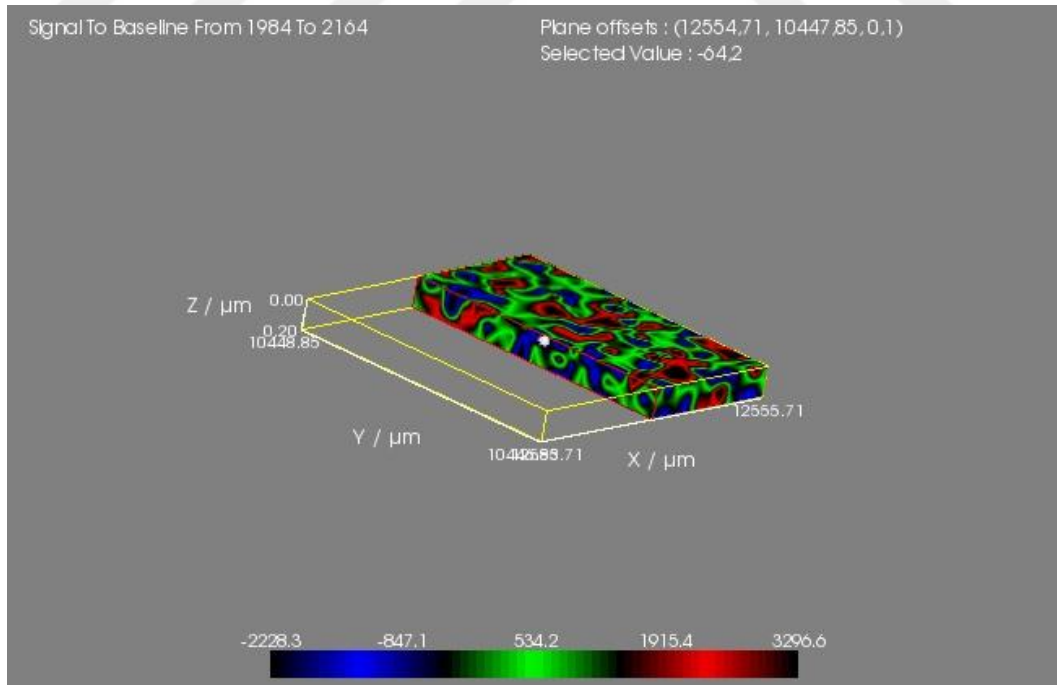
Şekil 4.8. Yapıştırıcının Yüzey Dağılımının Raman Haritalama ile İncelenmesi

Yapıştırıcının bileşenlerinin kendi içindeki homojenitesini incelemek amacıyla pik yoğunluğunun fazla olduğu $1984\text{--}2164\text{ cm}^{-1}$ dar bant aralığında tarama gerçekleştirilmiştir. Bu aralıkta yapılan inceleme doğrultusunda, yapıştırıcının üç bileşeninin de dağılımı incelenmiş ve Şekil 4.9’da verilmiştir. Yapıştırıcı bileşenlerinin kendi içinde dağılımının homojen olduğu, yeşil renkle verilen bölgenin matris niteliğinde olan termoplastik bazlı bileşen, mavi renkle gösterimi yapılan bölgelerin yerli ürün olarak kullanılan termoset fenolik reçine, kırmızı ile gösterimi yapılan bölgelerin sertleştirici işlevini yerine getiren epoksi reçine olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Yapıştırıcı Bileşenlerinin Homojenitesinin Raman Haritalama ile İncelenmesi

Şekil 4.9’da verilen görüntünün Y eksenindeki kesiti alındığında elde edilen Şekil 4.10’da bileşenlerin yüzeyden derine doğru dağılımının da homojen olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.10. Yapıştırıcı Bileşenlerinin Dağılımının Homojenitesinin Kesit Alınarak İncelenmesi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Fenolik reçinenin ticari bir metal yapıştırıcının bileşen muadili olmasına yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada farklı özelliklerde çeşitli reçineler yapıştırıcı hazırlık sürecinde kullanılarak çeşitli testlere tabii tutulmuştur. Çalışmalarda hem reçineler hem de yapıştırıcılar kimyasal, termal ve mekanik olarak incelenmiştir. Reçine ve yapıştırıcılara ait FT-IR sonuçları incelendiğinde, daha asidik ortamda üretildiği bilinen R1 reçinesinin yapısında bulundurduğu fonksiyonel grupların sayısının daha bazik ortamda sentezlendiği bilinen R5 reçinesinden daha fazla olduğu görülmüştür. Reçinelerden elde edilen FT-IR piklerin karşılık geldiği fonksiyonel gruplar literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır. R1 reçinesinde görülen piklerin karşılık geldiği fonksiyonel grupların daha kararlı yapıda ve daha yüksek dayanım sağladığı anlaşılmıştır. Daha bazik ortamda sentezlenen reçinelerin yapılarında ihtiva ettiği fonksiyonel grupların daha düşük stabilite ve daha az dayanıma sahip gruplar olduğu görülmüştür. Benzer şekilde yapıştırıcılara ait FT-IR verileri incelendiğinde, çeşitli piklerin kütleme işlemi sırasında reaksiyona girerek kaybolduğu görülmüştür. R1 reçinesine ait pikler incelendiğinde yüksek dayanım ve kararlılık sağladığı bilinen metilen köprülerinin çoğunlukta olduğu, R5 reçinesi incelendiğinde ise daha gevrek ve düşük stabiliteye sahip olduğu bilinen eter köprülerinin çoğunlukta olduğu ve bu sebeple bu reçine ile hazırlanan yapıştırıcının gevrek bir davranışla düşük dayanım göstermesi açıklanmıştır.

Yapıştırıcı ve reçinelerin termal davranışlarını incelemek amacıyla gerçekleştirilen TGA analizleri sonucunda reçinelerde 200 °C'ye kadar benzer bir kütle kaybı gözlenmiştir. Bu kütle kaybının reçinenin çapraz bağlanma/yoğunlaşma reaksiyonunun neden olduğu serbest fenol, formaldehit, oligomer ve suyun buharlaşmasından kaynaklanan bir kütle kaybı olduğu bilinmektedir. Artan sıcaklıklarda diğer tüm reçinelerin kütlelerinde büyük kayıplar olmazken, R1 reçinesinde artan sıcaklıkla birlikte kütle kaybının %60'a kadar çıktığı görülmüştür. Bu kayıp literatürde reçinenin yapısında bulunan oksijenli fonksiyonel grupların sıcaklıkla birlikte bozularak kütle kaybına neden olması ile açıklanmaktadır. Yapıştırıcılara ait TGA verileri incelendiğinde tüm yapıştırıcıların yaklaşık 400 °C'ye termal yönden kararlı olduğu, 400 °C ile 500 °C aralığında ise kütle kaybının ortalama yaklaşık %10 olduğu görülmüştür.

Yapıştırıcıların mekanik dayanımları incelendiğinde, FT-IR verilerinden elde edilen piklerle de uyumlu şekilde daha asidik yapıdaki reçinelerle üretilen yapıştırıcıların daha yüksek dayanıma, daha bazik yapıda olduğu bilinen reçinelerle üretilen yapıştırıcıların daha düşük dayanımlı ve daha gevrek davranış gösterdiği eğrilerle gösterilmiştir.

Ayrılan yüzeylere uygulanan çeşitli görüntüleme yöntemleri ile yapıştırıcıların yüzeydeki dağılımının ve kalınlığının yapışma performansına etkileri incelenmiştir. Yapıştırıcı kalınlıkları incelendiğinde, literatürde verilen optimum kalınlık aralığına en yakın kalınlık R1 reçineli yapıştırıcı ile sağlanmıştır. Diğer yapıştırıcılarda elde edilen kalınlığın optimum kalınlık aralığının daha altında olduğu anlaşılmıştır. Yapıştırıcıların yüzeydeki dağılımı incelendiğinde en yüksek yapışma alanı da R1 reçineli yapıştırıcı ile elde edilmiştir. Her iki durum da reçinelerin ve dolayısıyla yapıştırıcıların viskozitesi ile ilişkilendirilebilmektedir. Tüm reçineler arasında en yüksek viskoziteye R1 reçinesinin sahip olduğu ve viskozitesi yüksek olan yapıştırıcıların, daha yoğun ve akışkan olmayan bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Bu sebeple R1 reçineli yapıştırıcının, substrat yüzeyine daha iyi nüfuz ettiği ve adezyon kuvvetinin daha yüksek olduğu açıklanabilmektedir. Yapıştırıcının bileşenlerinin homojenitesini ve yüzeydeki dağılımını incelemek amacıyla gerçekleştirilen Raman haritalama incelemeleri sonucu, yapıştırıcının bileşenlerinin homojen şekilde olduğu ve tüm bileşenlerinin yüzey boyunca dağılımının düzgün olduğu görülmüştür. Yapıştırıcının metal yüzeydeki dağılımı incelendiğinde uygulama şartlarına uygun şekilde bir uçtan başlayıp diğer uca doğru kademeli bir yayılım olduğu görülmektedir.

5.2 Öneriler

İthal ürün olan ticari bir metal yapıştırıcısının fenolik reçine yapısı ile uyumlu bileşeninin yerleştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, farklı özelliklerde yerli fenolik reçinelerin ve yapıştırıcılarının kimyasal, termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, R1 reçinesinin ticari ürüne en yakın dayanım değerine sahip olduğu ve ticari bileşenin muadili olarak bu reçinenin kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Yapılan bu çalışmalardan alınan sonuçlar, bahsi geçen ticari ürünün yerleştirilmesi konusunda motivasyonu arttırmış ve devam eden çalışmalarda diğer ticari bileşenler üzerine incelemelerin gerçekleştirilip, ürünün tamamen

yerlileştirilebileceği potansiyeli olduğunu göstermiştir. Diğer ticari bileşenler üzerine de benzer kimyasal, termal ve mekanik incelemelerin gerçekleştirilip muadil bileşenlerin araştırılıp bulunması planlanmaktadır. Bu süreçte önem ihtiva eden kısım ise elde edilen ürünün gerçek kullanım alanlarında da test edilmesi olacaktır.



6. KAYNAKLAR

- Alonso, M. V., Oliet, M., Domínguez, J. C., Rojo, E., Rodríguez, F. (2011). Thermal degradation of lignin-phenol-formaldehyde and phenol-formaldehyde resol resins : Structural changes, thermal stability, and kinetics. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 105(1), 349–356. doi:10.1007/s10973-011-1405-0
- Arenas, M. Ã., Alı, C. (2010). International Journal of Adhesion & Adhesives Optimum adhesive thickness in structural adhesives joints using statistical techniques based on Weibull distribution., 30, 160–165. doi:10.1016/j.ijadhadh.2009.12.003
- Ay, S. (2019). What Are Structural Adhesives? | 2019-10-10 | Adhesives & Sealants Industry. Erişim adresi: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.adhesivesmag.com%2Farticles%2F97229-what-are-structural-adhesives&psig=AOvVaw1p7Nh0FytxcSBF9gm2smW&ust=1684437410752000&source=images&cd=vfe&ved=0CBMQjhqxqFwoTCIjQzr6L_f4CFQAAAAAdAAAAABAE.
- Banea, M. D., Da Silva, L. F. M., Campilho, R. D. S. G. (2014). The effect of adhesive thickness on the mechanical behavior of a structural polyurethane adhesive. *Journal of Adhesion*, 91(5), 331–346. doi:10.1080/00218464.2014.903802
- Budhe, S., Ghumatkar, A., Birajdar, N., Banea, M. D. (2015). Effect of surface roughness using different adherend materials on the adhesive bond strength. *Applied Adhesion Science*, 3(1), 0–9. doi:10.1186/s40563-015-0050-4
- Cadien, K. C., Nolan, L. (2012). CMP Method and Practice. *Handbook of Thin Film Deposition: Techniques, Processes, and Technologies: Third Edition*, 179–219. doi:10.1016/B978-1-4377-7873-1.00007-3
- da Silva, Lucas F.M., Rodrigues, T. N. S. S., Figueiredo, M. A. V., de Moura, M. F. S. F., Chousal, J. A. G. (2006). Effect of adhesive type and thickness on the lap shear strength. *Journal of Adhesion*, 82(11), 1091–1115. doi:10.1080/00218460600948511
- da Silva, Lucas Filipe Martins, Queirós Ferreira Barbosa, A. S., Sousa Marques, E. A., Camilo Carbas, R. J., Ahkavan-Safar, A., Wiley-VCH. (y.y.). Introduction to Adhesive Bonding. <https://www.wiley.com/en-us/Introduction+to+Adhesive+Bonding-p-9783527348695>.
- Dinte, E., Sylvester, B., Dinte, E., Sylvester, B. (y.y.). Adhesives : Applications and Recent Advances Adhesives : Applications and Recent Advances. doi:10.5772/intechopen.71854
- Ebnesajjad, S. (2013). Surface treatment of materials for adhesive bonding. *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding: Second Edition*, 1–341. doi:10.1016/C2013-0-12914-5
- Ebnesajjad, S., Landrock, A. H. (2014). *Adhesives Technology Handbook*. Adhesives Technology Handbook Elsevier. doi:10.1016/B978-0-323-35595-7.00023-1

- Farr, N. T. H., Hamad, S. F., Gray, E., Magazzeni, C. M., Longman, F., Armstrong, D. E. J., ... Rodenburg, C. (2021). Identifying and mapping chemical bonding within phenolic resin using secondary electron hyperspectral imaging. *Polymer Chemistry*, 12(2), 177–182. doi:10.1039/d0py01220c
- Ghumatkar, A., Budhe, S., Sekhar, R., Banea, M. D., De Barros, S. (2016). Influence of adherend surface roughness on the adhesive bond strength. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 13(13), 2356–2370. doi:10.1590/1679-78253066
- GÜRSEL, A., YILDIZ, S. (2021). Yapıştırıcı Birleştirmelerde Bağlantı Mukavemetini Etkileyen Faktörler: Yüzey Morfolojisi ve Yüzey Enerjisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9, 987–996. doi:10.29130/dubited.884675
- Hamad, S. F., Farr, N., Fei, T., Shukor, N. F., Dean, J. S., Hayes, S. A., ... Rodenburg, C. (2019). Optimizing size and distribution of voids in phenolic resins through the choice of catalyst types. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(47), 1–10. doi:10.1002/app.48249
- Hao, J., Wu, X., Oporto-Velasquez, G., Wang, J., Dahle, G. (2020). Compression properties and its prediction of wood-based sandwich panels with a novel taiji honeycomb core. *Forests*, 11(8). doi:10.3390/F11080886
- Hu, H., Wang, W., Jiang, L., Liu, L., Zhang, Y., Yang, Y., Wang, J. (2022). Curing mechanism of resole phenolic resin based on variable temperature FTIR spectra and thermogravimetry-mass spectrometry. *Polymers and Polymer Composites*, 30(1), 1–11. doi:10.1177/09673911221102114
- Kahraman, R., Sunar, M., Yilbas, B. (2008). Influence of adhesive thickness and filler content on the mechanical performance of aluminum single-lap joints bonded with aluminum powder filled epoxy adhesive. *Journal of Materials Processing Technology*, 205(1–3), 183–189. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.11.121
- Lee, Y. K., Kim, D. J., Kim, H. J., Hwang, T. S., Rafailovich, M., Sokolov, J. (2003). Activation energy and curing behavior of resol- and novolac-type phenolic resins by differential scanning calorimetry and thermogravimetric analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 89(10), 2589–2596. doi:10.1002/app.12340
- Li, C., Zhang, J., Yi, Z., Yang, H., Zhao, B., Zhang, W., Li, J. (2016). Preparation and characterization of a novel environmentally friendly phenol-formaldehyde adhesive modified with tannin and urea. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 66, 26–32. doi:10.1016/j.ijadhadh.2015.12.004
- Livia Tonge. (2007). Thermochemical Properties of Methylol Phenol Monomers and Phenol Formaldehyde Resoles.
- Ma, Y., Zhang, W., Wang, C., Xu, Y., Chu, F. (2013). The effect of formaldehyde/phenol (F/P) molar ratios on function and curing kinetics of high-solid resol phenolic resins. *Journal of Applied Polymer Science*, 129(6), 3096–3103. doi:10.1002/app.38869

- Mandolfino, C., Lertora, E., Gambaro, C. (2013). Effect of surface pretreatment on the performance of adhesive-bonded joints., 557, 996–1006.
doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.554-557.996
- Manfredi, L. B., De La Osa, O., Galego Fernández, N., Vázquez, A. (1999). Structure-properties relationship for resols with different formaldehyde/phenol molar ratio. *Polymer*, 40(13), 3867–3875. doi:10.1016/S0032-3861(98)00615-6
- Müller, B., Rath, W. (2014). *Formulating Adhesives and Sealants. Formulating Adhesives and Sealants*. doi:https://doi.org/10.1515/9783748602279
- Narbon, J. J., Moreno-Díaz, C., Arenas, J. M. (2019). Influence of surface treatment on the surface energy of an aluminium substrate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 560(September 2018), 323–329. doi:10.1016/j.colsurfa.2018.09.010
- Parameswaran, P. S., Thachil, E. T. (2007). Influence of ether linkages on the properties of resol phenolic resin. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 56(2), 177–185. doi:10.1080/00914030600773602
- Pelin, G., Pelin, C. E., Stefan, A., Dinca, I., Ficai, A., Andronescu, E., Trusca, R. (2016). Influence of nanometric silicon carbide on phenolic resin composites properties. *Bulletin of Materials Science*, 39(3), 769–775. doi:10.1007/s12034-016-1185-z
- Petrie, E. M. (2007). Handbook of Adhesives and Sealants. *Handbook of Adhesives and Sealants*, 896. www.digitalengineeringlibrary.com
- Pilato, L. (2013). Reactive & Functional Polymers Phenolic resins : 100 Years and still going strong. *Reactive and Functional Polymers*, 73(2), 270–277. doi:10.1016/j.reactfunctpolym.2012.07.008
- Pizzi, A. (2017). *Handbook of Adhesive Technology. Handbook of Adhesive Technology, Third Edition*. doi:10.1201/9781315120942
- Pocius, A. V. (y.y.). Adhesion and Adhesives Technology | ScienceDirect. doi:https://doi.org/10.3139/9783446431775
- Rajkumar, G. R., Krishna, M., Narasimhamurthy, H. N., Keshavamurthy, Y. C. (2017). Statistical Investigation of the Effect of Process Parameters on the Shear Strength of Metal Adhesive Joints. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 98(3), 335–342. doi:10.1007/s40032-016-0217-1
- Richardson, M. (y.y.). Huntsman to provide advice for adhesive bonding applications. Erişim adresi: https://www.composites.media/huntsman-to-provide-advice-for-adhesive-bonding-applications/
- Rośkowicz, M., Godzimirski, J., Komorek, A., Jaształ, M. (2021). The effect of adhesive layer thickness on joint static strength. *Materials*, 14(6), 1–14. doi:10.3390/ma14061499

- Rudawska, A. (2019). *Surface Treatment in Bonding Technology*. *Surface Treatment in Bonding Technology* Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-817010-6.09993-8
- Saleema, N., Sarkar, D. K., Paynter, R. W., Gallant, D., Eskandarian, M. (2012). A simple surface treatment and characterization of AA 6061 aluminum alloy surface for adhesive bonding applications. *Applied Surface Science*, 261, 742–748. doi:10.1016/j.apsusc.2012.08.091
- Shafizadeh, J.E., Guionnet, S., Tillman, M. S. and S. (1999). Synthesis and characterization of phenolic resole resins for adhesive applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 73, 505–514. doi:https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19990725)73:4%3C505::AID-APP6%3E3.0.CO;2-L
- Shrivastava, A. (2018). Compressive Testing - an overview | ScienceDirect Topics. *Introduction to Plastics Engineering*. Erişim tarihi: 27 Ocak 2023. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/compressive-testing>.
- Silva, Lucas F. M. da. (2018). *Handbook of Adhesion Technology*. *Handbook of Adhesion Technology: Second Edition*. doi:10.1007/978-3-319-55411-2_38
- Sturiale, A., Vázquez, A., Cisilino, A., Manfredi, L. B. (2007). Enhancement of the adhesive joint strength of the epoxy-amine system via the addition of a resole-type phenolic resin. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 27(2), 156–164. doi:10.1016/j.ijadhadh.2006.01.007
- What is Adhesion, Cohesion and Tack?. (2021). Erişim adresi: <https://www.adhesivespecialities.co.in/what-is-adhesion-cohesion-and-tack/>
- Yang, W., Rallini, M., Natali, M., Kenny, J., Ma, P., Dong, W., ... Puglia, D. (2019). Preparation and properties of adhesives based on phenolic resin containing lignin micro and nanoparticles: A comparative study. *Materials and Design*, 161, 55–63. doi:10.1016/j.matdes.2018.11.032