

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YAPIŞTIRMALI, CİVATALI VE CİVATALI-YAPIŞTIRMALI TEK
BİNDİRMELİ METAL/KOMPOZİT PLAKALARDA DAYANIM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS

Ali SADIK

HAZİRAN -2023
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YAPIŞTIRMALI, CİVATALI VE CİVATALI-YAPIŞTIRMALI TEK
BİNDİRMELİ METAL/KOMPOZİT PLAKALARDA DAYANIM ANALİZİ**

**STRENGTH ANALYSIS IN ADHESIVE, BOLTED AND BOLTED-ADHESIVE
SINGLE OVERLAP METAL/COMPOSITE PLATES**

YÜKSEK LİSANS

Ali SADIK

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YAPIŞTIRMALI, CİVATALI VE CİVATALI-YAPIŞTIRMALI TEK
BİNDİRMELİ METAL/ KOMPOZİT PLAKALARDA DAYANIM ANALİZİ**

**STRENGTH ANALYSIS IN ADHESIVE, BOLTED AND BOLTED-ADHESIVE
SINGLE OVERLAP METAL/COMPOSITE PLATES**

YÜKSEK LİSANS

Ali SADIK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Filiz KARABUDAK

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Yapıştırırmalı, Civatalı ve Civatalı-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Metal/ Kompozit Plakalarda Dayanım Analizi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmalarını kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

21/06/2023

.....
Ali SADIK

TEŞEKKÜR

Bu araştırmayı yaparken çalışma sũresince paha biçilmez bilgilerini bizlerle paylaşan, faydalı olabilmek için değerli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle elinden gelenden fazlasını sunan, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, hayatımda kullandığı her kelimenin anlamını asla unutmayacağım değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Filiz KARABUDAK'a çalışmalarım sırasında bana hiç çekinmeden yardım eden abim evre Mühendisi Alper SADIK ve benimle birlikte tüm zorlukların üstesinden gelerek her adımda bana destek olan aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu alıma, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (GÜBAP, Proje Numarası: 23.E0117.07.01) tarafından desteklenmiştir.

Ali SADIK
GÜMÜŞHANE – 2023

ÖZET

Yapıştırma bağlantıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda; plakalar arası uygulanan yapıştırıcı kalınlığının, plakaların bindirme uzunluğunun, plakaların kalınlığının ve seçilen yapıştırıcı türünün yapıştırma bağlantısının mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Literatür incelendiğinde farklı malzemeden yapılmış plakalar kullanılarak elde edilen bindirme bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi de çok yaygın olmamak ile birlikte mevcuttur. Bu çalışma kapsamında kullanılan özellikle AZ91 plaka malzemesi ve Akrilik yapıştırıcı türü olan Acryton 1E1 yapıştırıcı ile yapılan tek bindirmeli yapıştırma bağlantısına herhangi bir çalışmada rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada; çekme yükleri altındaki tek bindirmeli yapıştırma ve civata-yapıştırma metal/kompozit bağlantılarının gerilme ve hasar analizi yapılmıştır. Malzeme olarak; akrilik yapıştırıcı (Acrytron 1E1) ve 100-25-3 mm ölçülerinde; AZ91/AZ91, AZ91-karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber plakalar kullanılarak yapıştırılmalı, civatalı ve civata-yapıştırılmalı olmak üzere üç farklı tek bindirmeli bağlantı modeli hazırlanmıştır. Çekme ve 4 nokta eğme testlerine tabi tutulan bağlantı modellerinde ortaya çıkan gerilmeler ve deformasyonlar incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çekme testi sonucunda en yüksek maksimum çekme gerilmesi, AZ91-KF civata-yapıştırılmalı numunelerde meydana geldiği belirlenmiştir. Dört nokta eğme testinde ise maksimum kesme kuvveti değeri KF-KF civatalı-yapıştırılmalı numunelerde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AZ91, Civatalı-yapıştırma, Kompozit, Çekme, Eğme

SUMMARY

In the studies carried out to determine the mechanical properties of adhesive connections; The effects of the adhesive thickness applied between the plates, the overlapping length of the plates, the thickness of the plates and the selected adhesive type on the mechanical properties of the adhesive joint were investigated. Examining the mechanical properties of lap joints obtained by using plates made of different materials is also available, although not very common, in the literature. A single-lap bonding connection made with Acrytron 1E1 adhesive, which is Acrylic adhesive type, and especially AZ91 plate material, used within the scope of this study has not been encountered in any study.

In this study; Stress and damage analysis of single-lap bonding and bolt-bonding metal/composite connections under tensile loads were performed. As material; acrylic adhesive (Acrytron 1E1) and measures 100-25-3 mm; By using AZ91/AZ91, AZ91-carbon fiber and carbon fiber-carbon fiber plates, three different single lap joint models were prepared as glued, bolt and bolt-glued. The stresses and deformations occurring in the connection models subjected to tensile and four-point bending tests were examined and comparisons were made.

As a result of the tensile test, it was determined that the highest maximum tensile stress occurred in the AZ91-KF bolt-bonded specimens. In the four-point bending test, the maximum shear force value was determined in KF-KF bolt-bonded specimens.

Keywords: AZ91, Bending, Bolt-bonded, Composite, Tensile

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİSİ	3
3. TEORİK İLKELER	7
3.1. Yapışma	7
3.1.1. Yapışmanın Olumlu Ve Olumsuz Yönleri.....	8
3.1.2. Yapışma bağlantı türleri ve yapışma yüzeylerindeki gerilmeler.....	10
3.1.3. Yapışmadaki hasar türleri.....	12
3.1.4. Yapışma bağlantılarını etkileyen temel unsurlar.....	14
3.2. Etkili Metal Yapıştırma Yöntemleri	14
3.2.1. Akrilik Yapısal Yapıştırıcı	15
3.2.2. Epoksiler	16
3.2.3. Poliüretan	17
3.2.4. Anaerobik.....	17
3.2.5. Siyanoakrilat	18
3.2.6. Silikon	18
3.3. Malzeme Özellikleri.....	19
3.3.1. Yapıştırıcı.....	19
3.3.2. Yapıştırılan plaka malzemeleri	19
3.3.3. Karbon Fiber	20
4. METARYELER VE METOT	21
4.1. Yöntem.....	21
4.2. Çekme Testi	25
4.3. Dört nokta Eğme Testi	26
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	28

5.1. Çekme testi sonuçları	28
5.1.1. AZ91 Yapıştırırmalı, Civatalı ve Civata-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plakalar.....	28
5.1.2. Karbon Fiber-Karbon Fiber Yapıştırırmalı, Civatalı ve Civata-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plakalar	30
5.1.3. AZ91-Karbon Fiber Yapıştırırmalı, Civatalı ve Civatalı-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plakalar	32
5.1.4. AZ91-AZ91, AZ91-KarbonFiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plakalar	34
5.1.5. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber Civatalı Tek Bindirmeli Plakalar	35
5.1.6. AZ91-AZ91, AZ91-Karbonn Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber Civatalı-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plakalar	35
5.2. Dört Nokta Eğme Testi	37
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	46
KAYNAKÇA	47
ÖZGEÇMİŞ	53

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1. AZ91 Mg alaşımı kimyasal bileşimi (Karabudak, 2023)	20
Tablo 2. AZ91-AZ91 yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının çekme testi değerleri ve hasar tipi.....	29
Tablo 3. KF-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civata-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının çekme testi değerleri ve hasar tipi	31
Tablo 4. AZ91-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civata-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının çekme testi değerleri ve hasar tipi	33
Tablo 5. AZ91-AZ91, AZ91-karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber yapıştırırmalı, civatalı ve civata-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının çekme testi değerleri.....	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Yapıştırılmış Derzlerde Yapıştırıcı Ve Kohezif Kuvvetlerin Temsili	8
Şekil 2. Alın birleştirmelerinde gerilim dağılımı A.) Kaynak B.) Vidalama C.) Yapışma	9
Şekil 3. Bazı yaygın bağlama türleri	10
Şekil 4. Yapışma bağ gerilmesi a.) Kesme gerilmesi b.) Büzülme gerilmesi c.) Soyulma gerilmesi d.) Çekme-kesme gerilmesi	11
Şekil 5. Bağ hasar şekli a.) Yapışma hasarı b.) Yapışkan hasar c.) Yapışkan çekim kuvveti hasarı	12
Şekil 6. Metaller arası bağın zincir modeli	13
Şekil 7. Teorik bir bağlama sisteminde oluşan katmanlar 1. alt tabaka 2. alt tabaka yüzey altı sınırı (örn. alt tabaka oksit tabakası) 3. alt tabaka altı (oksit) tabakası 4. alt tabaka altı ve yapışma sınır tabakası beş. sınırda yapışkan katman arayüzü 6. yapışkan yapışkan katman	13
Şekil 8. Tek bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarında üretim için kullanılan şematik kalıp görüntüsü.....	22
Şekil 9. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının ölçüleri	22
Şekil 10. Tek bindirmeli Cıvatalı ve Cıvatalı-yapıştırma bağlantılarının ölçüleri.....	23
Şekil 11. Dört nokta eğme test numunesi a) ölçüleri ve b) hasar sonrası şematik görüntüsü	23
Şekil 12. AZ91-AZ91, AZ91-karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber yapıştırmalı tek bindirmeli plaka numunelerinin görüntüleri	24
Şekil 13. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber civatalı tek bindirmeli plaka numunelerinin görüntüleri.....	24
Şekil 14. AZ91-AZ91, AZ91-karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber civatalı-yapıştırmalı tek bindirmeli plaka numunelerinin görüntüleri.....	25
Şekil 15. Çekme testi gösterimi	26
Şekil 16. Eğme test cihazı	27
Şekil 17. AZ91-AZ91 yapıştırmalı, civatalı ve civata-yapıştırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı.....	28
Şekil 18. AZ91-AZ91 a) yapıştırmalı, B) civatalı c) civata-yapıştırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılı numunelerin çekme testi sonrası hasar görüntüsü.....	29

Şekil 19. KF-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civata-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı	30
Şekil 20. KF-KF a) yapıştırırmalı, b) civatalı ve c) civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılı numunelerin hasar görüntüsü	31
Şekil 21. AZ91-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civata-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı	32
Şekil 22. AZ91-KF a) yapıştırırmalı, b) civatalı ve c) civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılı numunelerin hasar görüntüsü.....	33
Şekil 23. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı	34
Şekil 24. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber civatalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı	35
Şekil 25. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı ...	36
Şekil 26. AZ91-AZ91 yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği.....	37
Şekil 27. AZ91-AZ91 civatalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği.....	37
Şekil 28. AZ91-AZ91 civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği....	38
Şekil 29. AZ91-AZ91 yapıştırırmalı, civatalı, ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme testi kuvvet-deplasman grafiği.....	38
Şekil 30. KF-KF yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği.....	39
Şekil 31. KF-KF civatalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği.....	39
Şekil 32. KF-KF civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği.....	40
Şekil 33. KF-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civata-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme testi kuvvet-deplasman grafiği.....	40
Şekil 34. AZ91-KF yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği	41
Şekil 35. AZ91-KF civatalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği.....	41

Şekil 36. AZ91-KF civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği	42
Şekil 37. AZ91-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civata-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme testi kuvvet-deplasman grafiği	42
Şekil 38. AZ91-AZ91, AZ91-karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi kuvvet-deplasman grafiği.....	43
Şekil 39. AZ91-AZ91, AZ91-karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber civatalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi kuvvet-deplasman grafiği.....	44
Şekil 40. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon-Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber Civatalı-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plaka Bağlantılarının dört nokta Eğme Testi Kuvvet-Deplasman Grafiği.....	44
Şekil 41. AZ91-AZ91, AZ91-karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi kuvvet (f)-deplasman(mm) grafiği	45

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	: Amerikan test ve materyaller topluluğu
Bk. / bk.	: Bakınız
mm	: Milimetre
vb.	: Ve benzeri
C	: Civata
C-Y	: Civatalı Yapıştırma
°C	: Derece
FRP	: Fiber Takviyeli Plastikler
H	: Yükseklik
KF	: Karbon Fiber
kN	: Kilonewton
Mpa	: Megapascal
N	: Newton
PU	: Poliüretan
PVC	: Poli Vinil Klorür
Y	: Yapıştırılmalı

1. GİRİŞ

Yapıştırılmış bağlantı, iki veya daha fazla parçanın bir yapışkan tabaka ile birbirine bağlanmasıyla oluşturulan kalıcı bir bağlantıdır. Metalik yapıştırıcılar, iki veya daha fazla metal yüzeyi, çivi veya vida gibi geleneksel yöntemlere ihtiyaç duymadan, ayrılmaya direnecek kadar güçlü ve esnek bir şekilde yapıştırmak için kullanılır. Bu yapıştırıcılar doğal veya sentetik maddelerdir (Stagon, vd., 2016). Yapışma, malzeme teknolojisinin gelişmesiyle birçok ilerleme kaydetmiştir. Yapıştırıcının taşıyıcı yapılarda kullanılması, zaman ve maliyet tasarrufu, yüksek korozyon ve yorulma direnci, çatlama geciktirme, mükemmel sönümlenme özellikleri ve diğer özellikleri onu havacılık ve uzay ve otomotiv, ahşap ve plastik endüstrilerinde önemli bir oyuncu haline getirmektedir (Da Silva, vd., 2011). Farklı malzemeleri bir arada kullanma ihtiyacı, birleştirme tekniklerini ve çok yönlülüğü de geliştirmiştir. Bununla birlikte, yapısal dayanıklılık gerektiren birçok uygulama için yapıştırıcıyla birleştirme tercih edilmektedir. Bu tür bağlantılar özellikle havacılık ve otomotiv endüstrilerinde yaygındır (Higgins, 2000).

Yapışkanlı birleştirme, tasarlanmış sistemleri daha hafif, daha güçlü ve daha ekonomik hale getirmede büyük bir etkiye sahiptir. Yapıştırarak yapıştırmanın mekanik yapıştırmaya göre birçok avantajı vardır. Bunlar, farklı kalınlıkları ve malzeme türlerini birleştirme, eşit yük dağılımı ile bağlantılar oluşturma ve aynı zamanda sızdırmazlık elemanı olarak işlev görme becerisini içerir. Ayrıca yüzeye delik, çentik vb. uygulanabilir. Bağlantı detayları veya hassas işleme toleransları gerekmediği için uygun maliyetli, basit ve hızlı bir çözümdür (Adams, 2021). Bütün bunlara rağmen, yapışkan bağların dezavantajları da vardır. İyi bir yapışma, uygun yüzey hazırlığı, uygun yapıştırıcı seçimi ve uygun bir ortam gerektirir. Bu tür derzlerin mukavemeti, kullanılan yüzey işlemi, malzeme tipi, yapıştırıcı kalınlığı, ortam sıcaklığı ve yükün tipi gibi faktörlerden etkilenir. Ancak çevresel şartlara maruz kalmak zamanla kimyasal yapısındaki değişikliklerden dolayı yaşlanmaya neden olur (Banea, vd., 2009). Yukarıdaki özellikler nedeniyle bağ kuvvetleri ve bunları etkileyen faktörler birçok araştırmacı tarafından tartışılmaktadır. Yapıştırarak bağlama ucuzdur, kaynak, perçinleme ve diğer bağlama türleri gibi erime üzerine kristal yapı değişikliklerine neden olmaz, gerilim konsantrasyonları oluşturmaz ve erime sıcaklıkları altında bağlar, bu da daha pürüzsüz bağlarla sonuçlanır (Czerwinski, 2011).

Temizleyici yüzey ancak bu teknoloji kullanım koşullarına ve bağ gücüne bağlıdır, kayma gerilimine toleranslı değildir ve kayma gerilimini önlemek için özel tasarım gerektirir. Mukavemet değerlerinin 200°C'nin üzerine düşmesi bu bağlantının seçimini olumsuz etkilemekte, bu da ürünün maliyetini olumsuz etkilemektedir (Gediktaş, 1995).



2. LİTERATÜR BİLGİSİ

Yapıştırıcıların kullanımı ile geliştirilen yapıştırıcı türleri artmaktadır. Ayrıca yapıştırıcı araştırmaları devam etmekte ve insanlar her alanda faydalarından yararlanmak istemektedir.

F.Kadioğlu ve M.Es-Souni, 2003 'de deneysel araştırmalar yoluyla, tek katmanlı yapışkan bağların eğilme momentlerine ve çekme yüklerine karşı mukavemetini belirlemeye çalışmışlardır. Bağlantının plastisitesinin kırılma üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulmuşlardır. Deneysel sonuçlar, yüksek mukavemete sahip bağlantı noktaları tasarlamak için bağlantı noktalarının, yapıştırıcıların ve yükleme modlarının birlikte düşünülmesi gerektiğini göstermişlerdir (F.Kadioğlu ve M.Es-Souni, 2003).

Engin, 2003'de deneysel araştırmalar ve iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çekme altındaki tek tabakalı birleştirilmiş bağlantıların elasto-plastik gerilme analizi yapmıştır. Analizler, bağın ara yüzeyindeki bağ alanının kenarında gerilmelerin oluştuğunu göstermiştir. Plastik gerilmenin bu serbest uçlardan kaynaklandığını bulmuştur (Engin, 2003).

de Moura, vd., 2005'de adezif bağlantılarının davranışını belirlemek için yeni bir üç boyutlu SEM sunmuşlardır. Model olarak kullanılan tek tabakalı birleştirmeler üzerinde lineer elastik ve elastoplastik malzemelerin çeşitli analizleri yapmışlardır. Yapıştırıcı ve yapışkan bağlantıların kritik bir alanı olan yapışkan arayüzünde üç boyutlu bir stres durumu elde etmişlerdir. En basit geometrik özelliklere sahip tek katlı yapıştırıcılarda bile gerilmenin üç boyutlu olduğu gözlemlenmiştir (de Moura, vd., 2005).

Aydın, vd., 2005'de tek etkili bindirmeli bağlantının hasar alanı incelendiğinde iki ayrı alan oluşturmuşlardır. Serbest uça ayrılma meydana gelir ve orta bölgede kayma gerilmesi oluşacağını söylemişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça kayma gerilmesi değeri arttığını söylemişlerdir. Malzeme kalınlığı arttıkça, eşdeğer gerilme serbest uçlardan merkeze doğru yayılır ve artan malzeme kalınlığı ile bağlantının mukavemeti arttığını göstermişlerdir. Tek etkili yapıştırma derzlerinde çatlaklar kenarlardan büyür ve orta bölgeye doğru yayıldığını söylemişlerdir (Aydın, vd., 2005).

Colombi ve Poggi, 2006'da yapışkanla güçlendirilmiş dişli bağlantıdaki hasarı ortadan kaldırmak ve bunu sağlamak için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Etki eden kuvvetin hangi bölgeye etki ettiğini araştırmışlardır. Karşılaştırılan iki yapıştırıcıdan birinin kırılma, diğerinin ise daha stabil bir yapıya sahip olduğu

göstermişlerdir. Bu koşullar göz önüne alındığında, yapıştırma hatalarının en aza indirilebileceği sonucuna varılmışlardır (Colombi ve Poggi, 2006).

You, vd., 2007'de gerilmemiş malzemelerin iç alan yüksekliğinin ve uç açısının etkileri ve tek bindirmeli bağlantıdaki çoklu yapıştırıcıların modül stres dağılımı üzerindeki etkisi, elasto-plastik sonlu elemanlar analizi kullanılarak incelemiştir. Sonlu eleman analizi sonuçları, malzeme 30 derece pah kırıldığında tepe merkez çizgisi geriliminin çok hızlı bir şekilde azaldığını göstermişlerdir. Sabit bir şev açısı ve yüksekliği ($h = H$ ve $\theta = 30$) varsayıldığında, malzemenin ucundaki en yüksek gerilim kademeli olarak azaldığını gözlemlemişlerdir. Yapıştırıcının elastisite modülü arttıkça, delaminasyon gerilimi dışında orta kısımdaki tepe gerilimleri önemli ölçüde arttığını ve şev açısı 30 dereceye ulaştığında eklem yük taşıma kapasitesinin arttığı söylemişlerdir. Deneysel sonuçların sayısal analizlerle uyumlu olduğu kanıtlanmıştır (You, vd., 2007).

Hibe, vd., 2009'da otomotiv endüstrisinde kaynak yerine yapısal yapıştırıcı kullanmanın etkisini incelemek için bir dizi deney ve sonlu eleman analizi gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan yapıştırıcı sertleştirilmiş epoksi ve malzeme araba gövdelerinde kullanılan yumuşak çeliktir. Süperpozisyon testi, dört noktalı eğme testi ve üç noktalı eğme testi kullanmışlardır. Örtüşme uzunluğu, malzeme kalınlığı ve yapıştırıcı kalınlığı gibi çeşitli parametreler incelemiştir. 3 noktalı eğme testi ve çekme testi yapıştırıcıyı benzer şekilde etkiler, ancak dört noktalı eğme testi yapıştırıcıya zarar vermeyeceğini söylemişlerdir. Çünkü çelik, birleşim yeri bozulmadan önce akar ve bağlantıya uygulanan çekme yükü, eğilme momentine göre hasar kriterleri sınıflandırılmıştır (Hibe, vd., 2009).

Reis, vd., 2011'de farklı malzemelerden tek bindirmeli bağlantı çubuklarının kesme mukavemetini karşılaştırmışlardır. Üç farklı malzemeyi birleştirmişlerdir. Bu malzemeler; karbon/epoksi katmanlı kompozit, yüksek modüllü çelik ve 6082-T6 alüminyum alaşımlı malzemelerdir. Malzeme sertliği kesme mukavemetini etkiler ve en sert malzemeyi kullanmak en yüksek kesme mukavemetini vereceğini söylemişlerdir. Bindirmenin uzunluğu, malzemeye göre değişen kesme mukavemetini etkileyeceğini ve sayısal analiz, artan malzeme sertliği ile numunenin dönüşünün azaldığını ve altı yapıştırıcı için daha düzgün bir gerilim dağılımı ile sonuçlandığını göstermişlerdir. Bu, deneysel sonuçlarla doğrulandığı gibi kesme dayanımının gelişmesine katkıda bulunduğunu söylemişlerdir. Çelik/çelik bağı için yüksek kesme mukavemeti elde etmişlerdir ancak kompozit/kompozit kesme mukavemetini daha düşük olduğunu

söylemişlerdir. Malzemenin sertliğini arttırmak daha güçlü bir bağlantı sağlayacağını sonucuna varmışlardır (Reis, vd., 2011).

Sayman, 2012’de bir çalışmada da, tek bindirmeli düktil yapışkan bağlantıdaki kayma gerilimini hesaplamalarda kullanılan analitik elasto-plastik gerilme analizi yapmıştır. Bu çalışmada yapıştırıcı Dp 460 kullanmıştır. Yapıştırıcının akış durumunu kontrol etmek için von Mises kriteri kullanmıştır. Analiz sırasında, yapıştırıcı kalınlığı boyunca kayma gerilmesinin sabit olduğu varsaymış ve eğilme momenti göz ardı etmiştir. Analiz sonuçları, sonlu elemanlar analizi kullanılarak doğrulamıştır. Analitik ve sayısal sonuçlar birbiriyle uyumlu bulmuştur (Sayman, 2012).

Liao, vd., 2013 yaptığı çalışmada düşük dayanımlı çelikler (orta ve düşük karbonlu çelikler) için örtüşme uzunluğu ve malzeme kalınlığı gibi geometrik parametreler ve adeziv gerilme-gerinim gibi malzeme parametrelerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Farklı durumlarda yaralanma paternleri gözlemler ve ilk yaralanma yeri belirlemiştir. Yüksek mukavemetli çelikten yapılan bağlantıların aksine buradaki hasar mekanizması, bağlanan malzemenin sızmasına bağlı olduğunu söylemiştir. Düşük ve orta karbonlu çeliklerdeki birleştirme hatalarına, sargının kenarlarındaki lokalize gerilimler neden olduğu sonucuna varmıştır (Liao, vd., 2013).

Gültekin, 2014’de yaptığı çalışmada farklı malzeme kalınlıklarına sahip çeşitli tek tabakalı yapışkan bağ konfigürasyonlarının çekme gerilimi altındaki mekanik özellikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Deney için AA2024-T3 alüminyum alaşımı, Dp 460 yapıştırıcı, 8 farklı tekli sargı numunesi (malzeme kalınlığı 5, 10, 15, 20 ve 25 mm, sargı uzunluğu 5, 10, 15, 20 ve 25 mm) kullanıldı. Gerçekleştirilen doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirildi. Tek bindirmeli bağlantıda artan malzeme kalınlığı, bindirme uzunluğundan daha fazla yük taşıma kapasitesini artırır. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla tutarlıdır (Gültekin, vd., 2014).

Rahman ve Sun, 2014’de bölge bazlı bir yaklaşım kullanarak, liflerin yırtılma hasarı stresini tahmin etmek için kullanılabilecek doğru bir hasar tahmin kriteri belirlemişlerdir. Hasar türü, karbon fiber kompozitler, epoksi yapıştırıcı ve çeşitli boyutlarda ek yerleri kullanılarak deneysel olarak belirlemişlerdir. Kompozitler için çeşitli gerilim/gerinim tabanlı başarısızlık kriterleri test etmişlerdir. Kritik bölgenin boyutu, tek bindirmeli bağlantıların bilinen göçme yükleri kullanılarak sonlu elemanlar analizi ile hesaplamışlardır. Sonuç olarak, Azzi-Tsai kriterinin (Norris), tekli eklerde fiber yırtılma hasarı stresini tahmin etmek için uygun olduğu görmüşlerdir (Rahman ve Sun, 2014).

İncelenen literatür çalışmaları ışığında bu çalışmamızda; statik çekme ve eğme yükleri altında, yapıştırımlı, civatalı ve civatalı-yapıştırımlı tek bindirmeli bağlantı elamanları mekanik olarak analiz edilmiştir. Yapıştırıcı olarak yüksek performanslı, akrilik bazlı metal yapıştırıcı olan Acrytron 1E1 tercih edilmiştir. Son yıllarda; havacılık ve otomotiv endüstrilerinde yüksek özgül mukavemet ve hafiflik gibi mekanik özelliklerinden dolayı kullanılan AZ91 magnezyum alaşımı ve karbon fiber plaka malzemeleri yapıştırma yüzeyleri olarak kullanılmıştır (Hirsch, 2014).



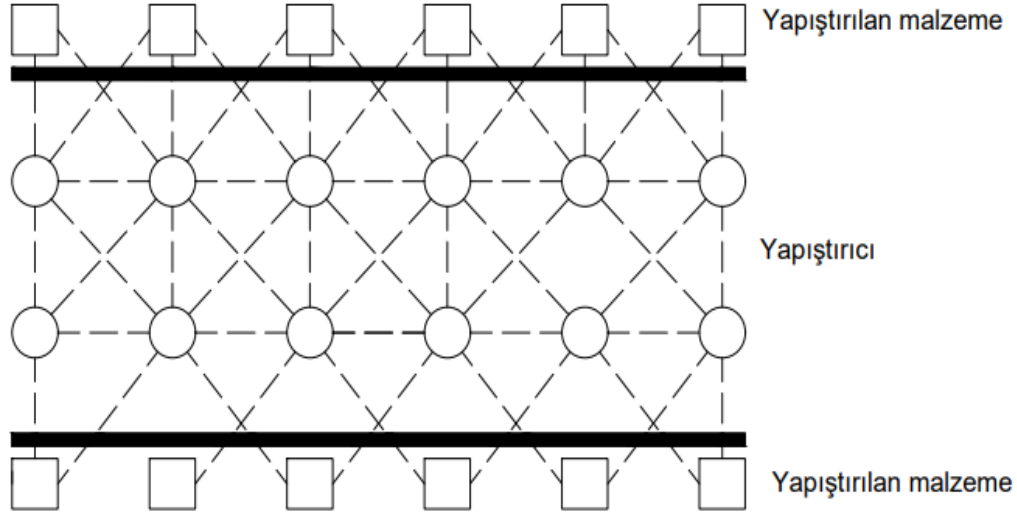
3. TEORİK İLKELER

3.1. Yapışma

Yapıştırma terimi, malzemeler arasındaki çekim kuvvetini tanımlar ve yapıştırma, vida, perçin ve kaynak gibi geleneksel sabitleme yöntemlerine ek olarak bilinen bir bağlantı tekniğidir. Metalik yapıştırıcılar, iki veya daha fazla metal yüzeyi, çivi veya vida gibi geleneksel yöntemlere ihtiyaç duymadan ayrılmaya karşı koyabilecek kadar güçlü ve esnek bir şekilde birleştirmek için kullanılır. Bu yapıştırıcılar doğal veya sentetik maddelerden oluşabilir (Kinloch, 1987).

Sorumluluk süresi; Yapıştırıcı, yapıştırılacak malzemeleri, yapıştırılacak malzemelerin yüzey işlemlerini ve yapıştırıcı ile yapıştırılacak malzemeler arasında oluşan ara fazı ifade eder. Yapıştırıcı bağlantıların fiziksel ve kimyasal direncinin değerlendirilmesi; bu bağlantıların dış yüklerden, mekanik veya çevresel unsurlardan etkilendiğini anlamamız gerekiyor (Dillard, 2010). Yapıştırıcı performansı ve dayanıklılığı ile malzeme ve yapıştırıcı özellikleri, malzemeler ile yapıştırıcılar arasındaki fiziko-kimyasal iç etkileşimlere, yapıştırma koşullarına, bağ geometrisine, birleştirme yerindeki artık gerilmelere ve bağ hattı kusurları etkilidir. Etkin bir yapışma elde etmek için, çeşitli yapıştırma bağlantıları için yukarıdaki faktörler dikkate alınmalıdır (Parvatareddy, 1997).

Bağlantının dayanımı iki temel olaya bağlıdır. Bunlardan ilki yapışkan moleküller tarafından birleştirilen parçaların yüzeyleri arasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal "yapıştırma" olgusudur. İkincisi, yapıştırıcının iç mukavemetini belirleyen, yapıştırıcı molekülleri arasındaki bağ kuvveti olan "kohezyon" olgusudur (Bk.Şekil1)



Şekil 1. Yapıştırılmış Derzlerde Yapıştırıcı Ve Kohezif Kuvvetlerin Temsili

İyi yapışma; uygun yapıştırıcı seçimi, uygun yapıştırma tekniğinin belirlenmesine, yapıştırma yüzeyinin temizliğine, yapıştırma yüzeyinin ıslanabilirliğine ve yapıştırıcının uygun katılma ve kürlenme sürecine bağlıdır (Wan, vd., 2011).

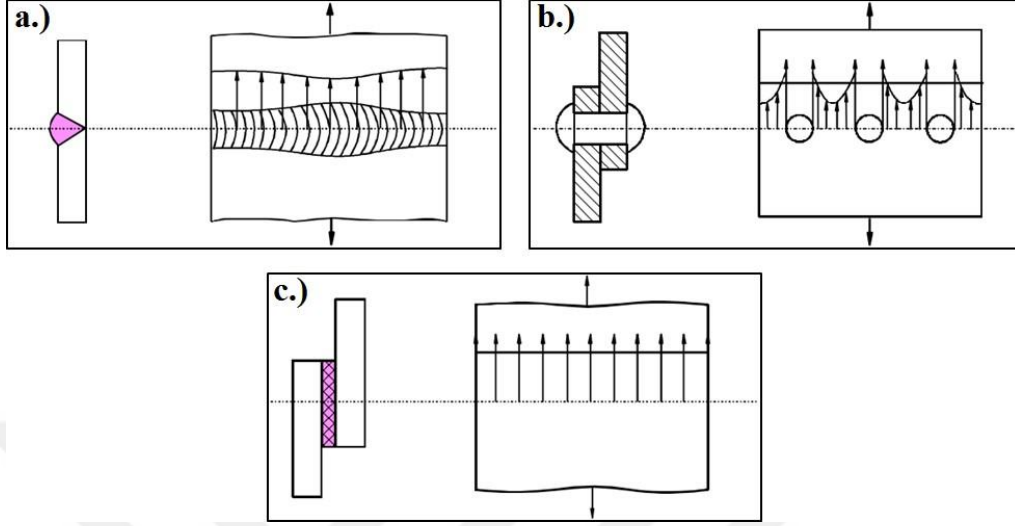
3.1.1. Yapışmanın Olumlu Ve Olumsuz Yönleri

Yapıştırıcı sistemlerin güçlü ve zayıf yönleri bilimsel açıdan ilgi çekicidir ve bu konuda pek çok araştırma yapılmıştır. Yapıştırarak bağlamanın olumlu ve olumsuz yönleri aşağıda listelenmiştir (Ebnesajjad, 2010).

Olumlu yönleri:

- İnceden kalına tüm şekillerdeki malzemeler birleştirilebilir.
- Yapıştırma yüzeyi boyunca daha düzgün bir gerilim dağılımı elde edilebilir (Şekil 2).
- Aynı malzeme ile farklı malzemeleri birleştirmek mümkündür.
- Farklı malzemeler arasındaki elektrokimyasal (galvanik) korozyonu önler veya en aza indirir.
- Yorgunluk direnci ve tekrarlanan yük direnci yüksektir.
- Yapıştırma malzemenin özelliklerini etkilemez.
- Yapıştırıcı malzemeler arası sızdırmayı engeller.
- Isı ve elektrik iletimini engeller. (bazı yapıştırıcılar iletken olacak şekilde tasarlanmıştır)
- İnanılmaz bir güç/ağırlık oranına sahiptir.

- Ucuz ve kullanışlı teknoloji. - Mekanik gerilim ayarı ucuz ve/veya hızlıdır.
- Daha pürüzsüz bir aerodinamik yüzey elde edersiniz.
- Yüksek şok ve titreşim emme özelliğine sahiptir.



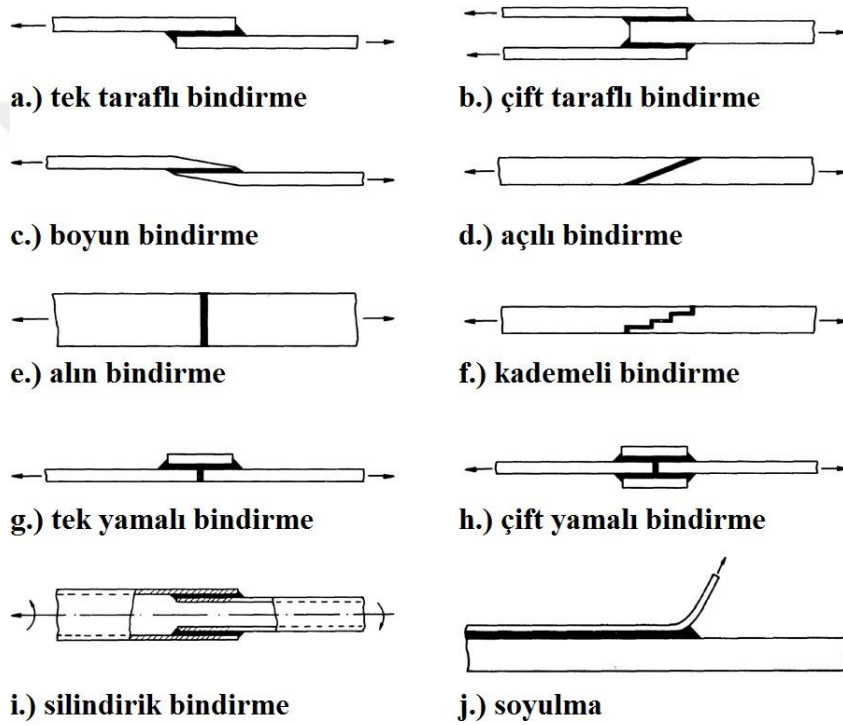
Şekil 2. Alın birleştirmelerinde gerilim dağılımı A.) Kaynak B.) Perçin C.) Yapıştırma

Olumsuz yönleri:

- Yapıştırıcıda yapıştırma yüzeyleri incelenemez. (yapıştırma malzemesi şeffaf değilse)
 - Aşındırıcı kimyasallara yapıştırma sağlamak için genellikle dikkatli bir yüzey hazırlığı gerekir.
 - Daha uzun kurlenme süreleri gerektirebilir. Özellikle yüksek kütleme sıcaklıklarında kullanılmaz.
 - Üst çalışma sıcaklığı genellikle yaklaşık 1770 °C ile sınırlıdır. Ancak özel yapıştırıcılar 3710 °C'ye kadar sınırlı kullanıma uygun olmakla birlikte, bu yapıştırıcılar genellikle pahalıdır.
 - Yapışkan ömrü maruz kaldıkları ortama bağlıdır.
 - Yapıştırıcı solventin veya temizleme solventinin yapışması sağlığınıza zarar verebilir.
 - Düşük soyulma mukavemeti ve darbe mukavemetine sahiptir.

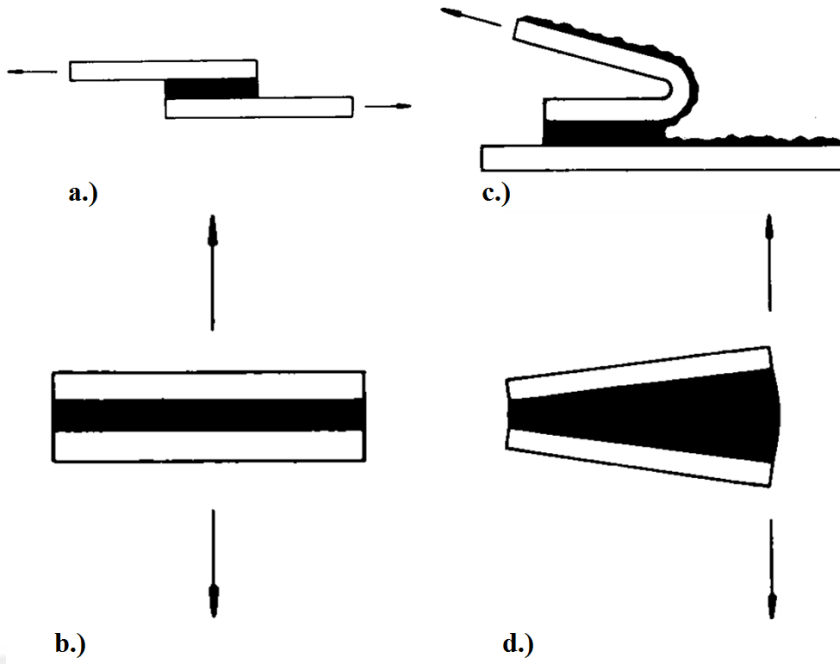
3.1.2. Yapışma bağlantı türleri ve yapışma yüzeylerindeki gerilmeler

Yapışkan bağlantılar için bağlantı tipi açıkça tanımlanmalıdır. Bağlantı tipi, bağlantı üzerindeki yük dikkate alınarak belirlenmelidir. Ek olarak, kurlenme sırasında derzi bir arada tutan sıkıştırma aletleri de derz için dikkate alınmalıdır. Hesaba alınan kuvvetin yükünü ve yönünü belirlemek gerekir. Ayrıca yapıştırma bağlantılarının kullanım kolaylığı da seçim kriterleri arasında yer almalıdır. Yapışkan malzemeye bağlıdır (Adams, 1997). Yapıştırıcı bağlantıların uygun tasarım parametreleriyle tasarlanmasının, geleneksel birleştirme yöntemlerine kıyasla daha güvenli bağlantılarla sonuçlandığı iyi bilinmektedir. Özellikle cıvata, perçin vb.



Şekil 3. Bazı yaygın alın birleştirme türleri

Yapıştırıcı derzlere dört önemli baskı etki eder (Şekil 4). a.) kesme, b.) çekme (dışarı çekme), c.) sıyrma (soyma) ve d.) çekme ve kesme (bölünme). Bağlantı gücünüzden en iyi verimi almak için bu voltaj dalgalanmaları dikkate alınmalıdır (Adin, 2007).



Şekil 4. a.) Yapışma yüzeyinde kesme gerilmesi b.) Yapışma yüzeyinde büzülme gerilmesi c.) Yapışma yüzeyinde soyulma gerilmesi d.) Yapışma yüzeyinde çekme-kesme gerilmesi

a.) Yapışma yüzeyinde kesme gerilmesi

Kayma gerilimi, tüm bağ alanı üzerinde eşit olarak etki eder. Kayma gerilmesinin tüm derz yüzeyine etkisi derz ömrünü uzatır ve ekonomik fayda sağlar. Yapıştırıcı bağlantıları tasarlarken yükün büyük bir kısmını yanal yük olarak aktarabilecek bir sistem oluşturmalısınız (Adin, 2007).

b.) Yapışma yüzeyinde çekme gerilmesi

Çekme gerilimi durumunda, yapışkan tabakaya normal bir kuvvet etki eder. Yapıştırıcıya dik olan bu kuvvetler, yapıştırıcı alanındaki gerilimi eşit olarak dağıtır. Bununla birlikte, bağlantılar her zaman yalnızca bu tür gerilime maruz kalmaz. Eksantrik bir kuvvet oluştuğunda, gerilim eşit olarak dağılmaz. Bu durumda, eklemlerin hasar görme olasılığı daha yüksektir. Bağlantı malzemesi inceyse, gerilim altında bükülerek eşit olmayan gerilim dağılımına neden olabilir (Petrie, 2000).

c.) Yapışma yüzeyinde soyulma gerilmesi

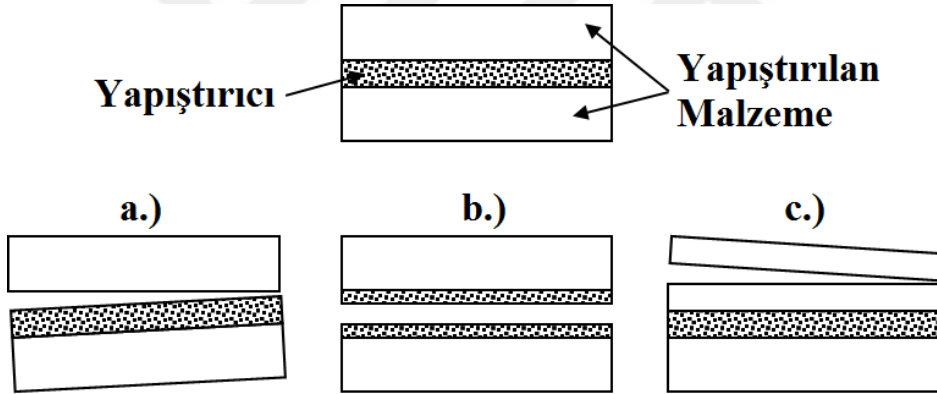
Yapışma yüzeyinde soyulma geriliminin gelişimi, elastik elemanların varlığına bağlıdır. Bu tür gerilmeler, yapıştırıcı veya birleştirilen malzemeler elastik olduğunda, yapıştırıcı hatlarında gözlemlenebilir. Soyulma yükleri, bağ arayüzünde yüksek gerilim konsantrasyonları oluşturur. Bu durumda, bağlantının gücü olumsuz etkilenecektir. Bu elverişsiz mukavemet ancak çok geniş bağlantılar veya düşük yük değerleri için göz ardı edilebilir. Aksi takdirde, yapışkan bağı erken hasar görme riski vardır. Delaminasyon stresinden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır (Ekrem, 2015)

d.) Yapışma yüzeyinde çekme-makaslama gerilmesi

Bindirme kesme yükleri genellikle eksantrik çekme kuvvetleri veya momentlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Bu tür yükler, eklemden bir gerilim yanlılığı veya yanlılığı oluşturur. Stres konsantrasyonuna dayanmak için geniş bir bağlanma alanı gereklidir. Çekme-kesme gerilmeleri, çekme ve kesme gerilmelerinden daha fazla bağ yüzeyi gerektirir ve maliyet nedenleriyle bağlantı tasarımı için önerilmez (Ekrem, 2015).

3.1.3. Yapışmadaki hasar türleri

Farklı yükleme koşulları altında derzlerin veya yapıştırıcıların mekanik özelliklerini tam olarak anlamak için hasar türleri karakterize edilmelidir. Yapıştırılmış eklemler genellikle üç tip hasardan muzdariptir. Bu hasar yapısal hasar, adeziv hasar ve kohezyon hasarı olarak ayrılabilir.

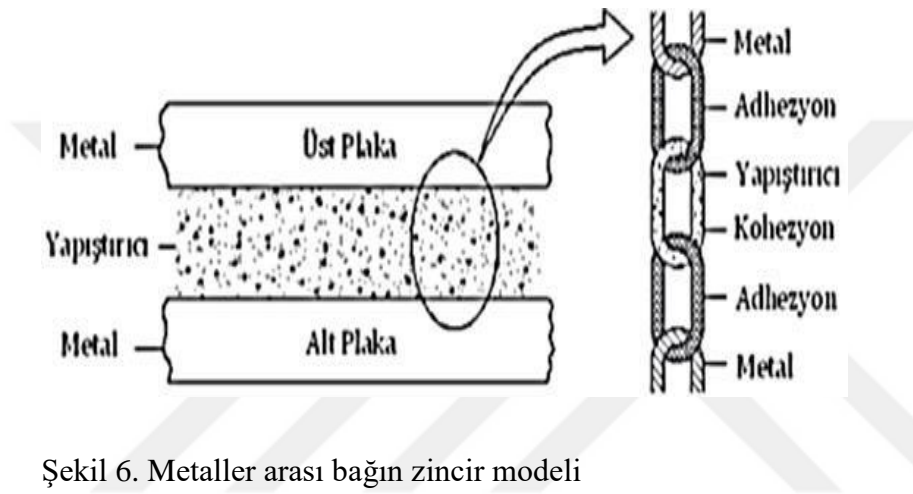


Şekil 5. Bağ hasar şekli a.) Yapışma hasarı b.) Yapışkan hasarı c.) Yapışkan çekim kuvveti hasarı

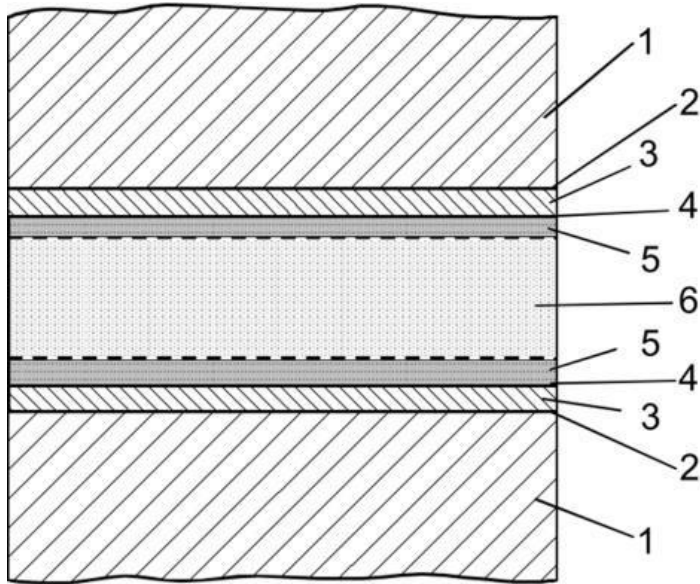
Yapışkan derzler, yapışma veya kohezyon kusurları gösterebilir. Yapışma başarısızlığı, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemeler arasındaki arayüzde gözle görülür ayrışmanın meydana geldiği bir başarısızlık olayıdır. Yapışmanın en zayıf noktası bu temas yüzeyidir (Da Silva, 2018). Yapıştırıcı mekanik olarak parlatılmış yüzeyi tamamen ıslatmazsa, moleküllerin çekimi azalır. Yapıştırıcının yapışkan yüzeye nüfuz etmesi ve ıslatması durumunda ıslanma mümkündür. Bu nedenle yapıştırma öncesi yüzeyler uygun şekilde hazırlanarak uygun ıslanabilirlik sağlanmalıdır (Ekrem, 2015).

Yapışkan başarısızlık, yapışkan veya bağlı malzemelerde gözle görülür bir hasarın olduğu bir yapışkan bağlantı hatası şeklindedir. Moleküller arası çekici kuvvetler ve polimer moleküllerinin bağlantıları kohezyonu etkiler. Artık yapıştırıcı, yırtılma işleminin bir sonucu olarak çoğunlukla her iki tarafta da görülür (Ekrem, 2015).

Yapıştırıcı kopmadan önce yapıştırılan malzeme koparsa, yapıştırılan malzemenin kohezyon hasarına uğradığı söylenir. Bağlı malzemelerin moleküller arasında meydana gelebilecek bir hasar şeklidir (Banea, vd., 2015). Bu, yapıştırıcıdaki atomlar arasındaki bağ kuvveti, malzemedeki atomlar arasındaki bağ kuvvetinden daha büyük olduğunda meydana gelir. Bu, yapıştırıcılarda veya yapıştırma malzemelerinde ideal bir kohezif hasar mekanizması türüdür. Yapıştırıcı ekleme meydana gelen yapışma ve bağ modelini kullanarak yapıştırıcı eklem yapısı. (bk. Şekil 6) görüntülenir. Bu tür hasarların iki veya daha fazlasının bir kombinasyonu genellikle yapışkan bağlantılarda meydana gelir (Dos Santos, vd., 2016).



Şekil 6. Metaller arası bağın zincir modeli



Şekil 7. Teorik bir bağlama sisteminde oluşan katmanlar 1. alt tabaka 2. alt tabaka yüzey altı sınırı (örn. alt tabaka oksit tabakası) 3. alt tabaka altı (oksit) tabakası 4. alt tabaka altı ve yapışma sınır tabakası 5. sınırdaki yapışkan katman arayüzü 6. yapışkan yapışkan katman

3.1.4. Yapışma bağlantılarını etkileyen temel unsurlar

İnce yapıları birleştirirken yapıştırma işlemi çok etkili bir şekilde kullanılabilir. Bağ tarafından aktarılan yük, bağ yüzeyinin tamamına dağılır, böylece hiçbir noktasal kuvvet oluşmaz. Bu nedenle ince yapılarda yapıştırma, mekanik bağlamaya tercih edilebilir. Bununla birlikte, yapışık bağlantılar birçok faktörden etkilenebilir (Custódio, 2009). Bir kaplin bağlantısı tasarlanırken bu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Aşağıda, yapıştırıcıyla yapıştırmayı düşünürken göz önünde bulundurulması gereken bazı önemli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler yapıştırıcı çiftine göre değişir (Gualberto, 2021).

- Katalizör
- Sıcaklık
- Oksijen
- Kimyasal çözücüler
- Nemli ve sulu ortam
- Zaman
- Basınç

3.2. Etkili Metal Yapıştırma Yöntemleri

Dünya çapında yapısal yapıştırma için mevcut olan ticari yapıştırıcıların sayısını tahmin etmek zordur. Muhtemelen dünya çapında çeşitli ticari isimler altında yüzlerce yapısal yapıştırıcı vardır. Bu durum bazı özel oluşumlar, isim değişiklikleri, dolgu maddeleri eklenmesi vb. nedenlerle ortaya çıkmaktadır (Pethrick, 2021). Yapısal yapıştırıcı seçerken hangi tip yapıştırıcı seçeceğimizi düşünürken önümüzde yüzlerce seçenek var. Neyse ki, yapıştırıcıları sınıflandırmak için sistematik bir yaklaşım oluşturulmuştur. Bu nedenle bazı önemli parametreleri göz önünde bulundurma seçimi kolaylaştıracaktır.

Yapısal yapıştırıcıların çoğu altı temel kimyaya dayanmaktadır (Caeg, vd., 1990).

- Akrilik
- Epoksi
- Poliüretan
- Anaerobik akrilik
- Siyanoakrila
- Silikon

Her kimyasal tür farklı özellikler sunar. Bu özellikler çoğunlukla aynıdır, ancak

bazıları da kendi benzersiz niteliklerini sunar. Son yıllarda, kimyagerler yapıştırıcılar arasındaki etkileşimleri incelediler.

3.2.1. Akrilik Yapısal Yapıştırıcı

Akrilik asit, keskin kokulu (Adhetron 1E1 hariç), renksiz ve "akrilik asit" in oksidasyonu ile oluşan bir asit sınıfıdır. Bu tür asitlerin ısıya, ışığa veya metallere uzun süre maruz kalmasıyla oluşan polimerler "akrilikler" olarak da bilinir. Akrilikin moleküler formülü $CH_2=CHCOOH$ şeklindedir (Briggs, 2010). Akrilik yapıştırıcılar, akrilik dispersiyon bazlı kullanıma hazır yapıştırıcılardır. Metalleri, camı, ahşabı, seramikleri, ferritleri ve bazı plastikleri yüksek darbe, çekme ve çekme mukavemeti ile yüksek mukavemetli, kalıcı bağlantılar için bağlarlar. Geniş bir sıcaklık direncine sahiptir (Abbey, 2012).

Akrilik yapıştırıcılar, listelenenlerin çok üzerindeki sıcaklıklarda kullanılırsa bozulabilir veya yanıcı hale gelebilir. Akrilik yapısal yapıştırıcılar, aktivatörlerle oda sıcaklığında sertleşir. Yapıştırıcı tipine bağlı olarak, yapıştırıcı ve aktivatör, yapıştırıcı yüzeye ayrı ayrı uygulanabilir veya uygulamadan hemen önce statik bir karışımda karıştırılabilir. Yapıştırıcı ve aktivatör her zaman ayrı ayrı uygulanmalıdır (Da Silva, vd.,2011).

Tutkal, iki parça temas ettiğinde sertleşmeye başlar. Yapıştırıcı ve aktivatörün aynı kıvama sahip olduğu akrilik yapıştırıcılar da vardır. Yapıştırıcı ve aktivatörün yan yana veya şeritler halinde uygulandığı iki bileşenli sistemlerdir. Yapıştırılacak parçalar birleştirilirken yapıştırıcı da karıştırılır. Karıştırılan yapıştırıcı 5 dakikadan fazla bekletilirse statik karıştırıcı da kullanılabilir. Statik bir karışımda önceden karıştırılmış yapıştırıcı kullanmanın avantajı, karıştırmanın montaj sırasında çalkalamaya bağlı olmamasıdır (Angelidi, 2017).

Akrilik yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Son derece yüksek kesme ve çekme dayanımı
- PC-PA'ler, metaller ve plastikler için iyi soyulma mukavemeti
- Yüksek darbe dayanımı
- Geniş çalışma sıcaklığı aralığı
- Hemen hemen her türlü malzemeyi kullanabilme
- Yüksek boşluk doldurma kapasitesi (özellikle önceden karıştırılmış akrilik yapıştırıcılar)
- Çevre şartlarına yüksek dayanım,
- Nemli ortamlara karşı yüksek dirence sahip

3.2.2. Epoksiler

En önemli yapısal yapıştırıcı formülasyonu epoksidir. Epoksi yapıştırıcılar, metallere, seramiklere ve termoplastiklere dahil olmak üzere birçok polimeri yapıştırmak için kullanılabilir. Avantajları, mükemmel kimyasal dirençleri, kürlenme sırasında düşük uçucu bileşen salınımı ve düşük çekme değerleridir. Bu nedenle iyi hazırlanmış bir yapıştırma sisteminde epoksi yapıştırıcı çok güçlü ve dayanıklı bir bağ oluşturabilir. Bununla birlikte, soyulma mukavemetleri nispeten düşüktür. Kimya türüne ve kürlenme reaksiyonuna bağlı olarak, formülasyon çok yönlülüğüne izin veren birçok farklı reçine ve sertleştirici mevcuttur. Düşük viskoziteli sıvılardan katı macunlara ve filmlere kadar çeşitli formlarda mevcuttur (Schmidt, 2005).

Sertleştiricilerin iyileştirilmesi, zorlu uygulama alanlarında kullanılmasını artırmıştır. Sertleşme mekanizması tüm değişkenler için aynıdır. Bu mekanizma belli miktarda reçine ve sertleştirici gerektirir. Mekanizmaların karıştırılması uygun oranlarda yapılmalıdır. İki bileşenli bir sistemde reçine ve sertleştiriciyi iyi karıştırmak önemlidir. Oranların yanlış kullanımı veya karıştırılmaması kürlenmeyi olumsuz etkileyerek mukavemeti, sertliği ve çevresel direnci azaltır (Ebnesajjad, 2011).

İki parçalı epoksiler, iki parça karıştırıldıktan sonra ortam sıcaklığında reaksiyona girmeye başlar. Bu yapıştırıcılara soğuk kürlenmiş yapıştırıcılar denir. Reaksiyon hızı, reaksiyon sıcaklığından büyük ölçüde etkilenir. Sıcaklıktaki her 10°C artış için reaksiyon süresi iki katına çıkar. Tersine, sıcaklık 10°C düşerse kürlenme süresi iki katına çıkar. İki bileşenli sistemler için ortam sıcaklığında tam sertleşme süreleri dakikalardan günlere kadar değişir. Özel istisnalar dışında, 10 °C'nin altındaki sıcaklıklar sertleşme oranını önemli ölçüde azaltır ve çapraz bağlanma derecesini tehlikeye atabilir. Daha düşük çapraz bağlanma seviyeleri, daha düşük çekim kuvveti ve agresif ortamlara karşı daha az direnç ile sonuçlanır (De Morais, 2007).

Tek bileşenli epoksi yapıştırıcılar sıvı, macun veya film formunda olabilir. Bu yapıştırıcıların sertleşmesi için ısıya ihtiyacı vardır. Reçine ve sertleştirici önceden karıştırılır ancak inert bir katalizörle oda sıcaklığında sertleşmez. Yüksek sıcaklıklarda (genellikle 100°C'nin üzerinde), reaktif hale gelir. Sıcaklık arttıkça reaksiyon hızı da artar. Bazı durumlarda, yanıtlar 10 dakika içinde ortaya çıkabilir (Vietri, 2014).

3.2.3. Poliüretan

Üretan polimerler, esnek ve sert köpükler, kriyojenik yalıtım ve aşınmaya dayanıklı kaplamalar için kullanılır. Yapıştırıcı olarak kullanımı da artmaktadır. Poliüretan esas olarak farklı malzeme veya metallerle birleştirilmesi zor olan plastiklerin birleştirilmesinde kullanılır. Kürlenmiş üretanlar, doğada neredeyse termoplastik olan hafif çapraz bağlı termosetlerdir. Bu, esnek özellikler sağlar. Bu esneklik ve iyi yapışma, soyulma mukavemetinin önemli olduğu yumuşak plastiklere iyi yapışma sağlar. Üretanın ayırt edici bir özelliği, kriyojenik sıcaklıklardaki yüksek mukavemetidir (Ebnesajjad, 2010; De Morais, 2007).

PU yapıştırıcılar, tek bileşenli veya iki bileşenli kimyasal olarak reaktif formülasyonlardır. İki bileşenli bir sistem, az miktarda katalizörle kontrollü sertleşme sağlar ve sertleşme süreleri saatlerden saniyelere kadar değişebilir. Tek bileşenli formüller kısmen polimerizedir ve atmosferik nemle maruz kaldıktan sonra sertleşmeye başlayana kadar kimyasal olarak kararlıdır (Banea, vd., 2015). Tedavi oranı difüzyon kontrollüdür ve nispeten yavaştır. Tam kürlenme genellikle birkaç saatten birkaç güne kadar sürer. Poliüretanlar, fiberglas takviyeli plastikler, araba camları, yalıtım paneli laminatları ve esnek ambalaj malzemelerinin yapıştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca inşaat ve denizcilik endüstrilerinde yapıştırıcı ve dolgu macunu olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır (Faneco, vd., 2017).

3.2.4. Anaerobik

Anaerobik yapıştırıcılar "kaplama bileşikleri" olarak bilinir. Döndürülerek kapatılan vida ve benzeri parçaları sabitlemek, mühürlemek ve sabitlemek için kullanılırlar. Aynı zamanda koaksiyel düzenekleri birleştirmek ve flanş yüzlerini kapatmak için de kullanılır. Bağladığınız bileşenlerden biri metal olmalıdır. Akriolik yapıştırıcı ailesinin bir üyesi, çoğunlukla düşük viskoziteli sıvılar, ancak elmas veya tiksotropik sistemler olarak da formüle edilebilir. Bu sistemler oksijen veya hava olmadan kürlenen tek parça sistemlerdir. Bu nedenle anaerobik olarak adlandırılırlar. (Okamoto, 1990). Anaerobik koşulların etkisi altında kürlenme hızının kendisi çok yavaşlar. Metalin varlığı sertleşme hızını artırır. Bu, metal parçaların yakından eşleştiği sınırlı durumlarda kullanılmasına yol açmıştır. Sıkı bağlantı havası, metal yüzeyleri ortadan kaldırır ve sertleşme hızını ticari olarak uygun hale getirir. Bu yapıştırıcıların avantajı, derz dışında hiçbir malzemenin kürlenmemesi ve montajdan sonra silinebilmesidir. Yapıştırıcılar arasında benzersizdirler (Dragoni, 2000). Bunun nedeni,

formülasyonlarının, büyük parçaların kolayca çıkarılması için nispeten zayıf dayanımlardan kalıcı sabitleme için çok güçlü dayanımlara kadar uzanmasıdır. Her yoğunluk bandında, farklı aralıkların aynı yoğunluk seviyesiyle doldurulmasına izin veren farklı viskozitelerin formülasyonları vardır. Soyulma ve darbe değerlerini önemli ölçüde artırmak için kürlenebilirler (Bayer, vd., 2009).

3.2.5. Siyanoakrilat

Bu yapıştırıcılar, yapıştırılan yüzeyler tarafından emilen ince bir ıslak film ile reaksiyona girerek sertleşir. Sıkı bir bağlantı gerektirirler ve genellikle saniyeler içinde kurulurlar. Bu nedenle "Süper Yapıştırıcı" (Türkiye'de Japon yapıştırıcısı olarak bilinir) olarak adlandırılır. Yapıştırılabilen malzemeler arasında en gözeneksiz olanıdır. Özellikle plastik ve kauçuk yapıştırmak için uygundur. Kürleme, çoğu yüzeyde nötr veya hafif alkali nem gerektirir (Coover, 1990). Bağlayıcı gerçekten çok düşük moleküler ağırlığa sahip monomer veya oligomerik bileşenler içerdiğinde, kürleme reaksiyonuna polimerizasyon denir. Bu nedenle, siyanoakrilat termoplastik bir sistemdir ve yüksek sıcaklıklarda sürünmeye karşı hassastır. 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda nadiren görülür. Ek olarak, çapraz bağlanma eksikliği, bazı organik çözücülere karşı duyarlılaşmaya ve neme maruz kalmaya yol açabilir. Bu nedenle, bu tür yapıştırıcıların kullanıldığı sistemlerde sızdırmaz conta gereklidir. Bununla birlikte, son araştırmalar, jel kuvvetinin daha geniş alanların işlenmesi ve dikey uygulamalar için daha uygun olduğunu göstermiştir (Leggat, vd., 2007).

3.2.6. Silikon

Silikonlar, silikon atomlarının veya organik grupların doğasına ve polimer zincirleri arasındaki çapraz bağlanma derecesine bağlı olarak sıvı, elastik veya plastik olabilen yarı inorganik polimerlerdir (Ebnesajjad, 2011). Bu polimerler alışılmadık özelliklere sahiptir. Adezyonu hızlandırmak veya önlemek için kullanılabilirler. (Ebnesajjad, 2010). Silikon yapıştırıcılar dayanıklılıklarıyla bilinirler, ancak esneklikleri ve geniş bir sıcaklık aralığında (kriyojenik koşullardan 250°C'nin üzerindeki sıcaklıklara kadar) çalışabilmeleri ile karakterize edilirler (Staudt, vd., 2018). Silikon reçinelerinin yüksek sıcaklık kararlılığı, güçlü silikon-oksijen-etikon bağına bağlıdır. Reçine sistemleri, çapraz bağlanma derecesine ve monomer moleküllerinin radikal doğasına bağlı olarak fiziksel özelliklerde büyük farklılıklar gösterebilir. Baskın radikaller metil, fenil veya vinil gruplarıdır (Ebnesajjad, 2011).

Bir veya iki bileşenli formatlarda mevcuttur. Epoksi ve sert akrilik gibi diğer iki

bileşenli sistemlerle aynı şekilde karıştırılırlar. Bazıları ayrıca tek bileşenli poliüretanlar gibi davranır. Sertleştirmeden farklı olarak alkol veya asidin (genellikle asit) üretildiği bir yoğunlaştırma yöntemidir (Staudt, vd., 2018). Silikonlar, toplam tüketime göre yüksek maliyetleri nedeniyle yaygın olarak yapıştırıcı olarak kullanılmazlar. Kullanımları çok ve çeşitlidir. Silikonlar, organik (karbon bazlı) malzemelerin çevre koşullarına dayanamadığı durumlarda, maksimum güvenilirlik gerektiğinde veya dayanıklılığın ekonomik fayda sağladığı durumlarda kullanılır (Lin,1994).

3.3. Malzeme Özellikleri

3.3.1. Yapıştırıcı

Acrytron 1E1, adhetron ürün ailesinin en yeni ve güçlü akrilik bazlı metal yapıştırıcısı, geniş kullanım alanı ile yüksek performanslı kimyasal bir üründür. Alüminyum, nikel, Çelik, cam, paslanmaz çelik, bakır, çinko, kompozit alüminyum, pirinç, krom, ahşap, beton, sert PVC, polyester, epoksi FRP, fenolik FRP, taş, kaplanmış metal, fırın boyalı ve toz boyalı gibi birçok malzemeyi birbirleri ile ve/veya kendi aralarında yapıştırma özelliğine sahip Acrytron 1E1 yapıştırıcısı özel tabancalarla kullanılabilen yüksek sıcaklıklara dayanıklı, çok çeşitli uçların her türlü karışımda ön karıştırmaya ihtiyaç duyulmadan kullanımına olanak sağlayan yapısal bir yapıştırıcıdır. İlk kürlenme süresi 8-12 dakika, fonksiyonel kürlenme süresi 2 saat ve son kürleşme süresi 24 saattir. Tercih edilen metal bağ türü 1E1, çok yüksek ısı direncine ve darbe dayanımına sahiptir (Pulsar Kimya, 2022).

3.3.2. Yapıştırılan plaka malzemeleri

3.3.2.1. Magnezyum ve AZ91 alaşımı

Düşük mukavemeti nedeniyle, magnezyum metali saf haliyle kullanılamaz. Saf halde düşük mukavemeti, çeşitli alaşımların üretimini gerektiriyordu. Magnezyum ve alaşımlarının diğer metallere göre en önemli özelliği hafifliğidir (Polmear,1994).

Magnezyum alaşımlarının hafiflik nedeni ile Özgül çekme mukavemeti, alüminyum ve çeliğinkinden daha yüksektir. Magnezyum düşük yoğunluğundan alüminyum, plastik kompozit malzemeler ve çeliklere kıyasla yüksek özgül mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Bundan dolayı bugün otomotiv, elektronik, savunma, havacılık ve uzay sanayinde yaygın olarak magnezyum alaşımları kullanılmaktadır. Son yıllarda magnezyum alaşımlarının otomotiv ve uçak endüstrisinde kullanımı ciddi oranda

artması ön görülmektedir. Mg-Al-Zn (AZ91) alaşımı, hafif olması nedeniyle ağırlıklı olarak otomotiv ve uçak parçalarının dökümünde kullanılır (Prasad, vd., 2022).

Bir magnezyum alaşımı olan AZ91, diğer magnezyum alaşımlarıyla karşılaştırıldığında daha iyi döküm özellikleri ve daha iyi akma dayanımı özellikleri sergiler. Otomobillerin motorlarından şasilerine kadar her parçasında magnezyum alaşımları kullanılmaktadır (Hisao, W., 2006).

AZ91 Magnezyum alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. AZ91 Mg alaşımı kimyasal bileşimi (Karabudak, 2023)

AZ91	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Mg
%	8.84	0.61	0.18	0.02	0.005	Balance

3.3.3. Karbon Fiber

Karbon fiber uzun yıllar gelişim süreci sonucunda birçok alanda kendini kabul ettirmiştir. Otomotiv, havacılık ve uzay gibi birçok endüstride yıllardır kullanılmaktadır. Son yıllarda üretim maliyetlerinin düşmesi ile birlikte kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Karbon fiber demire göre 4,5 kat daha hafif ve 3 kat daha güçlüdür. Bu özelliğinden dolayı birçok alanda kullanılmaktadır. Spor otomobillerin şasilerinde ve birçok parçasında kullanılan karbonun, daha hafif ve daha güçlü otomobiller yapmak için mükemmel bir malzeme olduğu kanıtlanmıştır (Huang, 2009).

Karbon fiber özellikleri: (Newcomb, 2016)

- Düşük yoğunluk
- Hafiflik
- Korozyon direnci
- Basit üretim yöntemi
- Düşük sürtünme katsayısı
- Yüksek güç

Karbon fiber kullanım alanları (Smith, 2018)

- Havacılık endüstrisi
- elektronik araçlar
- Uzay aracı
- Spor malzemeleri
- Araba
- Denizcilik
- Çalışma ekipmanları

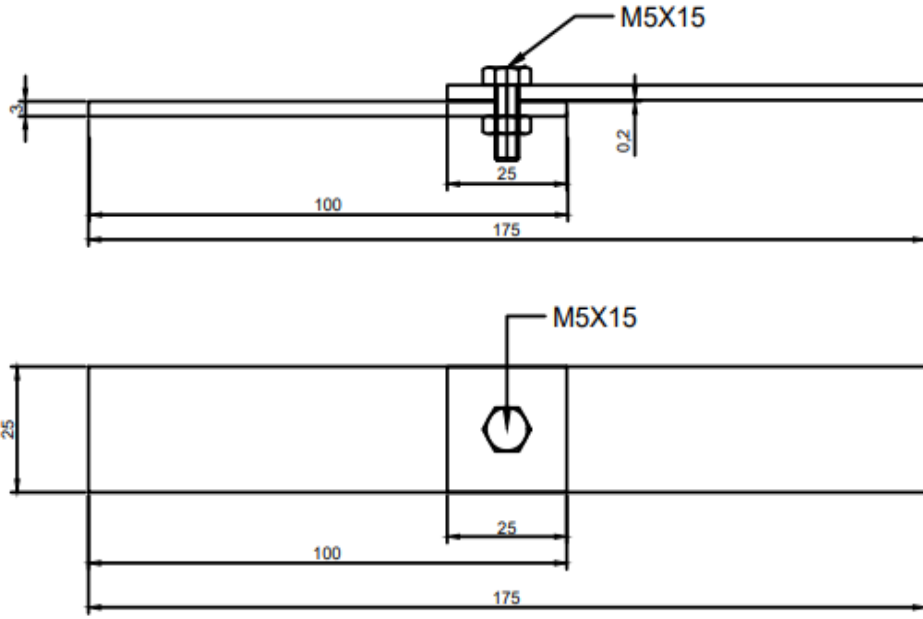
4. METARYELER VE METOT

Bu çalışmada, tek bindirmeli yapıştırılmalı, civatalı ve civata-yapıştırma bağlantıları, AZ91 ve karbon fiber kompozit plakalarla (100-25-3 mm) AZ91/AZ91, AZ91-karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber olmak üzere farklı bağlantı şekilleriyle Arkilik Acrytron 1E1 yapıştırıcısı kullanılarak meydana getirilmiştir. Bindirmeli bağlantılar ASTM D3165-07 standardı kullanılarak yapılmıştır (ASTM, 3165-07). Çekme testleri için kullanılan levhalar ASTM 3039 standardına göre imal edilmiştir (ASTM, 3039). dört nokta eğme testi numuneleri ise ASTM D 1002 standardına göre imal edilmiştir (ASTM, 1002). Tek bindirmeli yapıştırılmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırma a bağlantılarını oluşturan AZ91 ve karbon fiber plakaların mekanik özelliklerini belirlemek için çekme ve dört nokta eğme testleri yapılmıştır. Mekanik testlerden sonra kopan yapıştırıcının metalografik yapısı Optik mikroskop yardımıyla incelenmiştir. belirlenir. Testte her panelden beş adet numune test edilerek gerilme ve hasar analiz değerleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Tüm bindirme bağlantılarının geometrik boyutları (bk. Şekil 9,10,11'de) gösterilmiştir.

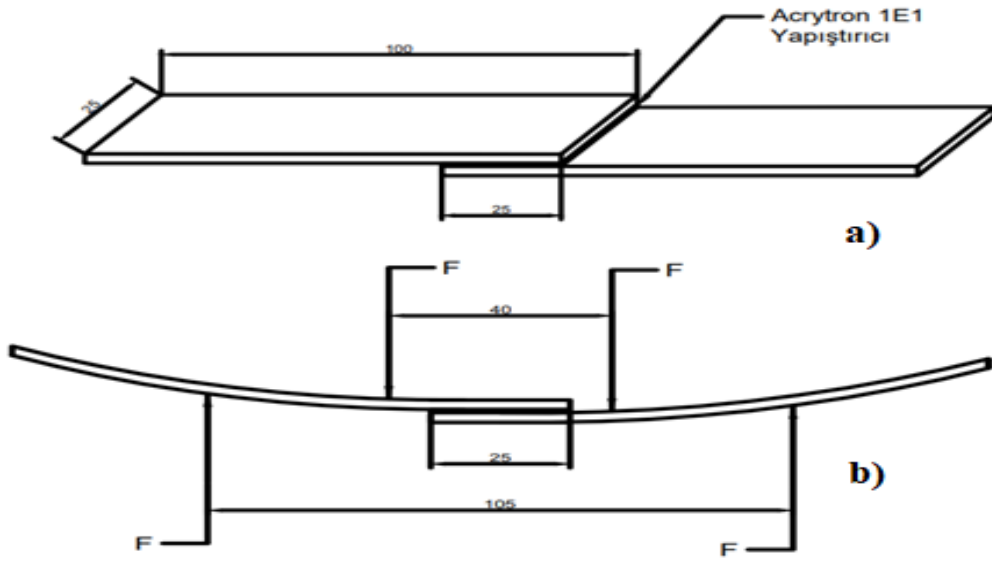
4.1. Yöntem

Bindirme uzunluğunu ve yapıştırıcı kalınlığını optimum ölçülerde ayarlamak, yapıştırılan malzemelerin yapışma süresince mevcut konumunda sabit kalması ve yapıştırıcı sertleşirken malzemenin kenarlara akmasını engellemek için kalıp kullanılmıştır (bk. Şekil 8). Yapıştırmadan önce yapıştırılacak malzeme yüzeyleri kohezyonlu bir bağ sağlamak için pürüzlendirilmiştir. Yapıştırma işleminde yapıştırıcı özel bir tabancayla yapışma yüzeylerine uygulanarak, yapıştırıcının yapışma bölgesinde düzgün dağılması ve belirli bir yapışma basıncı uygulanması için eşit basınca maruz bırakılmıştır (Garcia, 2017; Fan, 2022). Kullanılan yapıştırıcılar 24 saat kürleşme süresi için oda sıcaklığında tutularak testlere hazır hale getirilmiştir. AZ91-AZ91, AZ91-karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber malzemeleri yapıştırılmalı, civatalı ve civata-yapıştırılmalı biçimlerinde yapıştırılmak suretiyle 9 ayrı bağlantı grubu oluşturulmuştur (bk. Şekil 12, 13, 14). Tek bindirmeli plaka gruplarının her birinden standartlara göre altı adet çekme ve dört nokta eğme testi numunesi hazırlanmıştır.

ASTM D3165-07 tarafından belirtilen boyutlara göre üretilen numunelerin üretim süreci TAST tipine benzer şekildedir (Astm, 3165-07). Bağlamak için hiçbir fikstür



Şekil 10. Tek bindirmeli civatalı ve civata-yapıştırma bağlantılarının ölçüleri



Şekil 11. Dört nokta eğme test numunesi a) ölçüleri ve b) hasar sonrası şematik görüntüsü



Şekil 12. AZ91-AZ91, AZ91-karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka numunelerinin görüntüleri



Şekil 13. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber civatalı tek bindirmeli plaka numunelerinin görüntüleri



Şekil 14. AZ91-AZ91, AZ91-karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka numunelerinin görüntüleri

4.2. Çekme Testi

Tek sargılı yapışkan bağlantıların çekme testleri, Gümüşhane Üniversitesi'nde, BESMAK BMT 200ES model, 20 kN kapasiteli universal aksenal çekme test cihazında, oda sıcaklığında ve 1 mm/dk çekme hızında yapılmıştır. Tüm çekme testleri beş tekrarlı olarak yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Mekanik özellikler, aletin yük hücrelerinden ve gerinim ölçerlerinden alınan verilerin test cihazının ara yüzüne gönderilmesi ve test cihazının çekme yükü uygulamaya başladığı anda bir gerilim-gerinim diyagramı oluşturulmasıyla belirlenir. Test kurulumunun diyagramı Şekil 15'de gösterilmiştir.



Şekil 15. Çekme testi gösterimi

4.3. Dört nokta Eğme Testi

Tek bindirmeli yapışkan bağlantıların eğme testleri Erzurum Teknik Üniversitesi'nde bulunan Instron universal test makinesi kullanılarak oda sıcaklığında ve 2 mm/dk eğme hızında yapılmıştır. Tüm eğme testleri beş tekrarlı olarak yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Mekanik özellikler, aletin yük hücrelerinden ve gerinim ölçerlerinden alınan verilerin test cihazının ara yüzüne gönderilmesi ve test cihazının eğme yükü uygulamaya başladığı anda bir gerilim-gerinim diyagramı oluşturulmasıyla belirlenir. Test kurulumunun diyagramı Şekil 16 gösterilmiştir.



Şekil 16. Eğme test cihazı

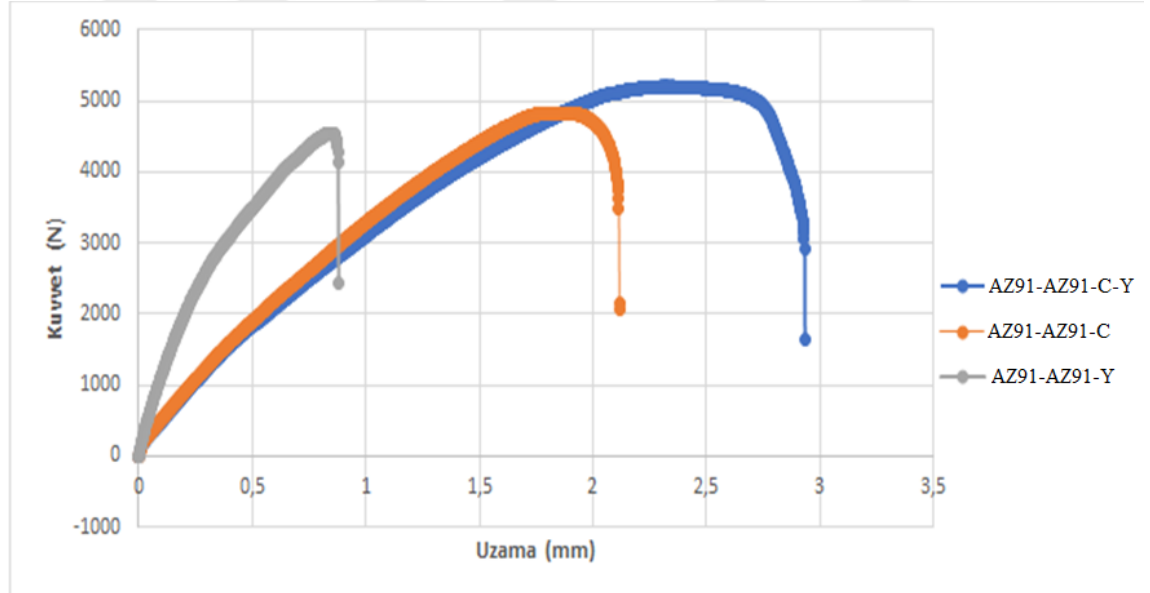
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde çekme ve dört nokta eğme testi sonucu elde edilen parametreler şekiller halinde verilmiştir, kuvvet parametresine bağlı olarak gerilme ve şekil değiştirme oranları hesaplanıp şekiller ve tablolar halinde incelenmiştir. Tek bindirmeli yapıştırılmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırma bağlantılarında geometrik parametrelerin etkisi, maksimum hasar yükleri ve hasar tipleri incelenmiştir. Aynı zamanda malzemenin üretim aşamasındaki diziliminin hasar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

5.1. Çekme testi sonuçları

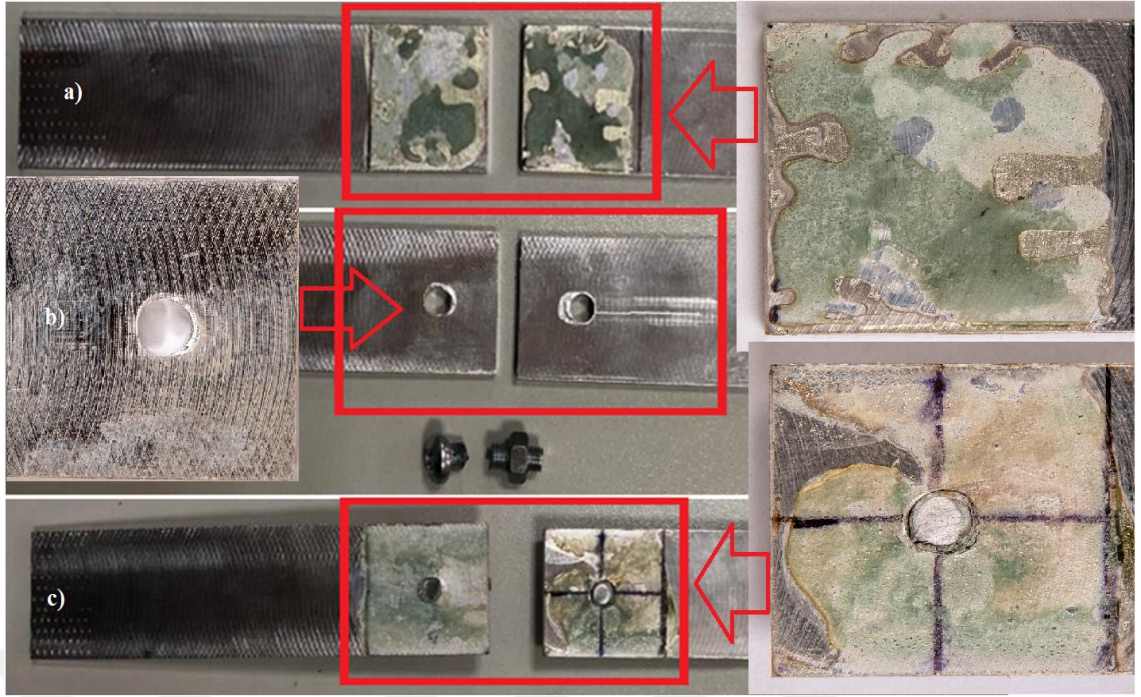
5.1.1. AZ91 Yapıştırılmalı, Civatalı ve Civatalı-Yapıştırılmalı Tek Bindirmeli Plakalar

Bu kısımda geometrik parametreleri yapıştırılmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırılmalı olarak düzenlenen AZ91-AZ91 tek bindirmeli plakaların deneysel çalışmalarından elde edilen sonuçlar yer almaktadır.



Şekil 17. AZ91-AZ91 yapıştırılmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırılmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı

(Bk. Şekil 17'de), AZ91-AZ91 yapıştırılmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırılmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarında Kuvvet (F)-Uzama (mm) diyagramında çekme testi değerleri Tablo 2'de görülmektedir. Maksimum çekme kuvveti (5202,26583 N) ve çekme uzaması (2,935006mm) civatalı-yapıştırılmalı numunelerde görülmektedir.



Şekil 18. AZ91-AZ91 a) yapıştırırmalı, B) civatalı C) civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılı numunelerin çekme testi sonrası hasar görüntüsü

(Bk. Şekil 18’de) çekme testi sonrası bağlantı kopma yüzeylerinden örnekler gösterilmiştir. Yapıştırırmalı numunelerde (a) her iki yüzeyde yapıştırıcıda görülen kısmi kopmalar yapıştırıcının iyi adezyona sahip olduğunu göstermektedir. Civatalı numunelerde (b) alt ve üst parçada delikte ezilme meydana gelmiştir. Civata ise kırılma hasarı meydana gelmiştir. Civatalı-yapıştırırmalı numunelerde (c) kısmi kopmalar meydana gelen üst ve alt parçada plakada yapıştırıcının iyi adezyona sahip olduğu görülmektedir. Alt ve üst parçalardaki deliklerde ezilme meydana gelirken civatada ise kırılma hasarı meydana gelmiştir.

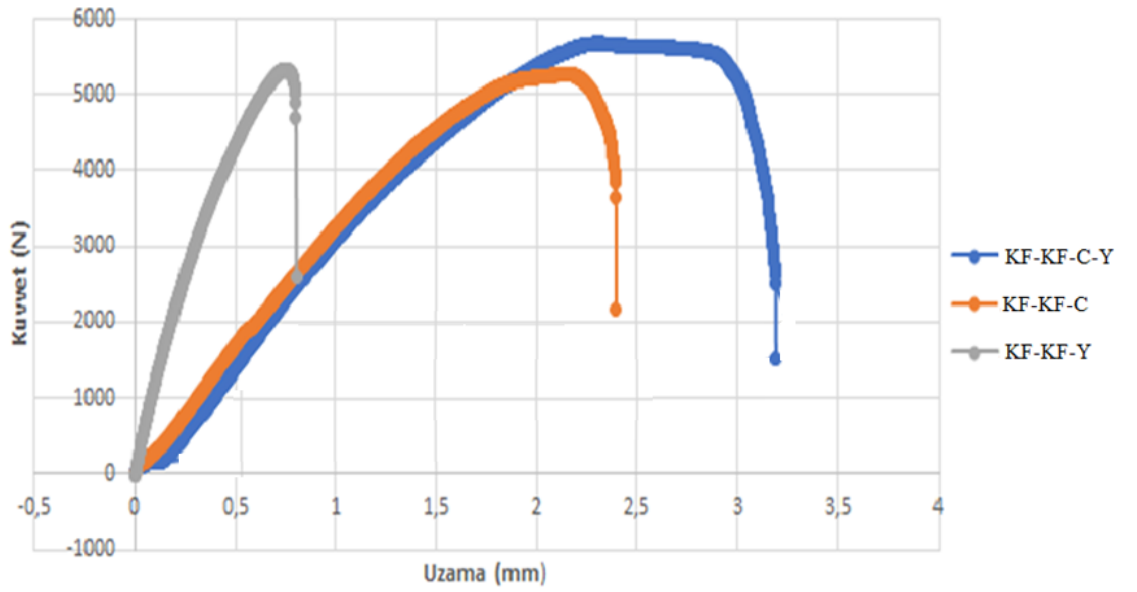
Tablo 2. AZ91-AZ91 yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının çekme testi değerleri ve hasar tipi

1.GRUP	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Hasar Tipi
	Çekme Gerilmesi (MPa)	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Uzaması (%)	Çekme Uzaması (mm)	
AZ91-AZ91-YAP.	30.31501	4547.25139	3.52088	0.8802209	Yapıştırıcıda lokal kopma
AZ91-AZ91-PİM	32.19431	4829.14671	8.46787	2.116966	Delikte ezilme. civatada kırılma
AZ91-AZ91-PİM-YAP.	34.68177	5202.26583	11.74002	2.935006	Delikte ezilme. civatada kırılma. yapıştırıcıda lokal kopma

(Bk. Tablo 2’de) görüldüğü üzere; AZ91-AZ91 civatalı-yapıştırırmalı numunelerde çekme testi sonuçlarına göre maksimum çekme gerilmesi (max kayma) 34,68177 MPa ve maksimum uzama 2,935006 mm olarak hesaplanmıştır

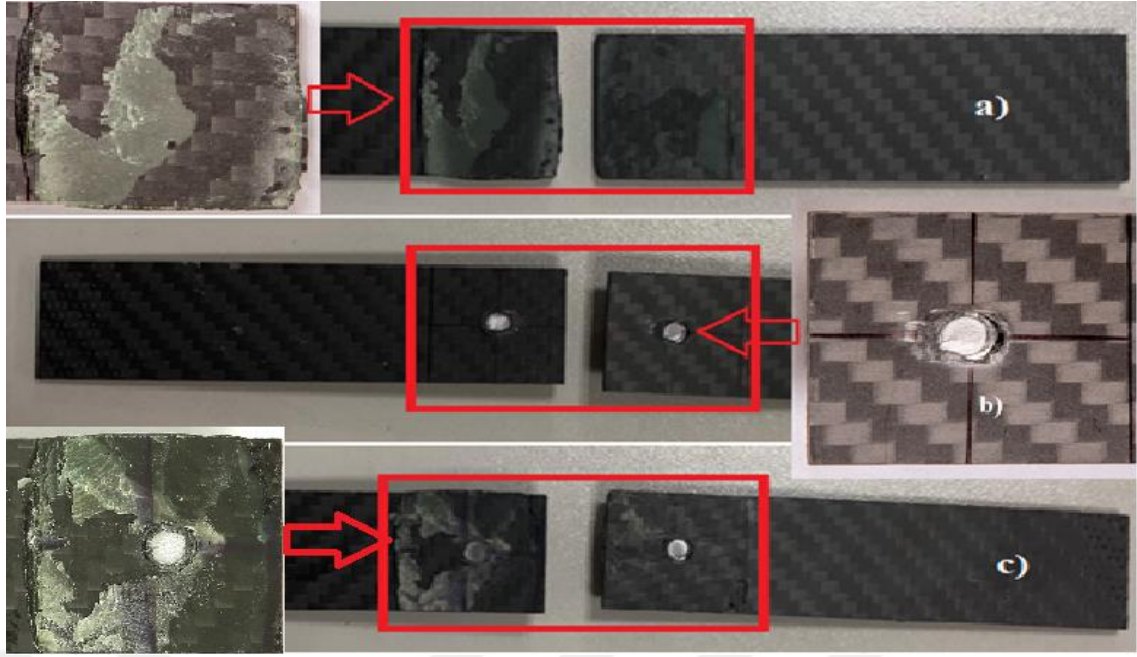
5.1.2. Karbon Fiber-Karbon Fiber Yapıştırırmalı, Civatalı ve Civatalı-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plakalar

Bu kısımda geometrik parametreleri yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı olarak düzenlenen Karbon Fiber-Karbon Fiber tek bindirmeli plakaların deneysel çalışmalarından elde edilen sonuçlar yer almaktadır.



Şekil 19. KF-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı

(Bk. Şekil 19’da), KF-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarında Kuvvet (F)-Uzama (mm) diyagramında çekme testi değerleri (bk. Tablo 2’de) görülmektedir. Maksimum çekme kuvveti (5677,25934 N) ve çekme uzaması (3,191204 mm) civatalı-yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir (bk. Tablo 3)



Şekil 20. KF-KF a) yapıştırırmalı, b) civatalı ve c) civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılı numunelerin hasar görüntüsü

(Bk. Şekil 20'ye) göre KF-KF yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılı numunelerde üst ve alt parçada plakada yapıştırıcının iyi adezyona sahip olduğu görülmektedir. Çekme sonucu kısmi kopmalar meydana gelmiştir. Civatalı (b) numunelerde alt ve üst parçada delikte ezilme meydana gelmiştir. Civatada kırılma hasarı meydana gelmiştir. Civatalı-yapıştırırmalı (c) numunelerde çekme testi sonucu kısmi kopmalar meydana gelen üst ve alt plakada yapıştırıcının iyi adezyona sahip olduğu görülmektedir. Alt ve üst parçadaki deliklerde ezilme meydana gelirken civatada ise kırılma hasarı meydana gelmiştir.

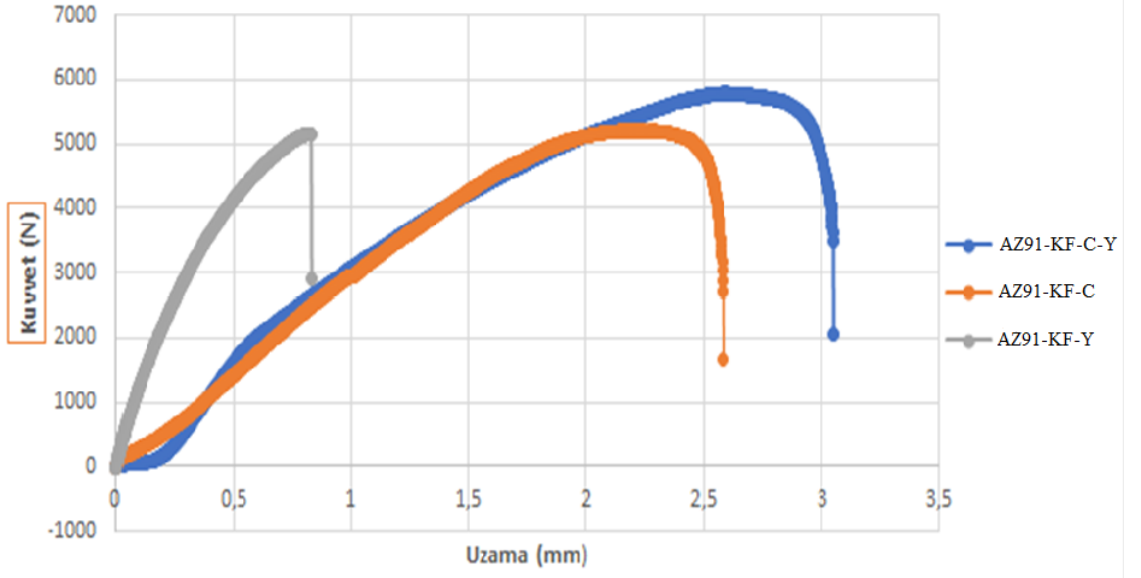
Tablo 3. KF-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının çekme testi değerleri ve hasar tipi

2.GRUP	Maksimum Çekme Gerilmesi (MPa)	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Maksimum Çekme Uzaması (%)	Maksimum Çekme Uzaması (mm)	Hasar Tipi
KF-KF-YAP.	34.49172	5323.75760	3.21524	0.80381	Yapıştırıcıda lokal kopma
KF-KF-PİM	35.11155	5266.73272	9.58354	2.395884	Delikte ezilme. civatada kırılma
KF-KF-PİM-YAP.	37.8480	5677.25934	12.76482	3.191204	Delikte ezilme. civatada kırılma. yapıştırıcıda lokal kopma

(Bk. Tablo 2’de) görüleceği üzere KF-KF Yapıştırırmalı, Civatalı ve Civatalı-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plaka Bağlantılarının çekme testi değerleri sonucu maksimum çekme gerilmesi ve maksimum uzama beklenildiği gibi civatalı-yapıştırırmalı plaka bağlantılarında görülmüştür.

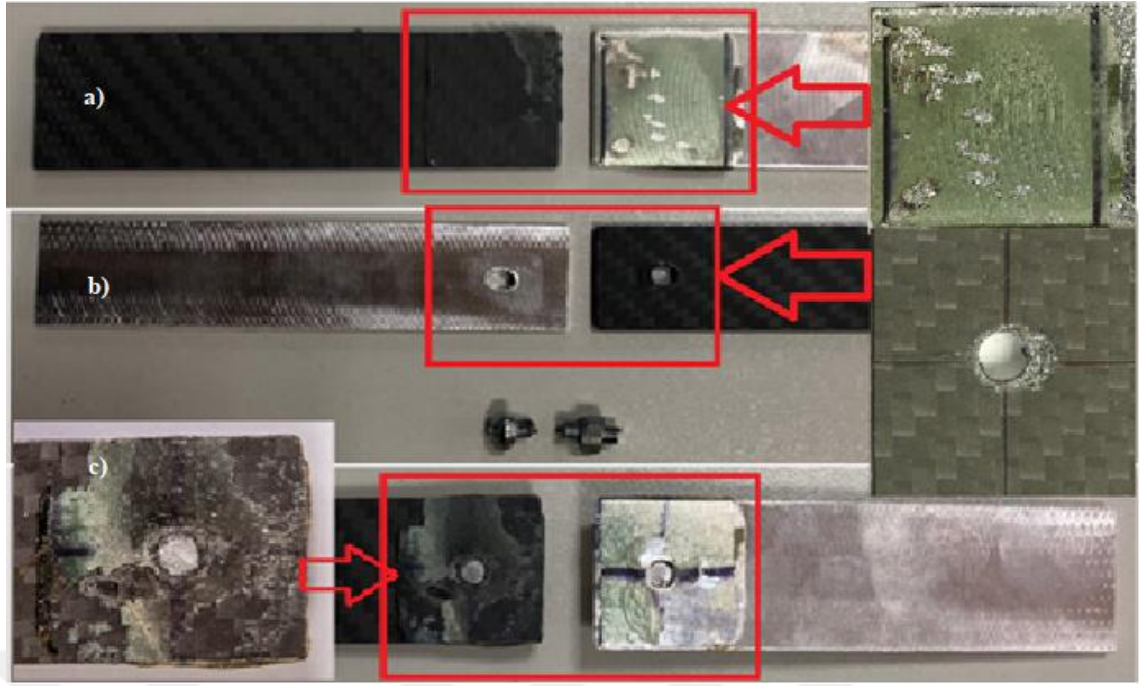
5.1.3. AZ91-Karbon Fiber Yapıştırırmalı, Civatalı ve Civatalı-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plakalar

Bu kısımda geometrik parametreleri yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı olarak düzenlenen AZ91-Karbon Fiber tek bindirmeli plakaların deneysel çalışmalarından elde edilen sonuçlar yer almaktadır.



Şekil 21. AZ91-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı

(Bk. Şekil 21’de), AZ91-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarında Kuvvet (F)-Uzama (mm) diyagramında çekme testi değerleri (bk. Tablo 1’de) görülmektedir. Maksimum çekme kuvveti (5786,65473 N) ve çekme uzaması (3,051536 mm) civatalı-yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir (bk. Tablo 4).



Şekil 22. AZ91-KF a) yapıştırırmalı, b) civata ve c) civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılı numunelerin hasar görüntüsü

(Bk. Şekil 22’de), göre yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılı numunelerde üst ve alt plakada yapıştırıcının iyi adezyona sahip olduğu görülmektedir. Çekme sonucu kısmi kopmalar meydana gelmiştir. Civatalı numunelerde alt ve üst parçadaki deliklerde ezilme meydana gelirken civatada ise kırılma hasarı meydana gelmiştir). Civatalı-yapıştırırmalı numunelerde üst ve alt parçada plakada yapıştırıcının iyi adezyona sahip olduğu görülmektedir. Alt ve üst parçadaki deliklerde ezilme meydana gelirken civatada ise kırılma hasarı meydana gelmiştir.

Tablo 4. AZ91-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının çekme testi değerleri ve hasar tipi

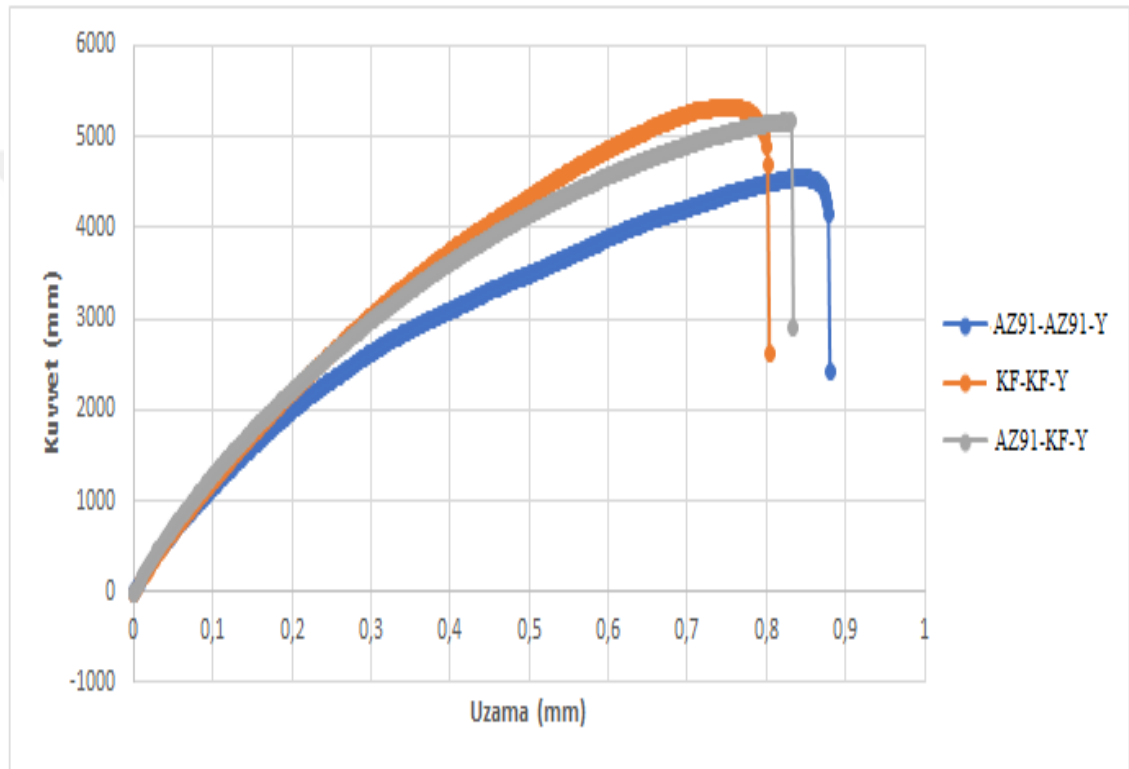
3.GRUP	Maksimum Çekme Gerilmesi (MPa)	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Maksimum Çekme Uzaması (%)	Maksimum Çekme Uzaması (mm)	Hasar Tipi
AZ91-KF-YAP.	34.41532	5162.25323	3.33625	0.8340634	Yapıştırıcıda lokal kopma
AZ91-KF-PİM	34.69207	5203.81071	10.33162	2.582906	Delikte ezilme. civatada kırılma
AZ91-KF-PİM-YAP.	38.57770	5786.65473	12.20614	3.051536	Delikte ezilme. civatada kırılma. yapıştırıcıda lokal kopma

(Bk. Tablo 4’de) görüleceği üzere AZ91-KF Yapıştırırmalı, Civatalı ve Civatalı-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plaka Bağlantılarının Çekme Testi değerleri sonucu

maksimum çekme gerilmesi ve maksimum uzama beklenildiği gibi cıvatalı-yapıştırırmalı plaka bağlantılarında görülmüştür.

5.1.4. AZ91-AZ91, AZ91-KarbonFiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plakalar

Bu kısımda geometrik parametresi yapıştırırmalı olarak düzenlenen AZ91-AZ91, AZ91-Karbon Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber tek bindirmeli plakaların deneysel çalışmalarından elde edilen sonuçlar yer almaktadır.



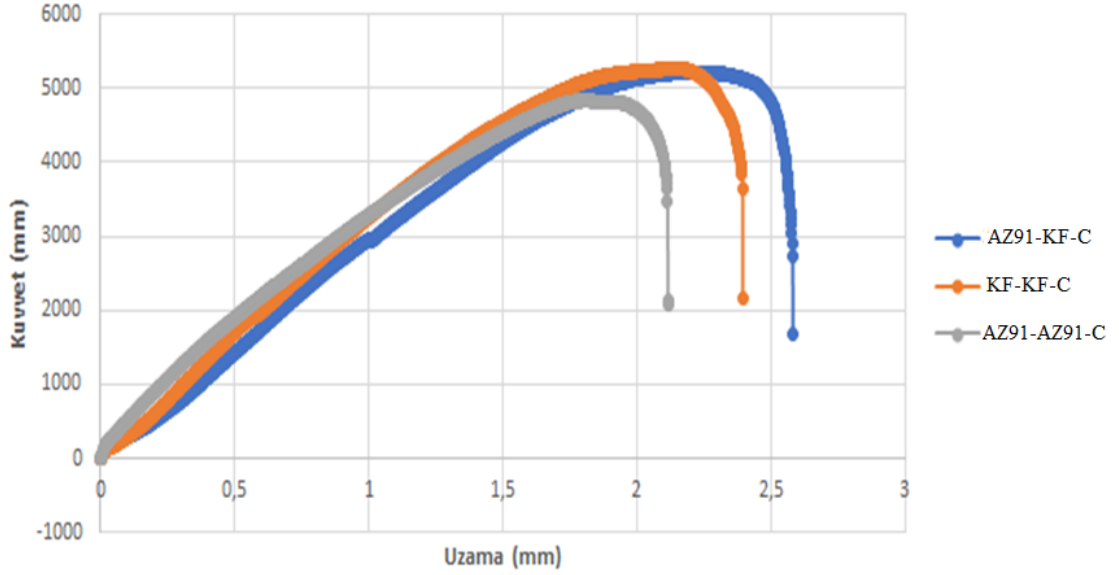
Şekil 23. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon fiber ve karbon fiber-karbon fiber yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı

(Bk. Şekil 23'de), AZ91-AZ91, AZ91-Karbon-Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plaka bağlantılarında Kuvvet (F)-Uzama (mm) diyagramında çekme testi değerleri (bk. Tablo 3'de) görülmektedir. Maksimum çekme kuvveti KF-KF yapıştırırmalı plakalı (5323,75760 N) ve çekme uzaması AZ91-AZ91 plakalı (0,8802209 mm) yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir. Tablo 4'teki çekme değerleri incelendiğinde Şekil ile de paralel olarak yapıştırırmalı plakalarda çekme kuvveti ve uzamanın birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

5.1.5. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber

Cıvatalı Tek Bindirmeli Plakalar

Bu kısımda geometrik parametresi cıvatalı olarak düzenlenen AZ91-AZ91, AZ91-Karbon Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber tek bindirmeli plakaların deneysel çalışmalarından elde edilen sonuçlar yer almaktadır.



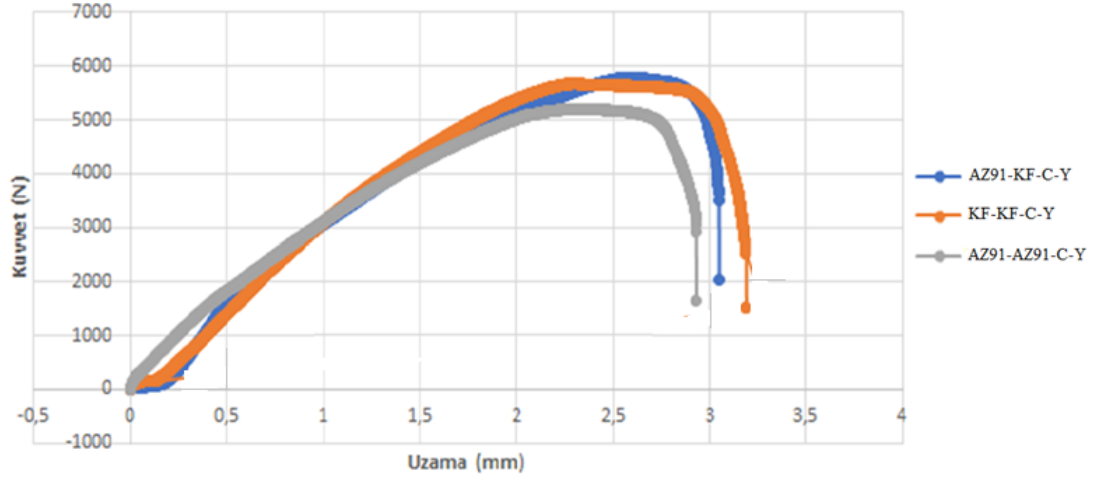
Şekil 24. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber cıvatalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı

Şekil 24’de, AZ91-AZ91, AZ91-Karbon-Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber cıvatalı tek bindirmeli plaka bağlantılarında Kuvvet (F)-Uzama (mm) diyagramında çekme testi değerleri (bk. Tablo 2’de) görülmektedir. Maksimum çekme kuvveti KF-KF yapıştırırmalı plakalı (5266,73272 N) ve çekme uzaması AZ91-KF plakalı (2,582906 mm) cıvatalı numunelerde görülmektedir. Tablo 5’teki çekme değerleri incelendiğinde Şekil 24 ile de paralel olarak yapıştırırmalı plakalarda çekme kuvveti ve uzamanın AZ91-KF>KF-KF<AZ91-AZ91 sıralamasında değerler aldığı görülmektedir.

5.1.6. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber

Cıvatalı-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plakalar

Bu kısımda geometrik parametresi cıvatalı-yapıştırırmalı olarak düzenlenen AZ91-AZ91, AZ91-Karbon Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber tek bindirmeli plakaların deneysel çalışmalarından elde edilen sonuçlar yer almaktadır.



Şekil 25. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının kuvvet-uzama diyagramı

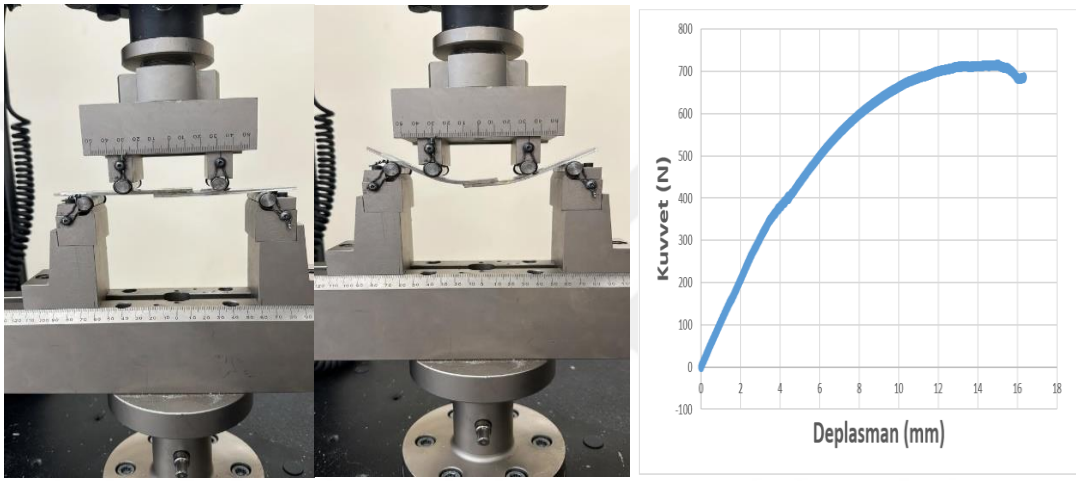
Şekil 25’de, AZ91-AZ91, AZ91-Karbon-Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarında Kuvvet (F)-Uzama (mm) diyagramında çekme testi değerleri (bk. Tablo 5’de) görülmektedir. Maksimum çekme kuvveti AZ91-KF yapıştırırmalı plakalı (5786,65473 N) ve çekme uzaması KF-KF plakalı (3,191204 mm) civatalı-yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir.

Tablo 5. AZ91-AZ91, AZ91-karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının çekme testi değerleri

1.GRUP	Maksimum Çekme Gerilmesi (Mpa)	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Maksimum Çekme Uzaması (%)	Maksimum Çekme Uzaması (mm)
AZ91-AZ91-YAP.	30.31501	4547.25139	3.52088	0.8802209
AZ91-AZ91-PİM	32.19431	4829.14671	8.46787	2.116966
AZ91-AZ91-PİM-YAP.	34.68177	5202.26583	11.74002	2.935006
2.GRUP				
KF-KF-YAP.	34.49172	5323.75760	3.21524	0.80381
KF-KF-PİM	35.11155	5266.73272	9.58354	2.395884
KF-KF-PİM-YAP.	37.8480	5677.25934	12.76482	3.191204
3.GRUP				
AZ91-KF-YAP.	34.41532	5162.25323	3.33625	0.8340634
AZ91-KF-PİM	34.69207	5203.81071	10.33162	2.582906
AZ91-KF-PİM-YAP.	38.57770	5786.65473	12.20614	3.051536

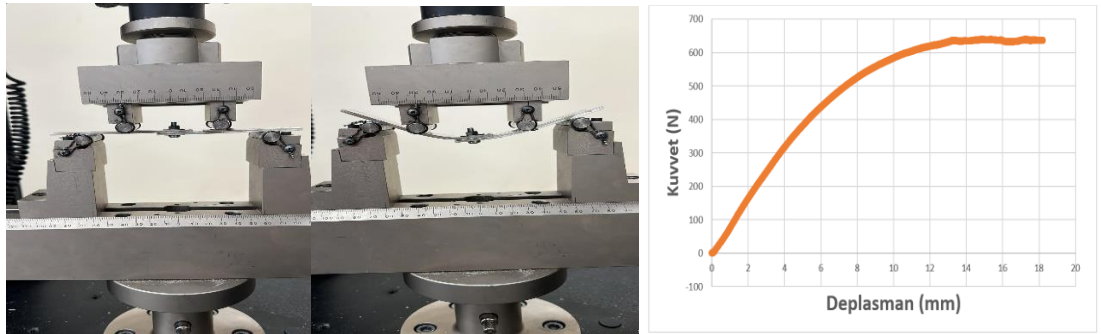
Tablo 5 incelendiğinde maksimum çekme gerilmesi ve maksimum çekme uzamasının civatalı-yapıştırırmalı numunelerde görüldüğü ve en yüksek çekme gerilmesi değerinin değerin AZ91-KF civatalı-yapıştırırmalı numunelerde ve maksimum uzama değerinin KF-KF civatalı-yapıştırırmalı numunelerde meydana geldiği belirlenmiştir. Yapıştırma bağlantıların çekme testi altında çekme kuvveti ve uzaması dikkate alındığında Yapıştırırmalı<Civatalı<Civatalı-yapıştırırmalı sıralamasında değerler aldığı görülmektedir.

5.2. Dört Nokta Eğme Testi



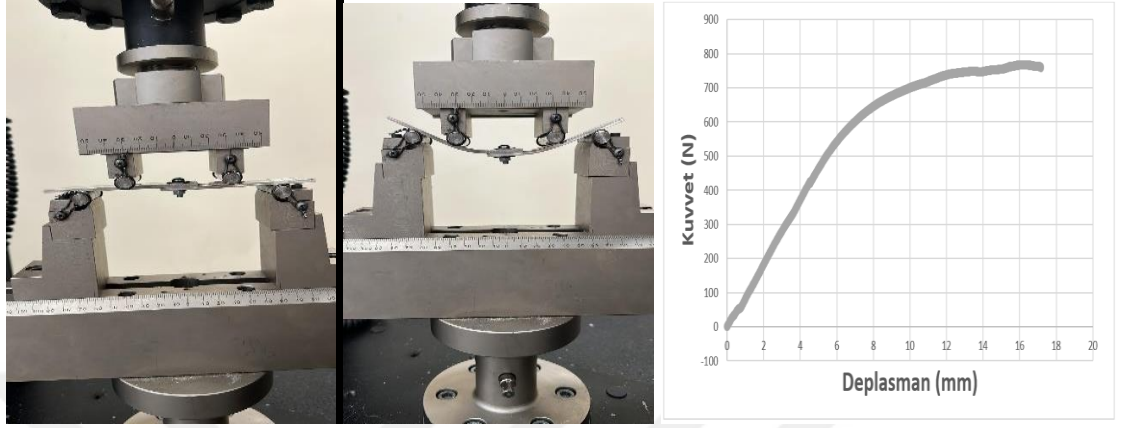
Şekil 26. AZ91-AZ91 yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği

(Bk. Şekil 26'da), AZ91-AZ91 yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~700 N) ve deplasman (~16mm) yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir.



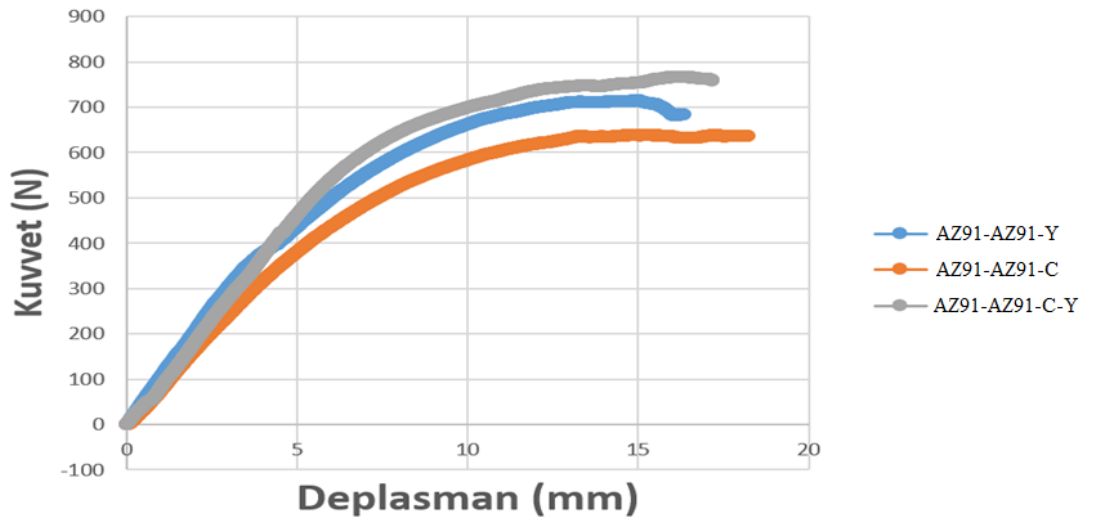
Şekil 27. AZ91-AZ91 civatalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 27’de, AZ91-AZ91 civatalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~650 N) ve deplasman (~18mm) civatada numunelerde görülmektedir.



Şekil 28. AZ91-AZ91 civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği

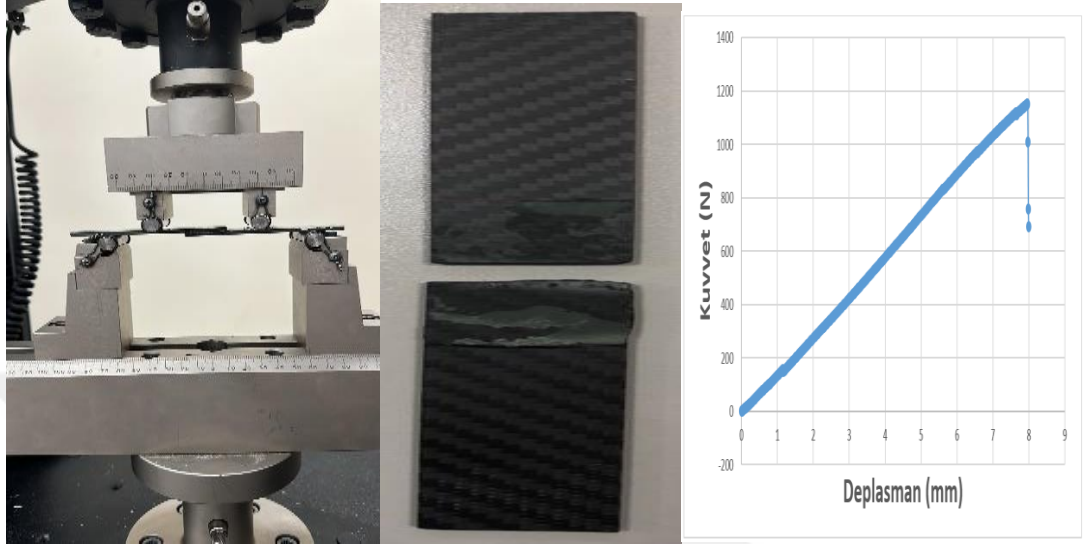
Şekil 28’de, AZ91-AZ91 civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~780 N) ve deplasman (~17mm) civatalı-yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir.



Şekil 29. AZ91-AZ91 yapıştırırmalı, civatalı, ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme testi kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 29’da AZ91-AZ91 yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi Kuvvet-Deplasman grafiği

görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~ 780 N) AZ91-AZ91-P-Y numunelerinde ve maksimum deplasman (~ 18 mm) civatalı numunelerde görülmektedir. Deplasman civatalı-yapıştırırmalı numunelerde de ~ 17 mm değeri ile de yüksek bir değer oranındadır.



Şekil 30. KF-KF yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği

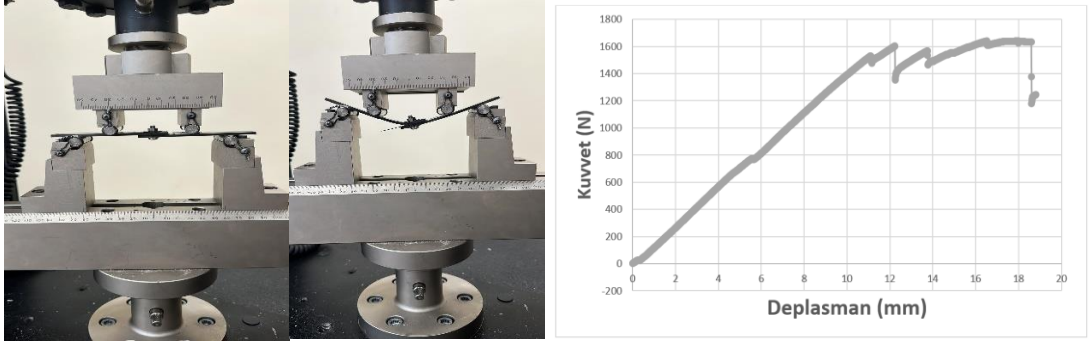
Şekil 30'da, KF-KF yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~ 1100 N) ve deplasman (~ 8 mm) yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir.



Şekil 31. KF-KF civatalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği

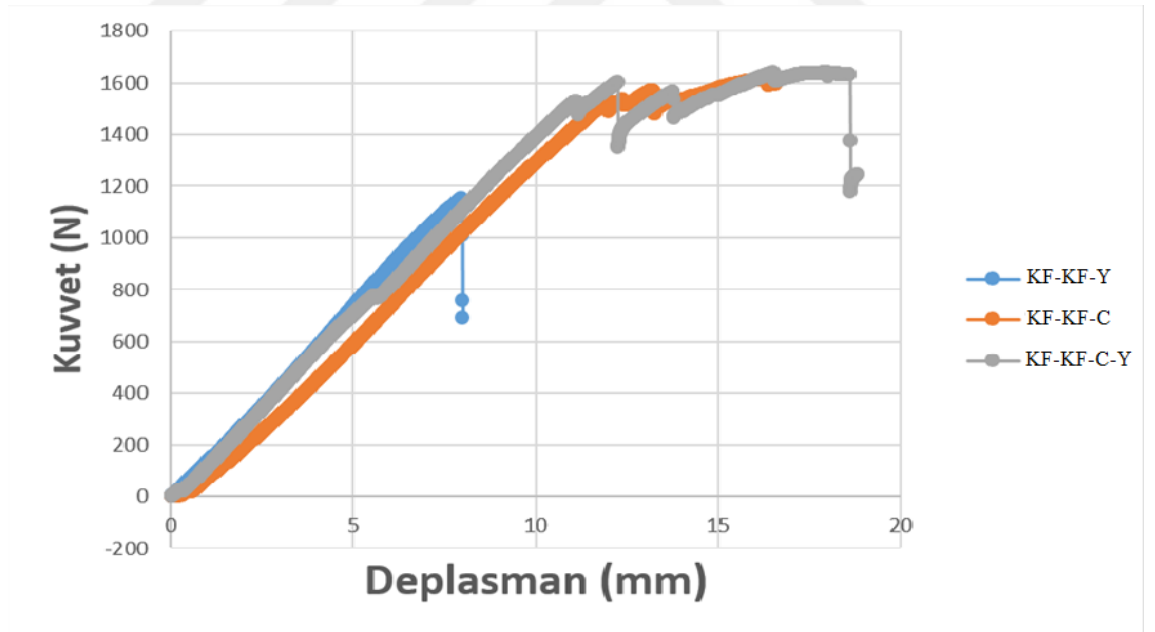
Şekil 31'de, KF-KF civatalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir.

Maksimum kesme kuvveti (~1600 N) ve deplasman (~17 mm) yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir.



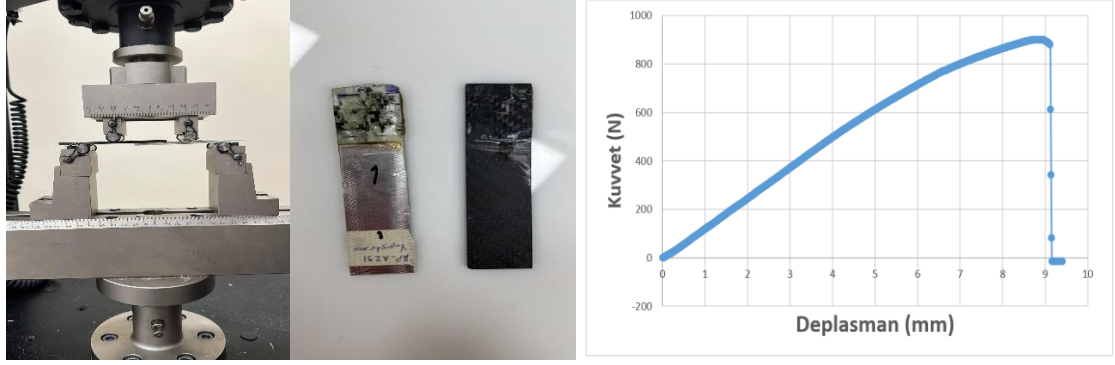
Şekil 32. KF-KF civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği

(Bk. Şekil 32'de), KF-KF civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~1600 N) ve deplasman (~17 mm) yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir.



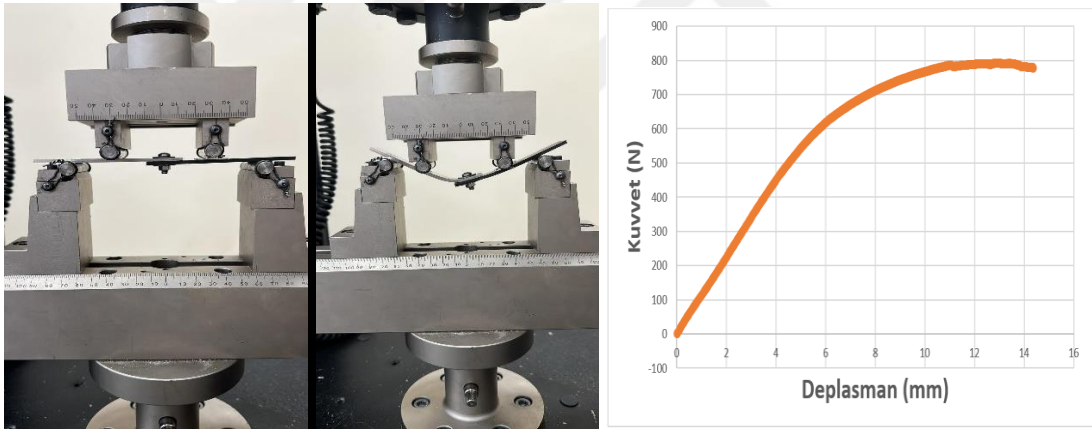
Şekil 33. KF-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme testi kuvvet-deplasman grafiği

(Bk. Şekil 33'de), KF-KF yapıştırırmalı, civata ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~1600 N) KF-KF-P-Y ve KF-KF-P numunelerinde ve maksimum deplasman (~17 mm) aynı numunelerde görülmektedir.



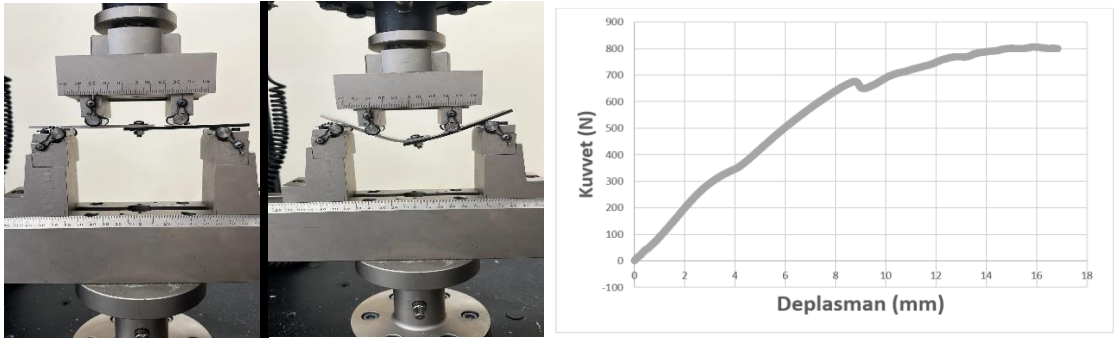
Şekil 34. AZ91-KF yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği

(Bk. Şekil 34'de), AZ91-KF yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~900 N) ve deplasman (~9 mm) yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir.



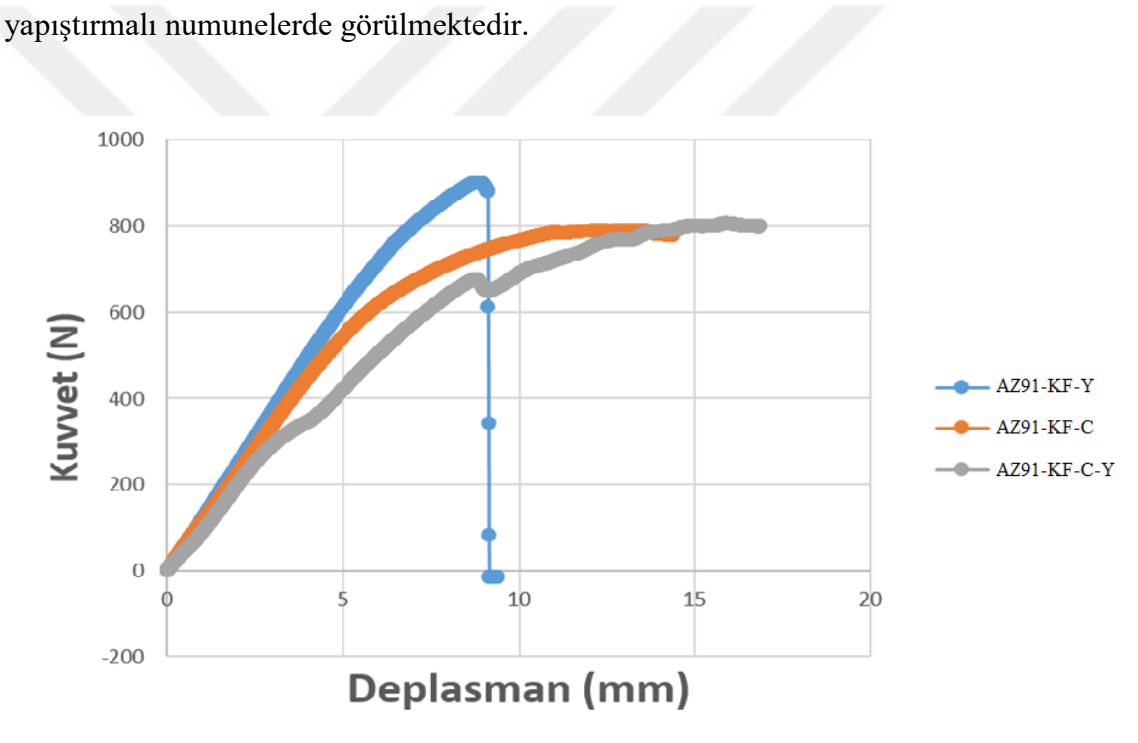
Şekil 35. AZ91-KF civatalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği

(Bk. Şekil 35'de), AZ91-KF civatalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~800 N) ve deplasman (~15 mm) yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir.



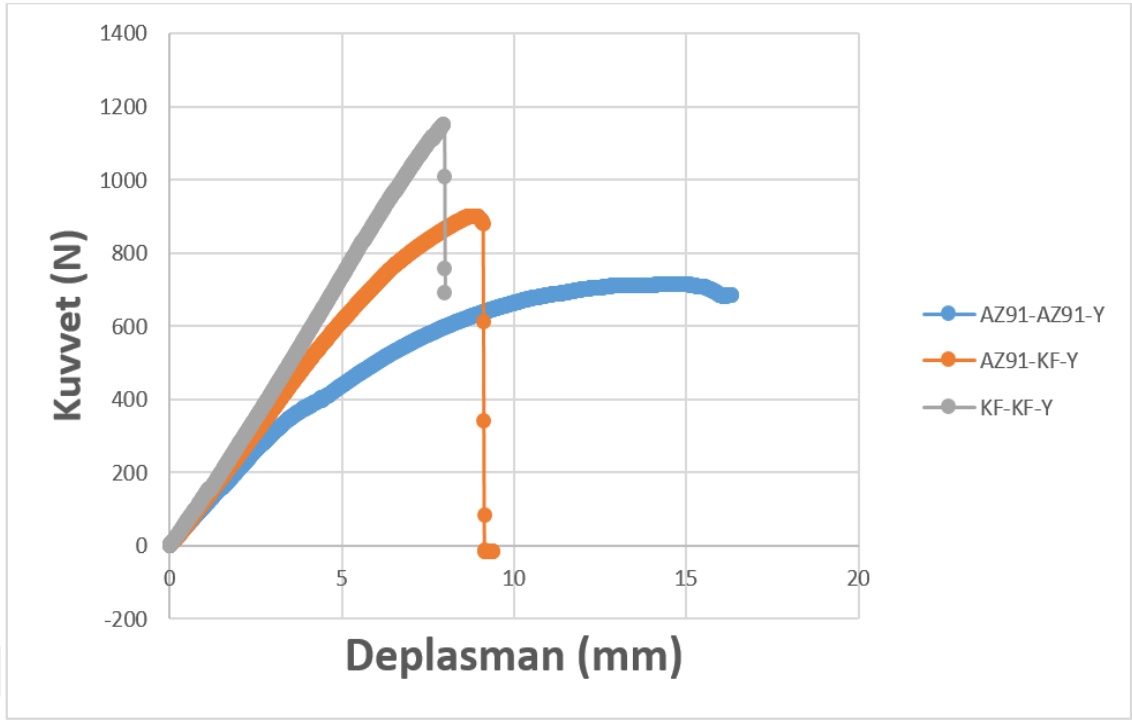
Şekil 36. AZ91-KF civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve kuvvet-deplasman grafiği

(Bk. Şekil 36'da), AZ91-KF civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüsü ve Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~800 N) ve deplasman (~17 mm) yapıştırırmalı numunelerde görülmektedir.



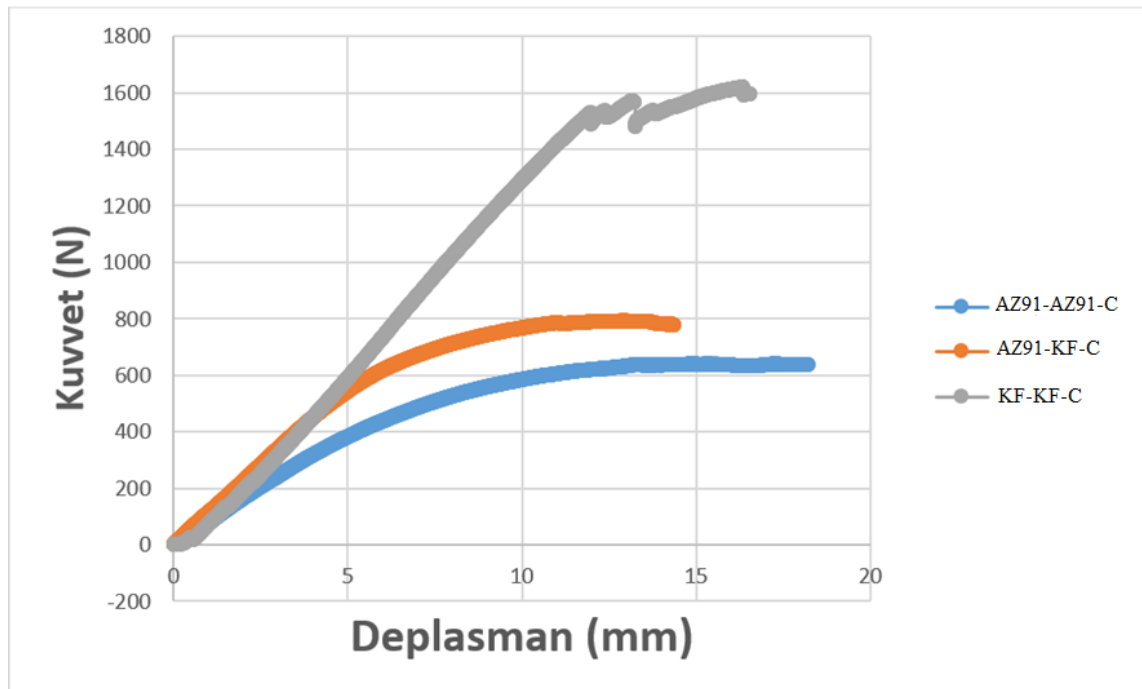
Şekil 37. AZ91-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantısının dört nokta eğme testi kuvvet-deplasman grafiği

(Bk. Şekil 37'de), AZ91-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti (~850 N) AZ91-KF-Y numunelerinde ve maksimum deplasman (~17 mm) AZ91-KF-P-Y numunelerde görülmektedir.



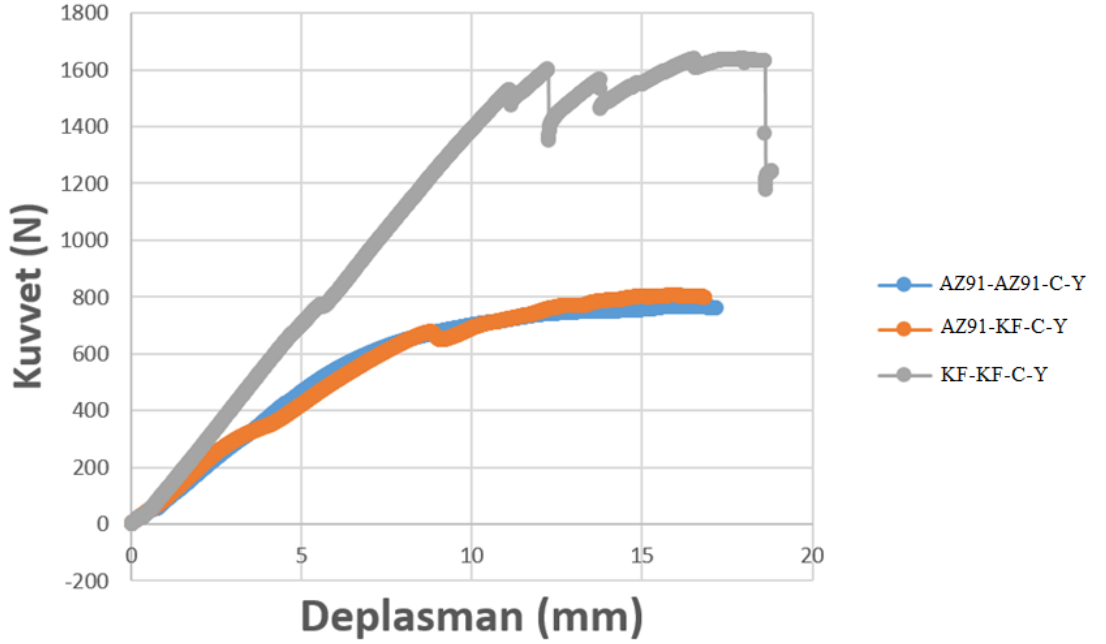
Şekil 38. AZ91-AZ91, AZ91-karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi kuvvet-deplasman grafiği

(Bk. Şekil 38'de), AZ91-AZ91, AZ91-KF, KF-Kf yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti ~1200 N ile KF-KF-Y numunelerinde ve maksimum deplasman ~16 mm ile AZ91-AZ91-Y numunelerinde görülmektedir.



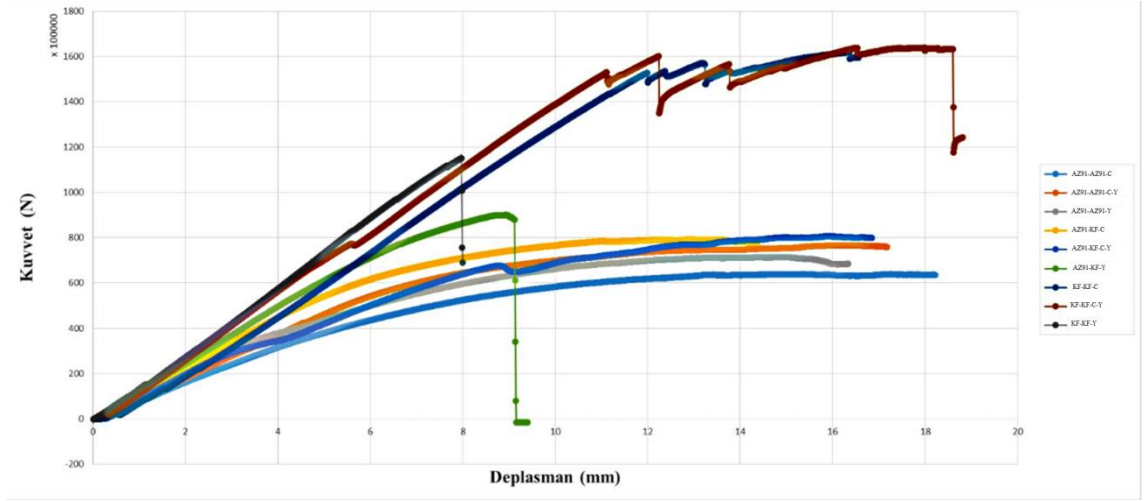
Şekil 39. AZ91-AZ91, AZ91-karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber civatalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi kuvvet-deplasman grafiği

(Bk. Şekil 39'da), AZ91-AZ91, AZ91-KF, KF-Kf civatalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti ~1600 N ile KF-KF-C numunelerinde ve maksimum deplasman ~18 mm ile AZ91-AZ91-C numunelerinde görülmektedir.



Şekil 40. AZ91-AZ91, AZ91-Karbon-Fiber ve Karbon Fiber-Karbon Fiber Civatalı-Yapıştırırmalı Tek Bindirmeli Plaka Bağlantılarının dört nokta Eğme Testi Kuvvet-Deplasman Grafiği

(Bk. Şekil 40'da), AZ91-AZ91, AZ91-KF, KF-Kf civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti ~1600 N ile KF-KF-C-Y numunelerinde ve maksimum deplasman ~18 mm ile KF-KF-C-Y numunelerinde görülmektedir.



Şekil 41. AZ91-AZ91, AZ91-karbon-fiber ve karbon fiber-karbon fiber yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının 4 nokta eğme testi kuvvet (f)-deplasman(mm) grafiği

(Bk. Şekil 41'de), AZ91-AZ91, AZ91-KF, KF-KF yapıştırırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi Kuvvet-Deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti ~1600 N ile KF-KF-C-Y numunelerinde ve maksimum deplasman ~18 mm ile KF-KF-C-Y numunelerinde görülmektedir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmada, tek bindirmeli yapıştırma ve civatalı-yapıştırma bağlantıları, AZ91 ve karbon fiber kompozit plakalarla olmak üzere farklı bağlantı şekilleriyle arkilik yapıştırıcısı kullanılarak meydana getirilmiştir. Oluşturan bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için çekme ve dört nokta eğme testleri yapılmıştır.

- AZ91-AZ91, AZ91-KF, KF-KF yapıştırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının çekme testi Kuvvet-Uzama değerlerine göre en yüksek maksimum çekme gerilmesi civatalı-yapıştırmalı numunelerde görüldüğü ve bu değer AZ91-KF civatalı-yapıştırmalı numunelerde meydana geldiği belirlenmiştir.

- En yüksek maksimum çekme uzamasının civatalı-yapıştırmalı numunelerde görüldüğü ve bu değer KF-KF civatalı-yapıştırmalı numunelerde meydana geldiği belirlenmiştir.

- Yapıştırma bağlantılarının çekme testi altında çekme kuvveti ve uzaması dikkate alındığında Civata-Yapıştırmalı>Civatalı>Yapıştırmalı sıralamasında değerler aldığı görülmektedir.

- AZ91-AZ91, AZ91-KF, KF-KF yapıştırmalı, civatalı ve civatalı-yapıştırmalı tek bindirmeli plaka bağlantılarının dört nokta eğme testi Kuvvet-Deplasman değerlerine göre maksimum kesme kuvveti değeri ~1600 N ile KF-KF civatalı-yapıştırmalı numunelerde belirlenmiştir.

- En yüksek maksimum deplasman değeri ~18 mm ile KF-KF civatalı-yapıştırmalı numunelerinde belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Abbey, K. J., ve Zalucha, D. J. (2012). The chemistry of structural adhesives: epoxy, urethane, and acrylic adhesives. *Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology*, 549-572.
- Adams, R. D. (Ed.). (2021). *Adhesive bonding: science, technology and applications*. Woodhead Publishing.
- Adams, R. D., Adams, R. D., Comyn, J., Wake, W. C. (1997). *Structural adhesive joints in engineering*. Springer Science ve Business Media.
- Adin, H. (2007). Yapıştırıcı ile birleştirilmiş ters Z tipi kompozit malzeme bağlantılarının mekanik analizi/Mechanical analysis of adhesive with bonded inverse Z type ties of composite materials.
- Aghion, E., Bronfin, B., ve Eliezer, D. (2001). The role of the magnesium industry in protecting the environment. *Journal of materials processing technology*, 117(3), 381-385.
- Angelidi, M., Vassilopoulos, A. P., ve Keller, T. (2017). Ductility, recovery and strain rate dependency of an acrylic structural adhesive. *Construction and Building Materials*, 140, 184-193.
- ASTM, I. (2007). Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. *ASTM D790-07*.
- Astm, D. (2005). 1002-05. Standard test method for apparent Shear strength of single-lap-joint adhesively bonded metal specimens by tension loading (metal-to-metal). *Annu. Book ASTM Stand.*
- Aydin, M. D., Özel, A., ve Temiz, Ş. (2005). The effect of adherend thickness on the failure of adhesively-bonded single-lap joints. *Journal of adhesion science and technology*, 19(8), 705-718.
- Banea, M. D., ve da Silva, L. F. (2009). Adhesively bonded joints in composite materials: an overview. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 223(1), 1-18.
- Banea, M. D., da Silva, L. F. M., ve Campilho, R. D. (2015). The effect of adhesive thickness on the mechanical behavior of a structural polyurethane adhesive. *The Journal of Adhesion*, 91(5), 331-346.
- Bayer, I. S., Brown, A., Steele, A., ve Loth, E. (2009). Transforming anaerobic adhesives into highly durable and abrasion resistant superhydrophobic organoclay

- nanocomposite films: a new hybrid spray adhesive for tough superhydrophobicity. *Applied Physics Express*, 2(12), 125003.
- Briggs, P. C., ve Jialanella, G. L. (2010). Advances in acrylic structural adhesives. *Advances in structural adhesive bonding*, 132-150.
- Caeg, C., Leinfelder, K. F., Lacefield, W. R., ve Bell, W. (1990). Effectiveness of a method used in bonding resins to metal. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 64(1), 37-41.
- Colombi, P., ve Poggi, C. (2006). Strengthening of tensile steel members and bolted joints using adhesively bonded CFRP plates. *Construction and Building Materials*, 20(1-2), 22-33.
- Coover, H. W., Dreifus, D. W., ve O'Connor, J. T. Handbook of Adhesives, edited by I. Skeist,(1990).
- Custódio, J., Broughton, J., ve Cruz, H. (2009). A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints. *International journal of adhesion and adhesives*, 29(2), 173-185.
- Czerwinski, F. (Ed.). (2011). *Magnezyum alaşımları: tasarım, işleme ve özellikler*. BoD – İsteğe Bağlı Kitaplar.
- Da Silva, L. F., Öchsner, A., ve Adams, R. D. (2018). Introduction to adhesive bonding technology. In *Handbook of adhesion technology* (pp. 1-7). Springer, Cham.
- Da Silva, L. F., Pirondi, A., ve Öchsner, A. (Eds.). (2011). *Hybrid adhesive joints* (Vol. 6). Springer Science ve Business Media.
- Davis, G. D. (1993). Contamination of surfaces: origin, detection and effect on adhesion. *Surface and interface analysis*, 20(5), 368-372.
- De Morais, A. B., Pereira, A. B., Teixeira, J. P., ve Cavaleiro, N. C. (2007). Strength of epoxy adhesive-bonded stainless-steel joints. *International journal of adhesion and adhesives*, 27(8), 679-686.
- De Moura, M. F. D. S., de Morais, A. M. B., ve de Magalhães, A. G. (2005). *Materiais compósitos: materiais, fabrico e comportamento mecânico*.
- Dillard, D. A. (Ed.). (2010). *Advances in structural adhesive bonding*. Elsevier.
- Dorn, L. (1994). Adhesive Bonding-Terms and Definitions. *TALAT Lecture*, 4701.
- Dos Santos, J. A. S. (2016). *Fatigue Strength of Friction Stir Weldbonded Single Lap Joints* (Doctoral dissertation, Universidade do Porto (Portugal)).
- Dragoni, E., ve Mauri, P. (2000). Intrinsic static strength of friction interfaces augmented with anaerobic adhesives. *International journal of adhesion and adhesives*, 20(4), 315-321.

- Ebnesajjad, S. (2011). Characteristics of adhesive materials. In *Handbook of adhesives and surface preparation* (pp. 137-183). William Andrew Publishing.
- Ebnesajjad, S. (2010). *Handbook of adhesives and surface preparation: technology, applications and manufacturing*. William Andrew.
- Ekrem, M. (2015). Karbon nanotüp ve polivinil alkol nanoelyafla güçlendirilmiş epoksi yapıştırıcıların alüminyum bağlantılar üzerindeki kırılma davranışları.
- Engin, A. (2003). Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirme bağlantılarında hasar bölgesi oluşumu ve gelişiminin incelenmesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri*.
- Faneco, T. M. S., Campilho, R. D. S. G., Silva, F. J. G., ve Lopes, R. M. (2017). Strength and fracture characterization of a novel polyurethane adhesive for the automotive industry. *Journal of Testing and Evaluation*, 45(2), 398-407.
- Kadioglu, F., ve Es-Souni, M. (2003). Use of thin adherends in adhesively bonded joints under different loading modes. *Science and technology of welding and joining*, 8(6), 437-442.
- Garcia, R., ve Prabhakar, P. (2017). Bond interface design for single lap joints using polymeric additive manufacturing. *Composite Structures*, 176, 547-555.
- Gediktaş, M. (1995). Makine Elemanları Bağlama Elemanları. *Konstrüksiyon ve Hesap*, 4, 104-119.
- Gualberto, H. R., do Carmo Amorim, F., ve Costa, H. R. M. (2021). A review of the relationship between design factors and environmental agents regarding adhesive bonded joints. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(8), 389.
- Gültekin, K., Akpınar, S., ve Özel, A. (2014). The effect of the adherend width on the strength of adhesively bonded single-lap joint: Experimental and numerical analysis. *Composites Part B: Engineering*, 60, 736-745.
- Grant, L. D. R., Adams, R. D., ve da Silva, L. F. (2009). Experimental and numerical analysis of single-lap joints for the automotive industry. *International journal of adhesion and adhesives*, 29(4), 405-413.
- Higgins, A. (2000). Adhesive bonding of aircraft structures. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 20(5), 367-376.
- Hirsch, J. (2014). Recent development in aluminium for automotive applications. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24(7), 1995-2002.

- Hisao, W. (2006). Trend of Research and Development for Magnesium Alloys. *Science and Technology Trends, Quarterly Review*, 18, 84-97.
- Huang, H., Yang, C., Tomblin, J. S., ve Harter, P. (2002). Stress and failure analyses of adhesive-bonded composite joints using ASTM D3165 specimens. *Journal of Composites, Technology and Research*, 24(2), 93-104.
- Huang, X. (2009). Fabrication and properties of carbon fibers. *Materials*, 2(4), 2369-2403.
- Kandemir, K., ve Can, A. Ç. (2003). Otomotiv Endüstrisi İçin Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Potansiyeli. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 37-45.
- Karabudak, F. (2023). High-cycle fatigue and tensile strength of AZ91 Mg alloy with MAO-epoxy duplex coating. *Metallic Materials/Kovové Materiály*, 61(2).
- Kinloch, A. J. (1987). *Adhesion and adhesives: science and technology*. Springer Science ve Business Media.
- Leggat, P. A., Smith, D. R., ve Kedjarune, U. (2007). Surgical applications of cyanoacrylate adhesives: a review of toxicity. *ANZ journal of surgery*, 77(4), 209-213.
- Liao, L., Huang, C., ve Sawa, T. (2013). Effect of adhesive thickness, adhesive type and scarf angle on the mechanical properties of scarf adhesive joints. *International Journal of Solids and Structures*, 50(25-26), 4333-4340.
- Lin, S. B. (1994). Addition-cured silicone adhesive technology: Vinyl silicone crosslinker. *Journal of applied polymer science*, 54(13), 2135-2145.
- Newcomb, B. A. (2016). Processing, structure, and properties of carbon fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 91, 262-282.
- Okamoto, Y. (1990). Anaerobic adhesive cure mechanism-I. *The Journal of adhesion*, 32(4), 227-235.
- Parvatareddy, H. (1997). *Durability of polyimide adhesives and their bonded joints for high-temperature applications* (Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University).
- Pethrick, R. A. (2012). Composite to metal bonding in aerospace and other applications. In *Welding and joining of aerospace materials* (pp. 288-319). Woodhead Publishing.
- Petrie, E. M. (2000). Adhesive Classification. *Handbook of adhesives and sealants*, 279-318.

- Polmear, I. J. (1994). Magnesium alloys and applications. *Materials science and technology*, 10(1), 1-16.
- Prasad, S. S., Prasad, S. B., Verma, K., Mishra, R. K., Kumar, V., ve Singh, S. (2022). The role and significance of Magnesium in modern day research-A review. *Journal of Magnesium and Alloys*, 10(1), 1-61.
- Pulsar Kimya, (2022). *Acrytron IE1*. <https://pulsar.com.tr/kimya/product/acrytron-1e1/>
- Rahman, N. M., ve Sun, C. T. (2014). Strength calculation of composite single lap joints with Fiber-Tear-Failure. *Composites Part B: Engineering*, 62, 249-255.
- Reis, P. N., Ferreira, J. A. M., ve Antunes, F. (2011). Effect of adherend's rigidity on the shear strength of single lap adhesive joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(4), 193-201.
- Sayman, O. (2012). Elasto-plastic stress analysis in an adhesively bonded single-lap joint. *Composites Part B: Engineering*, 43(2), 204-209.
- Schmidt, R. G., ve Bell, J. P. (2005). Epoxy adhesion to metals. *Epoxy resins and composites II*, 33-71.
- Smith, M. (2018). New developments in carbon fiber. *Reinforced Plastics*, 62(5), 266-269.
- Snorgen, R. C. (1974). *Handbook of surface preparation*.
- Stagon, S., Knapp, A., Elliott, P., ve Huang, H. (2016). Metallic glue for ambient environments making strides: advancements in nanoscience are making it possible to metallically glue two solids together at room temperature, in air, and under a small amount of mechanical pressure. *Advanced Materials & Processes*, (1), 22-26.
- Staudt, Y., Odenbreit, C., ve Schneider, J. (2018). Failure behaviour of silicone adhesive in bonded connections with simple geometry. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 82, 126-138.
- Şekercioğlu, T., ve Özenç, M. (2012). Metallerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi. *Engineer & the Machinery Magazine*, (627).
- Vietri, U., Guadagno, L., Raimondo, M., Vertuccio, L., ve Lafdi, K. (2014). Nanofilled epoxy adhesive for structural aeronautic materials. *Composites Part B: Engineering*, 61, 73-83.
- Wang, R. M., Zheng, S. R., ve Zheng, Y. P. G. (2011). *Polymer matrix composites and technology*. Elsevier.

- Wei, L., Zhou, H. W., Zhang, L., ve Huang, Y. N. (2013). The application of reed-vibration mechanical spectroscopy for liquids to detect chemical reactions of an acrylic structural adhesive. *Chinese Physics B*, 22(9), 096201.
- You, M., Yan, Z. M., Zheng, X. L., Yu, H. Z., ve Li, Z. (2008). A numerical and experimental study of adhesively bonded aluminium single lap joints with an inner chamfer on the adherends. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 28(1-2), 71-76.



ÖZGEÇMİŞ

İlk , orta ve lise eğitimini Gümüşhane’de tamamladı. Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı nda Tezli Yüksek Lisans eğitimine başladı. Bu sürede Gümüşhane’de maden firmasında bakım onarım şefi olarak çalıştı.

