

**T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ  
SİLİNDİRİK GEÇMELİ ÇELİK BAĞLANTILARIN  
MEKANİK ANALİZLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MUHAMMED TALHA ACAR**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI  
Prof. Dr. Aydın TURGUT**

**BİNGÖL-2020**



T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ SİLİNDİRİK GEÇMELİ ÇELİK  
BAĞLANTILARIN MEKANİK ANALİZLERİ**

Prof. Dr. Aydın TURGUT danışmanlığında, Muhammed Talha ACAR tarafından hazırlanan bu çalışma 14/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Aydın TURGUT

İmza :

Üye : Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Adem YAR

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun ...../ ...../ ..... tarih ve ...../.....  
nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Doç. Dr. Zafer ŞİAR**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında ve yüksek lisans öğrenimim süresinde her konuda yardım ve desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Aydın TURGUT beyefendiye, yüksek lisans tezimde kullanacağım yapıştırıcıların mekanik özellikleri konusunda ve teknik konuda ciddi yardımı olan Dr. Öğr. Üyesi Sinan AYDIN hocama ve verdiği teknik bilgi ve destek ile tezimin hazırlanmasında büyük katkıları olan Sayın Doç. Dr. M. Yavuz SOLMAZ hocama, deney aşamasında desteklerini esirgemeyen kıymetli dostlarım inşaat mühendisi Burak CEBİR, makine mühendisi Nusret ÖZBAŞ, mekatronik yüksek mühendisi Fatih YÜCELİŞLİ, endüstri mühendisi Semih TEKAY, Ömer BULUT, Muhammed Ali AKKAYA, Aykut GÜLTEPE, Hakan KARABULUT, Emre KURT, Ömer Faruk BULUT ve Alican TOPALOĞLU'na, laboratuvarında deneylerimi yapmam için imkan sağlayan Elazığ Analiz laboratuvarından Ali ÖREN'e, her daim desteğini esirgemeyen Dr. Ayhan İNAK'a, maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme gönül dolusu teşekkürü bir borç bilirim.

**Muhammed Talha ACAR**  
**BİNGÖL-2020**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Literatür Araştırması .....	2
1.2. Yapıştırma ve Yapışma Mekanizması .....	8
1.2.1. Adhezyon Kuvveti .....	8
1.2.1.1. Adhezyon Teorileri .....	9
1.2.2. Kohezyon Kuvveti .....	10
1.3. Yüzey birleştirme Yöntemleri .....	11
1.3.1. Mekanik Birleştirme .....	11
1.3.2. Termal Birleştirme .....	11
1.3.3. Yapıştırıcı ile Birleştirme .....	11
1.4. Yapıştırıcı ile Birleştirmede Tasarım Esasları .....	12
1.4.1. Yapıştırıcı .....	13
1.4.2. Yapıştırılacak Malzeme .....	13
1.4.3. Çalışma Ortamı .....	13
1.4.4. Yük .....	13
1.4.5. Ek Yeri Tasarımı .....	14
1.5. Yapıştırıcı Bağlantılarının Optimize Edilmesi .....	16
1.6. Yapıştırma Yüzeylerini Hazırlama ve Ön İşlemler .....	18

1.7. Islatılabilirlik Testi .....	18
1.8. Yapıştırma Bağlantılarının Sökülmesi .....	19
1.9. Dayanıklılık .....	19
1.10. Yapıştırıcı Çeşitleri .....	19
1.10.1. Kimyasal açıısından yapıştırıcılar .....	20
1.10.1.1. Kimyasal Reaksiyon ile Sertleşen Yapıştırıcılar .....	20
1.10.1.1.1. Anaerobikler .....	20
1.10.1.1.2. Siyanoakrilatlar .....	22
1.10.1.1.3. Akrilikler .....	23
1.10.1.1.4. Silikonlar .....	24
1.10.1.1.5. Poliüretanlar .....	25
1.10.1.1.6. Epoksiler .....	25
1.10.1.1.7. Fenolikler .....	26
1.10.1.2. Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar .....	26
1.10.2. Formları Açısından Yapıştırıcılar .....	26
1.11. Yapıştırmayı Etkileyen Faktörler .....	26
1.12. Yapıştırıcı ile Birleştirme Şekilleri .....	27
1.13. Yapıştırma Bağlantılarında Görülen Hasar Tipleri .....	27
2. MATERYAL VE YÖNTEM .....	29
2.1. Yapıştırıcı ile Birleştirilen Metal Malzemelerin Mekanik Özellikleri .....	29
2.2. Kullanılan Yapıştırıcılar ve Özellikleri .....	32
2.2.1. Devcon A Plastik-Çelik Macun Epoksi .....	32
2.2.2. Devcon Titanyum Plastik-Çelik Macun Epoksi .....	33
2.2.3. Akfix E300 Suya Dayanıklı Plastik Epoxy Yapıştırıcı .....	34
2.2.4. Erde GTR .....	35
2.3. Yapıştırıcıların Gerilme-Şekil Değişirme Özellikleri .....	35
2.4. Ansys Sonlu Elemanlar Yazılımı .....	46
2.5. Sayısal Analiz .....	46
3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	51
3.1. Giriş .....	51
3.2. Deneysel ve Sayısal Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar .....	51

3.3. Alın Çapının ve Kalınlığın Bağlantı Dayanımı Üzerinde Etkisi .....	56
3.3.1. Devcon A .....	56
3.3.2. Devcon Titanyum .....	58
3.3.3. Akfix E300 .....	60
3.3.4. Erde GTR .....	62
3.3.5. Yapıştırıcılar Arası Kıyaslama .....	64
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	69
KAYNAKLAR .....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	75



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\tau$	: Kayma gerilmesi
$\sigma$	: Normal gerilme
$\sigma_{eş}$	: Von-Mises eşdeğer gerilmesi
$\tau_{ort}$	: Ortalama Kayma gerilmesi
<b>E</b>	: Elastisite modülü
<b>G</b>	: Kayma modülü
$\nu$	: Poisson oranı
<b>R<sub>a</sub></b>	: Yüzey pürüzlülüğü
<b>AH</b>	: Adhezyon hasarı
<b>KH</b>	: Kohesiv hasar
$\sigma_{ger}$	: Gerçek gerilme
$\epsilon$	: Normal şekil değişimi
$\epsilon_{ger}$	: Gerçek şekil değişimi
$\epsilon_{müh}$	: Mühendislik şekil değişimi
<b>P</b>	: Yük
<b>l</b>	: Numune boyu
$\Delta l$	: Toplam uzama
<b>A</b>	: Yapıştırma alanı
<b>b</b>	: Numune genişliği
<b>h</b>	: Numune yüksekliği
<b>t</b>	: Yapıştırıcı kalınlığı
<b>r</b>	: Birleşme yüzeyinin alın çapı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Bindirme uzunluğu ve genişliğinin hasar yüküne etkisi .....	4
Şekil 1.2. Kayma dayanımı ve (L/T) arasındaki ilişki .....	6
Şekil 1.3. Yapıştırma bölgesinde oluşan kuvvetler .....	8
Şekil 1.4. Yüzey birleştirme yöntemleri ve gerilme dağılımları .....	12
Şekil 1.5. Yapıştırma bağlantılarındaki yükler ve gerilme dağılımları .....	14
Şekil 1.6. Yapıştırma bağlantılarındaki soyulma yüklerinin dönüştürülmesi .....	15
Şekil 1.7. Yapıştırma alanı artırma örnekleri .....	15
Şekil 1.8. Yapıştırma bölgesinde eğilme momenti oluşumu.....	16
Şekil 1.9. Eksantrik kuvvetlerden kaynaklanan problemlerin muhtelif çözümleri.....	16
Şekil 1.10. Ek yeri genişliği ile kopma yükü arasındaki ilişki.....	17
Şekil 1.11. Bindirme uzunluğu ile kopma yükü arasındaki ilişki .....	17
Şekil 1.12. Yapıştırma yüzeylerindeki kirlerin yapıştırma işlemine etkisi .....	18
Şekil 1.13. Islatılabilirlik testi .....	19
Şekil 1.14. Anaerobik reaksiyon ile kürleşen yapıştırıcıların kürleşme işlemi .....	21
Şekil 1.15. Kürleşme hızını etkileyen faktörler .....	21
Şekil 1.16. Bağıl nemin bir fonksiyonu olarak siyanoakrilat yapıştırıcıların kürleşmesi .	22
Şekil 1.17. Siyanoakrilatların kürleşme mekanizması .....	22
Şekil 1.18. Yapıştırıcı ile aktivatörün uygulanış yöntemleri.....	23
Şekil 1.19. Kürleşme hızı - bağıl nem ilişkisi .....	24
Şekil 1.20. Silikonla yapıştırılmış tipik ek yeri .....	24
Şekil 1.21. Yapıştırıcı ile birleştirme şekilleri .....	27
Şekil 1.22. Yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar tipleri .....	28
Şekil 2.1. Bağlantı parçaları .....	29
Şekil 2.2. Deney numuneleri ölçüleri.....	31
Şekil 2.3. Bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı .....	36
Şekil 2.4. Bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı .....	36
Şekil 2.5. Bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı .....	37



Şekil 2.6. Bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı .....	38
Şekil 2.7. Yapıştırma bağlantıları.....	41
Şekil 2.8. Üniversal test cihazı.....	42
Şekil 2.9. Deney numunesinin test cihazına bağlanması .....	43
Şekil 2.10. Çekme deneyi sonucunda bağlantısının kopması .....	44
Şekil 2.11. Çekme deneyi verilerinin alınması .....	44
Şekil 2.12. Çekme deneyi gerçekleştirilmiş numuneler.....	45
Şekil 2.13. Modellerin perspektif görünüşü.....	47
Şekil 2.14. Modellerin meshlenmiş hali.....	48
Şekil 2.15. Yapıştırıcının meshlenmiş hali .....	48
Şekil 2.16. Ansys programında kopma anı .....	49
Şekil 2.17. Gerime Şekil Dağılımı .....	50
Şekil 3.1. Çekme deneyi sonucu numunelerin son hali .....	52
Şekil 3.2. Devcon A için yapıştırıcı alanına bağlı olarak hasar yükü dağılımı.....	56
Şekil 3.3. Devcon A için deneysel hasar yükü ile ansys hasar yükü kıyaslaması.....	57
Şekil 3.4. Devcon Titanyum için yapıştırıcı alanına bağlı olarak hasar yükü dağılımı ....	58
Şekil 3.5. Devcon Titanyum deneysel hasar yükü ile ansys hasar yükü kıyaslaması.....	59
Şekil 3.6. Akfix E300 için yapıştırıcı alanına bağlı olarak hasar yükü dağılımı .....	60
Şekil 3.7. Akfix E300 için deneysel hasar yükü ile ansys hasar yükü kıyaslaması .....	61
Şekil 3.8. Erde GTR için yapıştırıcı alanına bağlı olarak hasar yükü dağılımı.....	62
Şekil 3.9. Erde GTR için deneysel hasar yükü ile ansys hasar yükü kıyaslaması .....	63
Şekil 3.10. Yapışma alanına göre deneysel hasar yükü dağılımı .....	64
Şekil 3.11. Deneysel hasar yükünün çapa ve kalınlığa göre değişimi .....	65
Şekil 3.12. Yapıştırıcıların çapa ve kalınlığa göre ansys'de hasar yükü dağılımı .....	66
Şekil 3.13. Yapışma alanının şekline göre hasar yükü dağılımı .....	67
Şekil 3.14. Yaklaşım oranı dağılımı.....	68

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Adhezyon teorileri .....	9
Tablo 2.1. DeneY parametreleri.....	30
Tablo 2.2. Bağlantı parçalarının mekanik özellikleri.....	32
Tablo 2.3. Devcon A teknik özellikler .....	33
Tablo 2.4. Devcon Titanyum teknik özellikler .....	34
Tablo 2.5. Akfix E300 teknik özellikler.....	34
Tablo 2.6. Erde GTR teknik özellikler.....	35
Tablo 2.7. Erge GTR gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	39
Tablo 2.8. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri .....	40
Tablo 3.1. Deneysel yükleri ve ortalama kayma gerilmeleri .....	52
Tablo 3.1. Devam Deneysel yükleri ve ortalama kayma gerilmeleri.....	53
Tablo 3.2. Ansys edilen hasar yükleri ve yaklaşım oranları .....	54
Tablo 3.2. Devam Ansys edilen hasar yükleri ve yaklaşım oranları.....	55

# YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ SİLİNDİRİK GEÇMELİ ÇELİK BAĞLANTILARIN MEKANİK ANALİZLERİ

## ÖZET

Çalışmanın amacı; alın çapına, malzeme kalınlığına ve yapıştırıcı çeşidine bağlı olarak silindirik geçmeli malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırıcı ile birleştirilmenin etkisini tespit etmektir. Bu amaçla dört farklı alın çapında iki farklı malzeme kalınlığına sahip metal numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler dört farklı özelliğe sahip dört farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiştir. Yapıştırıcı ile birleştirilen numunelerin aksenal çekme deneyleri ile bağlantı mukavemetleri belirlenmiştir.

Tezin giriş bölümünde yapılan literatür çalışmalarına yer verilmiştir. İkinci bölümünde ise kullanılan materyaller ve özellikleriyle çalışma yöntemi açıklanmıştır. Son bölümde ise araştırma sonucunda elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

St 60 çeliğinden elde edilen numuneler Devcon Titanyum, Devcon A, Erde GTR ve Akfix E300 adlı dört farklı yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Elde edilen bağlantılar aksenal çekme deneyine tabi tutulmuştur. Sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlar deneysel sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; malzemenin kalınlığı ve yapıştırıcı ile birleşen alın çapı bağlantı mukavemetini arttırmış ve dairesel yapışma bölgesinin artmasıyla bağlantı mukavemeti olumlu yönde etkilenmiştir. Akfix E300 ile birleştirilen bağlantının mukavemetinin daha fazla olduğu, non-lineer özelliğe sahip Erde GTR'nin mukavemetinin ise en düşük olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapıştırıcı, alın çapı, silindirik geçmeli bağlantı, bağlantı mukavemeti.

# **ECHANICAL ANALYSIS OF CYLINDRICALLY-INTERLACED STEEL JOINTS BONDED WITH ADHESIVES**

## **ABSTRACT**

The aim of this study is to determine the effect of glue when using it to bind Cylindrical-linked objects, while doing that focusing on the diameter of the surface, the thickness of the material and the type of adhesive. For this purpose, metal samples of two different thicknesses with four different diameters were produced. The samples were combined with four different adhesive, each containing its own properties. The axial tensile tests of the samples bonded with adhesive are connected with the joint strengths.

In the introductory part of the thesis, the literature studies on this subject are explained. In the second part, the materials used and their properties and the method of study are explained. In the last section, the findings of the research are interpreted.

The samples obtained from St60 steel were bonded with four different adhesives named Devcon Titanium, Devcon A, Erde GTR and Akfix E300. The joints obtained were subjected to axial tensile test. The numerical results obtained using the finite element program were compared with the experimental results. When the results obtained were compared, it is seen that the numerical results are compatible with the experimental results.

As a result; the thickness of the material and the frontal diameter associated with the adhesive increased the bond strength and the bond strength was positively affected by the increase of the circular adhesion area. It was also found that the strength of the connection combined with Akfix E300 was higher and the non-linear property of Erde GTR had the lowest strength.

**Keywords:** Adhesive, surface diameter, cylindrical plug connection, bond strength.

## 1. GİRİŞ

Yapıştırıcı ile birleştirme; gerilmenin yapışan alanda düzenli dağılımı, yük transferinin yapıştırıcı bölgesinde sağlanması, mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması, sönüm kabiliyetinin yüksek olması, korozyona karşı kuvvetli direnç, tasarım ve montaj kolaylığı, farklı mekanik özelliklere sahip elemanların birleştirilmesi ve ekonomiklik gibi önemli sebeplerden dolayı çok kullanılan bağlantı elemanlarının yerine yapıştırıcı tercih edilmektedir. Endüstriyel alanda son zamanlarda özellikle de uzay sanayisinde ve havacılıkta kullanılmaktadır (Yıldırım, Apalak, Ekici 2008).

Kompozit malzemelerin kullanıldığı, hafifliğin istenildiği ve deformasyonun istenilmediği durumlarda yüksek mukavemet elde etmek için yapıştırıcı ile birleştirilme tercih edilmektedir. Boeing 747 uçak yüzeyinin %62'sinin yapıştırıcı ile birleştirilmiş olması yapıştırıcının önemini açıklamaktadır (Vaidya, Gautam, Hosur, Dutta 2006).

Yapılan çalışmaların birçoğunda tek veya çift bindirme ile yapıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmaların geometrileri basit olmalarına rağmen çok karışık gerilme özelliklerine sahip bağlantı tipleridir. Klasik mekanik yaklaşımı ile yapılan çalışmalar daha sonra sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılmıştır.

Klasik mekanik yaklaşımı ile yapılan çalışmalar ilk olarak Volkersen tarafından yapılmıştır.

Bazı sınırlamalar nedeniyle; yapıştırma ile birleştirilen malzemelerin mevcut teorilerle ve klasik mekanik yaklaşımları kullanılarak elde edilen çözümler, yapıştırıcı bağlantısının tam olarak ifade edilememesine neden olmuştur. Bu nedenle farklı bir yöntem olarak, sonlu elemanlar yöntemi yapıştırma bağlantısının analizinde kullanılmaya başlanmıştır (Volkersen 1938).

Sonlu elemanlar yöntemini yapıştırma ile birleştirme bağlantılarının analizinde ilk olarak Wooley ve Carver kullanmıştır. Bu çalışma ile birlikte birçok araştırmacı sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analizler yapmışlardır (Wooley, Carver 1971).

Yapıştırıcı ile yapılan malzemelerin birleştirilmesinde; normal, eğilme ve kayma gerilmelerinin etkilerinin de incelenmesi gerekmektedir.

Renton ve Vinson'un yaptıkları araştırmalarda iki kompozit plakadaki gerilme dağılımlarını incelenmişlerdir. Çalışma sonucunda yapıştırıcı ile birleştirilen malzemenin uç kısımlarında ve dik doğrultuda oluşan normal gerilmenin maksimum değere ulaştığı tespit edilmiştir. Uç kısımlara eğim verilmesinin ya da düşük dirence sahip yapıştırıcı kullanılmasının normal gerilmeyi azaltacağı tespit edilmiştir. Bindirme uzunluğunun artmasının ise normal ve kayma gerilmesini azaltacağı, bu etkinin belirli bir uzunluktan sonra olmayacağı belirtmişlerdir (Renton, Vinson 1975).

### **1.1. Literatür Araştırması**

Malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan yapıştırma bağlantılarının analizi karmaşık olup bu konuda yapılan çalışmalar 60 yılı aşkın bir süredir devam etmektedir. Bu konudaki çalışmalarda malzemeler lineer elastik malzeme olarak modellenmiş olup analitik, nümerik ve deneysel olarak çalışılmıştır. Daha sonraki yapılan çalışmalarda non-lineer plastik davranış gösteren malzemelerin analizlerinde karmaşık matematiksel işlemler gerektirdiğinden dolayı yapıştırıcıların elasto-plastik özellikleri ihmal edilmiştir.

Lineer olmayan özelliklerine göre ise sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözümler yapılmıştır.

Başlangıçta sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan çalışmalarda yapıştırıcının geometrik olarak lineer özellikte olduğu kabul edilmiştir. Uygulanan yükün etkisi ile yapıştırılan parçaların deformasyona uğramasından dolayı eğilme momentinin ortaya çıktığı ve lineer olmayan çözüm yapmayı gerektirdiği gözlemlenmiştir. Yapıştırılan numunelerin elasto-plastik özelliklerini kullanarak Volkersen, Goland ve Reissner'in teorilerini temel alarak bir yöntem geliştiren ilk araştırmacılar Hart ve Smith'tir.

Delale ve arkadaşları lineer olmayan özellikteki malzemeleri kullanarak, kapalı form çözümüyle yapıştırıcının kalınlığının aynı ve yapıştırılan bölgenin boyutlarının diğer boyutlara göre küçük olduğunu kabul etmişlerdir. Bu şekilde yapıştırıcı ile birleştirilen farklı malzemelerin gerilme durumlarını incelemişlerdir (Delale, Erdogan, Aydınoglu 1980).

Sawyer ve Cooper yaptıkları çalışmada uygulanan kuvvetin etkisiyle yapıştırıcı ile birleştirilen malzemelerin deforme olduğunu ve bağlantıdaki eğilme momentinin non-lineer özelliğinin etkisinde yüke bağlı olarak oluştuğunu tespit etmişlerdir (Sawyer, Cooper 1981).

Apalak ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada yapıştırıcı ile birleştirilen malzemelerin köşe bağlantılarının durumunu araştırmak için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlar ve malzemeyi lineer elastik olarak kabul etmişlerdir (Apalak, Davies 1993).

Li ve Lee-Sullivan, tekli bindirme bağlantılarında iki boyutlu sonlu elemanlar metodunu kullanarak teorik ve deneysel çalışmalarını kıyasladığı bir araştırmasında malzemeyi non-lineer ve geometrik olarak belirlemiştir. Bu çalışmalarında düzlem şekil değiştirme ve düzlem gerilme durumlarında yapıştırılan malzemedeki gerilmenin dağılımını incelemişlerdir (Li, Lee, Sullivan 2001).

Aydın ve arkadaşları, yapıştırıcı ile birleştirmede kullanılan malzemenin non-lineer malzeme davranışlarını göz önüne alarak tekli bindirme bağlantısındaki gerilme analizini incelemişlerdir. Yapılan araştırmada bağlantının yüzeyinde iki farklı hasar tipinin meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Yapıştırıcı tabakasının uçlarında oluşan soyulma gerilmesine çekmenin sebep olduğunu, bindirme bölgesinin merkezindeki yıkıcı bir hasara ise kayma gerilmesinin etkili olduğunu belirlemişlerdir (Aydın, Özel, Temiz 2005).

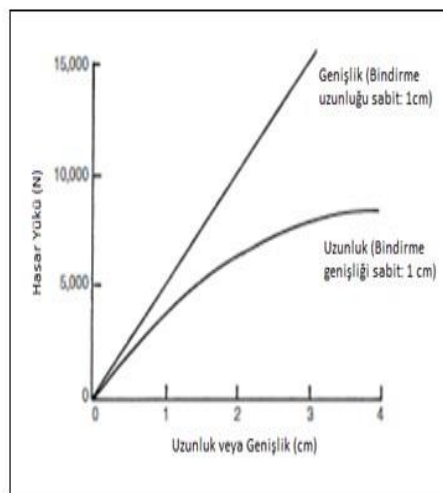
Sinan, yapmış olduğu çalışmada yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mukavemetine; bindirme mesafesi, yapıştırıcı kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü vb. faktörlerin etki ettiğini belirlemiştir (Aydın 2012).

Ojalvo ve Eidinoff; Goland ve Reissner'in çalışmalarından faydalanarak kısa bindirme mesafelerinde yapıştırıcı kalınlığının yapıştırıcı ile birleştirilecek parçalarda ve sert yapıştırıcılarda önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir (Ojalvo, Eidinoff 1978).

Li ve arkadaşları, mekanik özelliklerini inceledikleri T yapıştırma bağlantılarında; epoksi yapıştırıcı kullanarak iki çelik malzemeyi birleştirmişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığını 0,2 mm olarak sabit tutmuşlar ve bindirme mesafelerini 6-8-10-12-14-16 mm olarak belirleyerek bindirme mesafesinin etkisini araştırmışlardır. Maksimum gerilmeyi 6 mm bindirme mesafesinde elde etmişlerdir. 10 mm bindirme mesafesine kadar gerilmenin düştüğü 10 mm den sonra bindirme mesafesinin çok etkilemediğini tespit etmişlerdir (Li, Blunt, Stout 1997).

Hosseinzadeh, Taheri, Nemeş ve Lachaud, yapmış oldukları farklı çalışmalarda Li ve arkadaşlarının buldukları sonuçları destekler mahiyette bindirme mesafesinin maksimum gerilmeye etkisi belli bir uzunluğa kadar doğru orantılı olarak arttığını, belli bir mesafeden sonra ise pek etkilemediğini belirtmişlerdir (Hosseinzadeh, Taheri 2009) (Nemes, Lachaud 2010).

Shields, yapıştırıcı ile birleştirilen malzemelerde yapıştırıcı uzunluğu ve genişliğinin malzeme bağlantısındaki hasar yüküne etkisini Şekil 1.1'deki gibi göstermiştir (Shields 1984).



Şekil 1.1. Bindirme uzunluğu ve genişliğinin hasar yüküne etkisi (Shields 1984)



Şekil 1.1’de hasar yükünün 2 cm bindirme uzunluğuna kadar doğru orantılı olarak arttığını, 2 cm bindirme uzunluğundan büyük olan mesafede ise hasar yükünün aynı oranda etkilenmediğini ifade etmiştir.

Malzemelerin yapıştırıcı ile birleştirilmesinde yapıştırıcının kalınlığının etkisini ilk olarak Bascom ve arkadaşları incelemiştir (Bascom, Cottington, Timmons 1977).

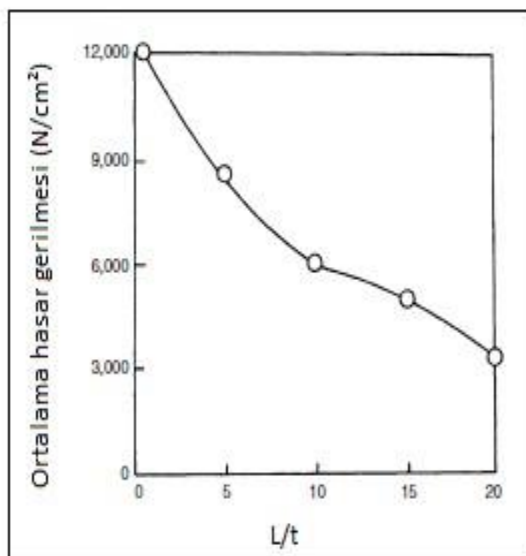
Kinloch ve Shaw, çalışmalarında çatlak ilerleme direncinin lineer elastik kırılma mekaniği testiyle farklı kalınlıklarda 3 mm kalınlığına kadar incelemişler ve yaklaşık 0,5 mm kalınlığının en uygun parça kalınlığı olduğunu tespit etmişlerdir (Kinloch, Shaw 1981).

Tamblin ve arkadaşları, 0,4-3 mm kalınlığındaki yapıştırıcılar ile kayma mukavemetinin yapıştırıcının kalınlığının artması ile azaldığını ifade etmişlerdir (Tamblin, Yang, Harter 2001).

Kırılma mekaniği konusunda yapılan araştırmaların analizlerinde;

- Bir takım araştırmacılar bağlantı mukavemetinin yapıştırıcının kalınlığının artması ile arttığını (Daghiyani, Ye, Mai 1995) (Kawashita, Kinloch, Moore, Williams 2008),
- Bir takım araştırmacılar ise yapıştırıcı kalınlığının etkisinin olmadığını (Bascom, Cottington, Jones, Peyser 1975) (Schmueser, Johnson 1990),
- Diğer bir grup araştırmacılar ise mukavemetin ters orantılı olarak azaldığını tespit etmişlerdir (Chai 1988) (Da Silva, Carbas, Critchlow, Figueiredo, Brown 2009).

Shields, Şekil 1.2’de belirtildiği gibi çalışmasında bindirme uzunluğunun (L), yapıştırıcı ile birleştirilen malzemenin kalınlığına (t), oranı (L/t) ile kayma dayanımı ilişkisini ifade etmiştir (Shields 1984).



Şekil 1.2. Kayma dayanımı ve (L/T) arasındaki ilişki (Shields 1984)

Şekil 1.2’de görüldüğü üzere bindirme mesafesi yapıştırılan malzemenin kalınlığından ne kadar büyük olursa ortalama hasar gerilmesinin de o kadar küçük olacağını tespit etmiştir. Buna göre sabit malzeme kalınlığında bindirme mesafesi ile ortalama hasar gerilmesi ters orantılıdır.

Venables, çalışmasında yapıştırıcı ile birleştirmede malzeme yüzeyinin özelliklerini ve yüzey pürüzlülüğünün etkisini araştırmıştır. Malzemenin yüzeyindeki gözenekler ve yüzeyindeki oksitlenmelerin yapıştırıcı ile birleştirme bağlantısını çok etkilediğini vurgulamıştır. Malzemenin yüzeyindeki oksit tabakanın ise yapıştırıcının mukavemetini azalttığını tespit etmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ise yapıştırıcının tutunma kuvvetini arttırdığından dolayı mukavemeti doğru orantılı olarak artırdığını belirtmiştir (Venables 1984).

Sancaktar ve Gomatam, yaptıkları çalışmalarda bağlantı yüzeylerinin pürüzlü olması gerektiğini ve 1,65-2 µm aralığında değere sahip olması gerektiğini belirtmişlerdir (Sancaktar, Gomatam 1998).

Hitchcock ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada yapıştırıcının viskozitesinin önemini araştırarak yüzey pürüzlülüğünün artmasının mukavemet ile doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir. Yapıştırıcının yüzeyi ıslatma kabiliyetini ile yapıştırma mukavemetinin doğru orantılı olduğunu tespit etmişlerdir (Hitchcock, Carroll, Nicholas 1981).

Shahid ve Hashim, yaptıkları çalışmalarda yarıma dayanımına yüzey pürüzlülüğünün etkisini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü  $R_a=0,04-6,31$   $\mu\text{m}$  olarak belirledikleri yumuşak çelik malzemeleri polisaj ve zımparalama ile aşındırarak 0.5 mm sabit kalınlıktaki yapıştırıcı ile birleştirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün artması ile gerilme dayanımının parlak yüzeye oranla %30 civarında arttığını ve yarıma dayanımının ise yüzey pürüzlülüğü ile arttığını tespit etmişlerdir (Shahid, Hashim 2002).

Turgut ve Sancaktar, kompozit malzemelerde fiber-matris yapışması üzerine kürleşmenin ve yükleme durumlarının etkilerini incelemişlerdir (Turgut, Sancaktar 1991).

Genel olarak yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların mukavemeti; birleşen parçaların büyüklüğüne, kalınlığına, geometrisine, elastisite modülüne yapıştırıcının kayma modülüne, yapışma uzunluğuna, yapışma yüzeylerinin ön işlemlerine, yapışma işlemine ve yapıştırıcı birleştirmeli bağlantının maruz kalacağı çevresel şartlara bağlıdır (Solmaz 2008).

Bu tezin amacı ise, yapıştırıcı ile birleştirilmiş silindirik geçmeli çelik bağlantılarda malzemenin kalınlığı ve alın çapının çekme dayanımına etkisi incelenmiştir.

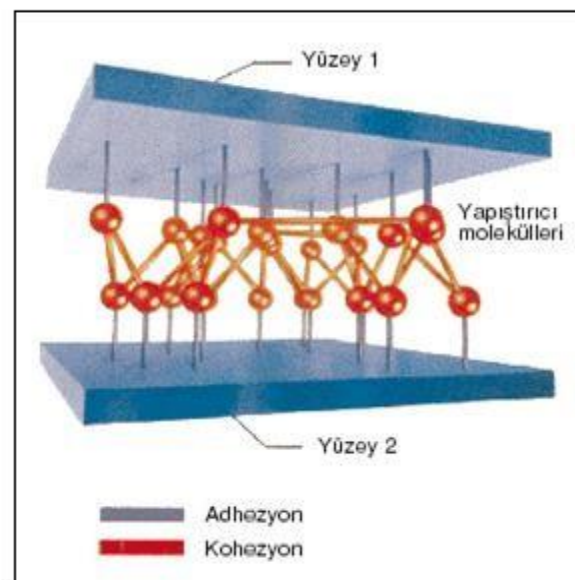
Deney numunelerinin bağlantısında iki farklı malzeme kalınlığı, 4 farklı birleşme alın çapı ve 4 farklı yapıştırıcı kullanılmıştır. Bu parametrelere bağlı olarak eksenel çekme yükü uygulanmıştır.

Deneylerden elde edilen değerler, yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantıların sonlu elemanlar analizinde lineer ve lineer olmayan gerilme dağılımlarının belirlenmesi ve hasar yüklerinin bulunmasında kullanılmıştır.

## 1.2. Yapıştırma ve Yapışma Mekanizması

Yapıştırma; geleneksel metotlardan olan perçin, cıvata ve kaynak gibi kabul gören birleştirme tekniklerindedir. Yapıştırma işlemi; lehim, kaynak, perçin gibi endüstriyel bir alanda kullanılmaya başlandığından beri yapıştırmanın daha başarılı olabilmesi için gerekli olan parametreleri bulmak için bu konuda araştırma, mühendislik ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Yapıştırıcı ile aynı malzemeler birleştirildiği gibi farklı malzemeler de birleştirilebilmektedir.

Şekil 1.3’de gösterildiği gibi yapışma mekanizmasına adhezyon ve kohezyon kuvveti etki etmektedir.



Şekil 1.3. Yapıştırma bölgesinde oluşan kuvvetler (Solmaz 2008)

### 1.2.1. Adhezyon Kuvveti

Adhezyon, yapıştırıcının yapıştırılan yüzeylere yapışma kuvvetidir. “Van der Waals kuvvetleri” olarak adlandırılan çekim ve yüzeye tutunma kuvvetleri önemli faktördür. Yapıştırıcının işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlülüklere tam olarak temas etmesi ve yüzeye nüfuz ederek ıslatması istenilir. Bu temasın zayıf olması moleküler arası kuvvetin

zayıflamasına sebep olur. Dolayısıyla yapıştırıcının kuvveti; yapıştırılan yüzeyin özelliklerine, ıslanabilirliğine, yapıştırıcının ıslatabilirliğine ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır.

### 1.2.1.1. Adhezyon Teorileri

Yapıştırıcının yapıştırılan malzeme ile arasındaki bağ kuvvetini ifade etmektedir. Yapılan çalışmalarda yapıştırıcı ile birleştirilmede adhezyon kuvvetinin artması birleştirme kuvvetinin dayanımını arttırmaktadır.

Bu konuda tarihsel olarak yapılan çalışmalar Tablo 1.1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 1.1. Adhezyon teorileri

Geleneksel Teoriler	Son Teoriler	Ölçek
Mekanik Kilitleme	Mekanik kilitleme	Mikroskobik
Elektrostatik	Elektrostatik	Makroskobik
Difüzyon	Difüzyon	Moleküler
Adsorpsiyon / yüzey reaksiyon	Islanabilirlik	Moleküler
	Kimyasal Bağlar	Atomik
	Zayıf Sınır Tabakası	Moleküler

- Mekanik Kilitleme teorisine göre yapışma işlemi; boşluklar, gözenekler ve diğer yüzey pürüzlülüklerinin içine yapıştırıcının girmesi ile gerçekleşir. Bu teori yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak iki malzemenin birleşmesini ifade etmektedir. Buna göre aşınmış ve sık pürüzlü yüzeylerde parlak yüzeylere nazaran daha kuvvetli bağ oluşur (De Mejo, Rimai, Sharpe 1999).
- Elektrostatik teorisine göre, yapıştırılan malzeme ile yapıştırıcı arasında farklı iki malzeme olması sebebiyle meydana gelen elektriksel etkilerin oluşturduğu

elektrostatik faaliyetler incelenmektedir (Deraguin, Smilga 1967) (Possart 1988).

- Difüzyon teorisine göre, yapıştırılan malzemeler ile yapıştırıcı arasında moleküler alışveriş gerçekleşmektedir. Polimerler arasında molekül geçişleri olmasına rağmen metal-polimer arasında pek görülmemektedir (Petrie 2002).
- Islatma teorisine göre, yapıştırıcının yapıştırılan yüzeyi tam olarak ıslatması ve hava boşluğu bulunmayacak şekilde kaplamasına bağlıdır. Pürüzlülüğün olması gerekmele beraber çok büyük olması hava boşluğuna sebep olacağından yüzey pürüzlülüğünün belli bir oranda olması istenilir (Petrie 2002).
- Kimyasal bağlar teorisine göre, yapışma işlemi malzemenin yüzeyindeki kimyasal kuvvetler tarafından gerçekleşmektedir. Güçlü bir birleşme hidrojen, kovalent ve iyonik bağlar ile yapıştırılan malzemeler arasında gerçekleşmektedir.
- Zayıf sınır tabaka teorisine göre, yapıştırma ile birleştirilen bağlantılardaki hasar; zayıf sınır tabakasından dolayı oluşmaktadır. Zayıf sınır tabakası yapıştırılan malzeme ve çevre faktörlerinden olabilir. Metal oksitler ve polietilen doğal olarak zayıf sınır tabakası içermektedir. Zayıf sınır tabakalarının oluşmasında yapışma yüzeyine yakın bir kirlilik konsantreleri etki etmektedir (Bikerman 1967).

### 1.2.2. Kohezyon Kuvveti

Kohezyon kuvveti, yapıştırıcı molekülerinin kendi arasında oluşturdukları ve yapıştırıcıyı bir arada tutan kuvvettir. Kohezyon kuvvetine Van der Waals kuvvetleri ve polimer moleküllerin kendi arasındaki kenetlenmesi etki etmektedir.

Bir yapıştırma işleminde adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin birbirine yakın olması sağlanmalıdır.

### 1.3. Yüzey birleştirme Yöntemleri

Üç temel yüzey birleştirme yöntemi bulunmaktadır. Bunlar:

- **Mekanik:** vida, cıvata ve perçin ile
- **Termal:** kaynak, pirinç lehim ve lehim ile
- **Kimyasal:** yapıştırıcı ile birleştirmedir.

#### 1.3.1. Mekanik Birleştirme

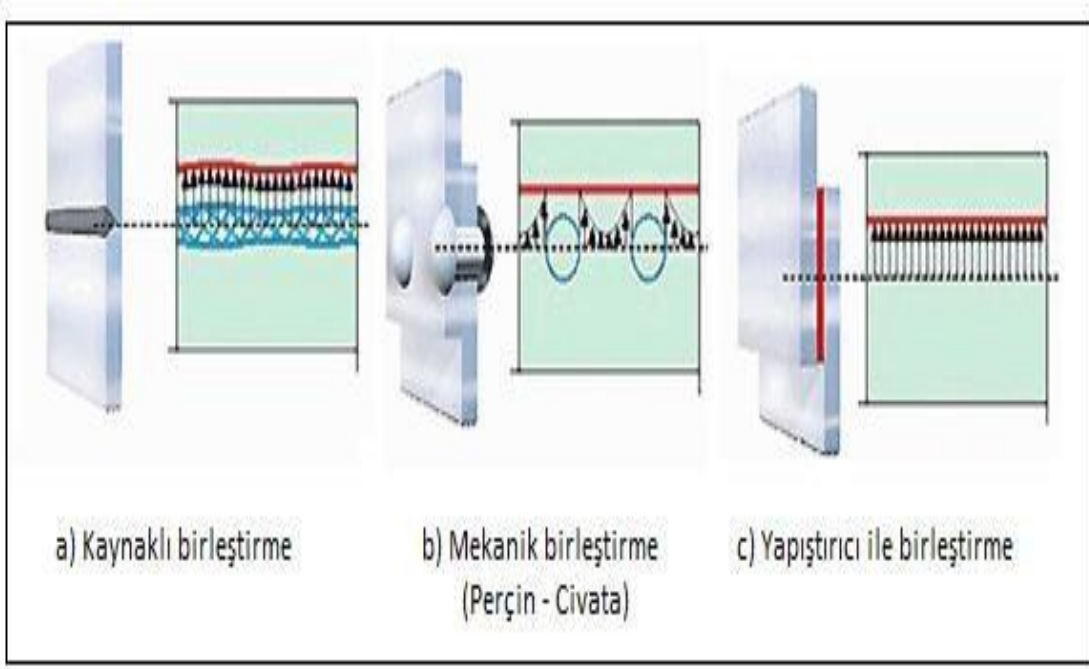
Kolay sökülmesi istenilen durumlarda cıvata ve perçin kullanılarak bu yöntem gerçekleştirilmektedir. Bazı durumlarda cıvatanın gevşemesine karşı ek emniyet tedbirlerinin alınması gerekebilir. Mekanik birleştirme yapılabilmesi için malzemede açılan delik malzemenin yorgunluğuna sebep olmasıyla beraber malzeme mukavemetinin azalmasına da yol açmaktadır (Şekil 1.4b). Ayrıca açılan bu delikler malzemenin korozyona uğramasına neden olabilir.

#### 1.3.2. Termal Birleştirme

Malzemede yüksek sıcaklık meydana gelecek şekilde yapılan kaynak ve lehim işleri normalde benzer malzemeler arasında mümkündür. Bu işlem sonrasında birleştirilen malzemelerin sökülmesi zor olmakla beraber yüksek sıcaklığa bağlı olarak malzemelerin deformasyona uğrayarak metal yapısının bozulması meydana gelebilir (Şekil 1.4a).

#### 1.3.3. Yapıştırıcı ile Birleştirme

Malzemelerin yapıştırıcı ile birleştirilmesi işleminde diğer birleştirme işlemlerinde olduğu gibi malzemenin yapısını bozacak adımlar bulunmadığından daha fazla tercih edilmektedir. Yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantılarda yük ve gerilim yüzeye yayıldığından dolayı, statik ve dinamik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar. Dolayısıyla bu tür bağlantılar diğer bağlantı türlerinden daha dayanıklı ve sağlıklıdır (Şekil 1.4c).



Şekil 1.4. Yüzey birleştirme yöntemleri ve gerilme dağılımları (Solmaz 2008)

Yapıştırıcı ile birleştirmede sızdırmazlık sağlandığından dolayı mekanik birleştirme yöntemindeki korozyon riskine karşı malzeme muhafaza edilmiş olunur. Ayrıca düzgün olmayan yüzeylerin birleştirilmesi bu yöntem ile mümkündür.

Yapıştırma işleminin; düzgün gerilim dağılımı, malzemede yapısal değişim olmaması, farklı malzemelerin birleştirilmesi, malzemeler arası sızdırmazlık ve elektriksel yalıtım sağlaması gibi ek avantajlarından dolayı imalat alanları genişlemektedir.

#### 1.4. Yapıştırıcı ile Birleştirmede Tasarım Esasları

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantının kuvveti ve dayanıklılığı; yapıştırıcıya, yapıştırılacak malzemeye, çalışma ortamına, uygulanacak yük ve ek yeri tasarımına göre belirlenir.



#### **1.4.1. Yapıştırıcı**

Bir yapıştırıcının kimyasal ve fiziksel özellikleri, yapıştırıcının adhezyon (yüzeyle tutunma) ve kohezyon (iç-yapışma) kuvvetini belirler. Yapıştırıcı ile birleştirmenin dayanıklılığı yapıştırıcının bu özelliklerine bağlıdır.

#### **1.4.2. Yapıştırılacak Malzeme**

Malzemelerin yapıştırıcıyla birleştirilmesinde yapıştırıcının özellikleri kadar yapıştırılacak malzemenin özellikleri de önemlidir. Ayrıca yapıştırılacak yüzeyin parametreleri de yapıştırma işlemi için önemlidir.

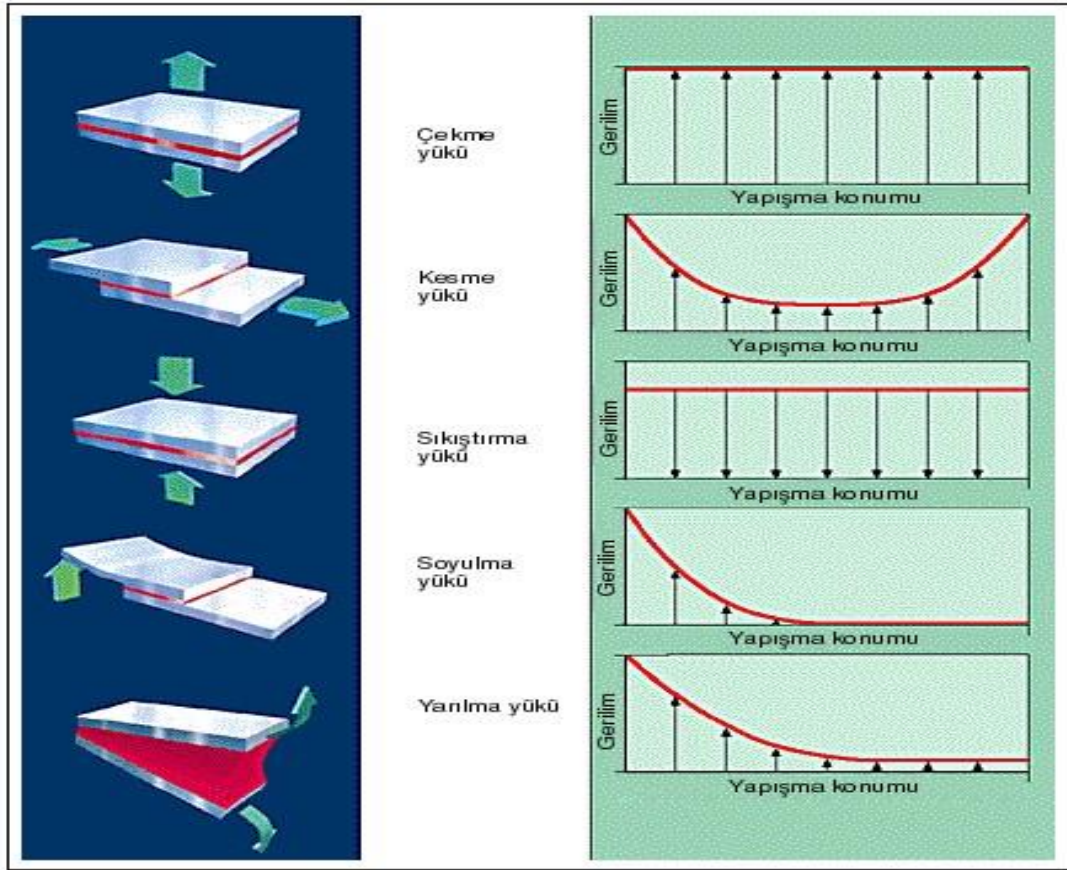
#### **1.4.3. Çalışma Ortamı**

Yapıştırılacak bağlantının çalışma ortamı (nem, sıcaklık, kimyasallar vs.) yapıştırıcının seçiminde önemli bir faktördür. Tatbik edilen kuvvetler ve çalışma ortamı dikkate alınarak yapıştırıcı belirlenmelidir.

#### **1.4.4. Yük**

Yapıştırıcıyla birleştirilen malzemelerin karşılaşacağı yükler önemlidir. Yapıştırılan yüzeyde gerçekleşen gerilme yapıştırma çizgisi boyunca düzgün dağılımlıdır. Bundan dolayı gerilmeler  $N/mm^2$  cinsinden ifade edilir. Yapıştırma işlemi sonucunda ortaya çıkacak yükün çekme, kırılma ve burkulma cinslerinden hangisi olduğu yapıştırıcının seçimi için önemlidir.

Yapıştırma ile birleştirilmiş malzemede çekme yükü, kesme yükü, sıkıştırma yükü, soyulma yükü ve yarıma yükü Şekil 1.5’de gösterildiği gibidir.

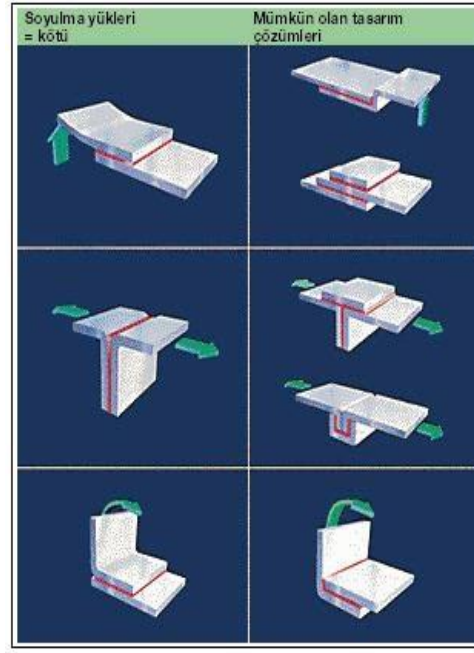


Şekil 1.5. Yapıştırma bağlantılarındaki yükler ve gerilme dağılımları (Solmaz 2008)

#### 1.4.5. Ek Yeri Tasarımı

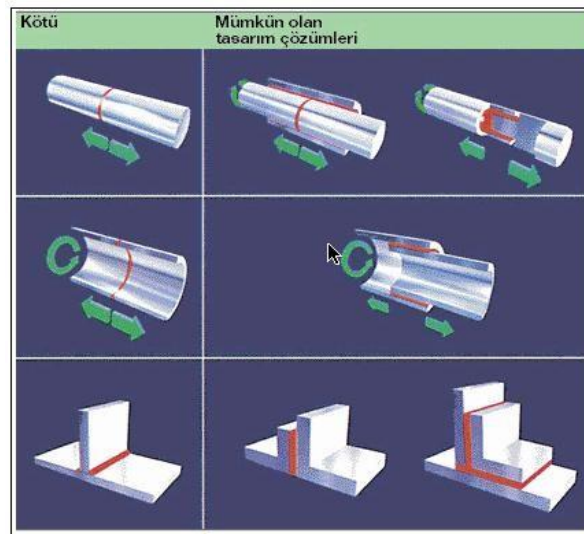
Önemli parametrelerden olan ek yeri tasarımı belirlenen yapıştırıcıdan en fazla verimi elde etmekte önemli bir etmendir. Yapıştırıcıyla birleştirmede dikkat edilecek önemli bir husus da düzgün gerilim dağılımının elde edilmesidir.

Ek yeri tasarımında yarıлма ve soyulma yükleri en aza indirilmelidir. Şekil 1.5’de grafikte görüldüğü üzere soyulma ve yarıлма kuvvetinden kaçınılmalı ve bu kuvvet Şekil 1.6’da gösterildiği şekilde faydalanılabilecek kuvvetlere dönüştürülerek tasarlanmalıdır.



Şekil 1.6. Yapıştırma bağlantılarındaki soyulma yüklerinin dönüştürülmesi (Aydın 2012)

Ek yeri tasarımı yapılırken olumsuz etkileri azaltmada yapıştırma alanının artırılması önemli bir faktördür. Şekil 1.7’de gösterilen yöntemler uygulanarak yapıştırıcı alanı artırılmış olur. Yapıştırıcı alanı artırılarak soyulma ve yarıma yükünün olumsuz etkilerinden kaçınılabilir.

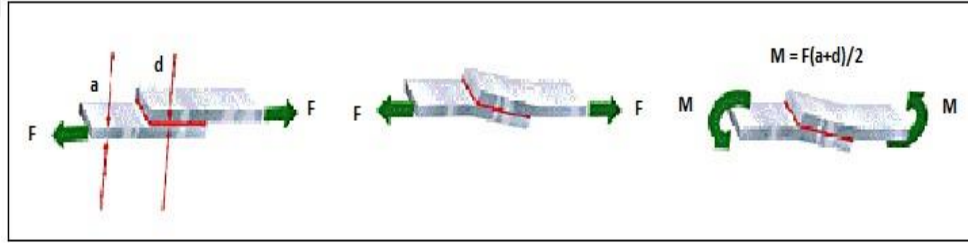


Şekil 1.7. Yapıştırma alanı artırma örnekleri (Aydın 2012)

### 1.5. Yapıştırıcı Bağlantılarının Optimize Edilmesi

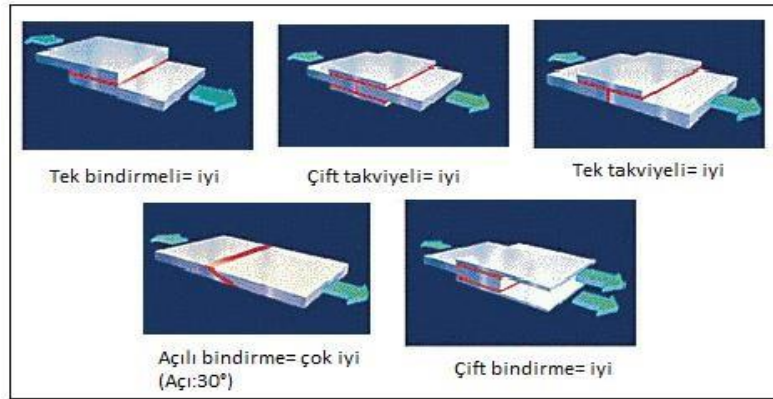
Yapıştırıcı ile birleştirilen malzemelerin ek yerlerinde oluşan olumsuz etkilerin azaltılması için dikkat edilmesi gereken hususlar;

**Eksantrik kuvvetlerden kaçınılmalıdır:** Yapıştırıcı ile birleştirilen malzemelerin ek yerlerinde birçok sebebe bağlı olarak kesme kuvveti oluşmaktadır. Buna sebep olan en temel etki eksantrik kuvvetin eğilme momenti oluşturmasıdır. Yapıştırıcı ile birleştirilmenin tasarımında aksel farklılığın oluşmamasına özen gösterilmelidir (Şekil 1.8).



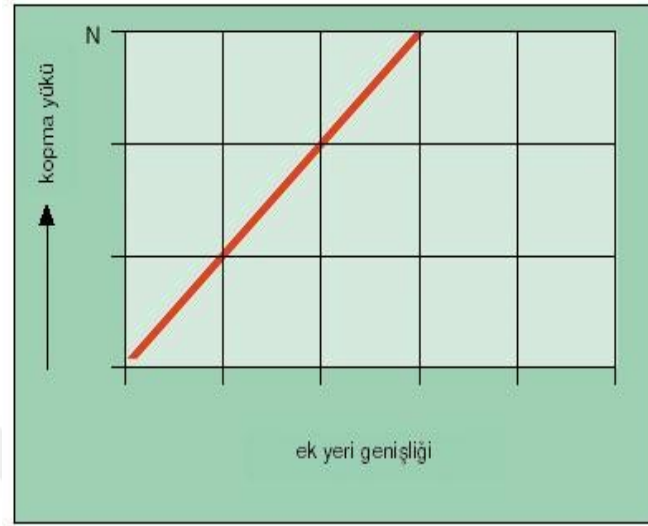
Şekil 1.8. Yapıştırma bölgesinde eğilme momenti oluşumu (Aydın 2012)

Bu eğilme momentinin etkisi ile yapışma alanının kenarlarında ilave çekme gerilimleri oluşur. Eksantrik kuvvetlerin yol açtığı olumsuz etkilerden Şekil 1.9’da görüldüğü gibi ek tedbirler alınarak kaçınılmış olunur.



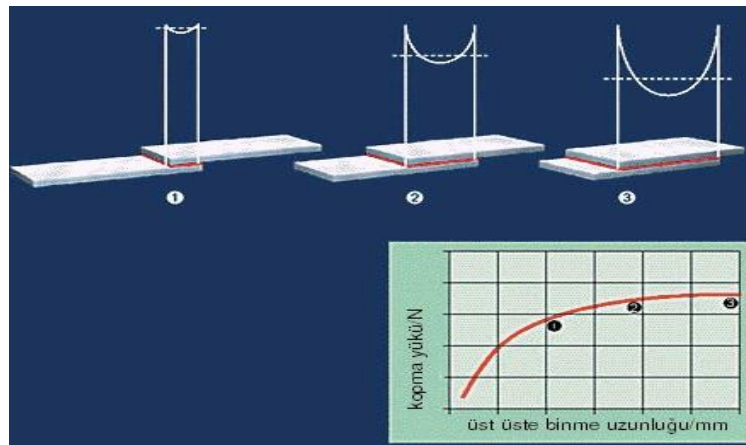
Şekil 1.9. Eksantrik kuvvetlerden kaynaklanan problemlerin muhtelif çözümleri (Aydın 2012)

**Ek yeri genişliği artırılmalıdır:** Şekil 1.10’da görüldüğü gibi ek yeri genişliği ile kopma yükü doğru orantılıdır. Kesme gerilim dağılımı, ek yeri genişliğine bağlı olarak değişmez.



Şekil 1.10. Ek yeri genişliği ile kopma yükü arasındaki ilişki (Aydın 2012)

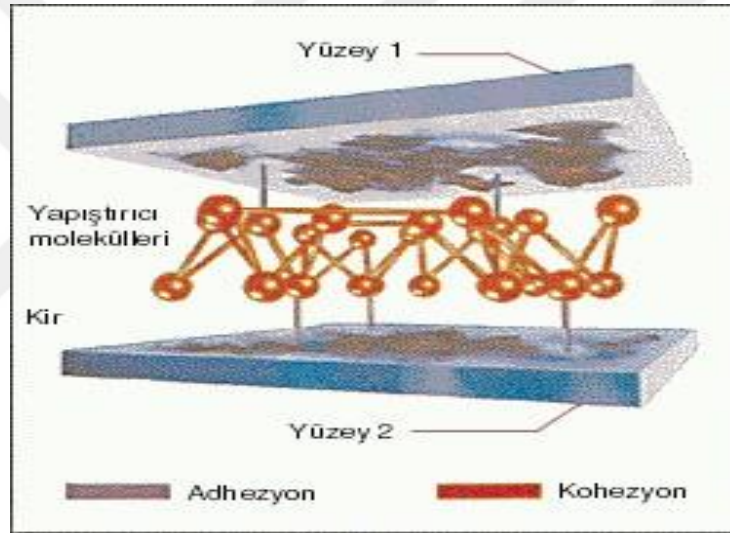
**Ek yeri bindirmesi optimize edilmelidir:** Şekil 1.11 de gösterildiği gibi kopma yükü belli bir değere kadar bindirme uzunluğu ile doğru orantılıdır. Bindirme uzunluğu belli bir değerden sonra etki etmemektedir. Eğer dayanım yükü arttırılmak isteniyorsa bindirme uzunluğundan ziyade bindirme genişliği arttırılmalıdır.



Şekil 1.11. Bindirme uzunluğu ile kopma yükü arasındaki ilişki (Aydın 2012)

## 1.6. Yapıştırma Yüzeylerini Hazırlama ve Ön İşlemler

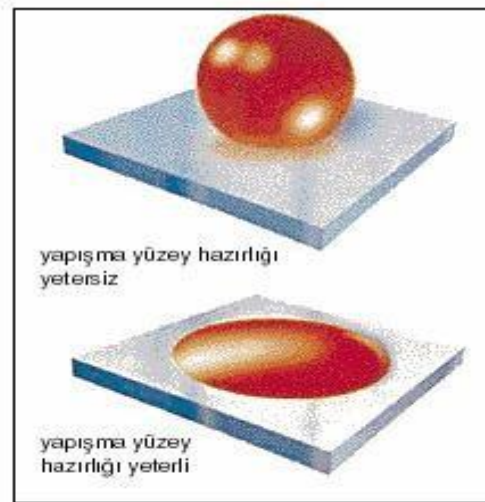
Yapıştırıcı ile birleştirme işleminde, yapıştırıcı ile yüzeyler arasında istenilen etkileşimin oluşması için yapışma alanının ön hazırlığının yapılması büyük önem taşımaktadır. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinde oluşturduğu adhezyon kuvvetinin zayıf olamaması için ön işlem önemli olmakla beraber doğru işlem uygulanmalıdır (Şekil 1.12). Yüzeyde yapıştırıcının yapışmasını olumsuz etkileyecek olan yağ, gres gibi malzemelerden doğru yöntem ile arındırılmalıdır. Adhezyon kuvvetinin artırılmasında mekanik aşındırma ve yağ alma işlemi uygulanarak yüzeyde istenilmeyen malzemeler temizlenir.



Şekil 1.12. Yapıştırma yüzeylerindeki kirlerin yapıştırma işlemine etkisi (Solmaz 2008)

## 1.7. Islatılabilirlik Testi

Yapıştırıcının verimli şekilde yapışabilmesi için ıslanabilirlik çok önemli bir faktördür. Yapıştırılan yüzeyin ıslanabilirliği Şekil 1.13’de gösterildiği gibi yüzey temizleme işlemi yapıldıktan sonra yüzeye su damlası damlatılır. Temizleme işlemi başarılı olmuş yüzeyde su damlası dağılır. Temizleme işlemi başarılı olmamış yüzeyde ise su damlası küresel olarak kalır. Su damlasının küresel olarak kalması durumunda ise temizleme işlemi tekrarlanır.



Şekil 1.13. Islatılabilirlik testi (Solmaz 2008)

### 1.8. Yapıştırma Bağlantılarının Sökülmesi

Yapıştırıcıların ek yerleri “çekme” veya “itme” yöntemleriyle sökülebilir. Yüksek kuvvet ile sökülebilecek ek yerleri ise sökme işlemi öncesi 300 °C - 400 °C’ye kadar ısıtılması faydalıdır. Sökülen bağlantılar tekrar yapıştırılmadan önce yüzeylerinde ön işlem olarak temizleme tekrar yapılmalıdır.

### 1.9. Dayanıklılık

Yapıştırılacak olan malzemenin karşılaşacağı en fazla yüke göre yapıştırıcı seçimi yapılmalıdır. Ayrıca tasarımında da bu dikkate alınmalıdır. Yapıştırıcının seçiminde ortam şartlarına da ayrıca dikkat edilmelidir. Nem, termal gerilme gibi durumların söz konusu olduğu şartlarda yapıştırıcı bu parametrelere göre belirlenmelidir.

### 1.10. Yapıştırıcı Çeşitleri

Yapıştırıcılar, birden fazla malzemenin istenilen tasarımda birleştirilmesine imkân sağlayan fenolik, epoksi, polyamid ve silikon gibi kimyasalların karışımıdır (Morrisey, Johnson 1985).

Kullanılmakta olan yapıştırıcılar kimyasal açısından (anaerobik, siyanoakrilat, epoksi vs.) ve formları açısından (macun, film, reçine vs.) yapıştırıcılar olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

### **1.10.1. Kimyasal açıısından yapıştırıcılar**

Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar;

- a) Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar
- b) Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar olmak üzere iki grupta incelenir.

#### **1.10.1.1. Kimyasal Reaksiyon ile Sertleşen Yapıştırıcılar**

Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılara yapısal yapıştırıcılar denilmekle beraber bu tür yapıştırıcılar en güçlü yapıştırıcılardır. Yapısal yapıştırıcılar, ısıya dayanıklı, esnek, yüksek mukavemet gibi özelliklerinden dolayı uzay sanayi, gemicilik, otomotiv endüstrisi gibi birçok alanlarda kullanılmaktadır.

Kimyasal yapıştırıcı tipleri aşağıda verilmiştir.

##### **1.10.1.1.1. Anaerobikler**

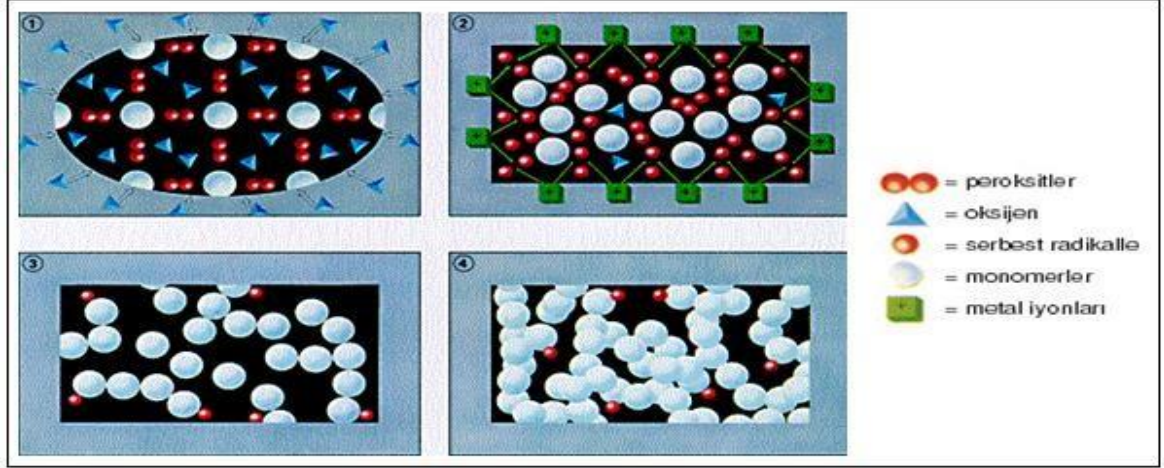
Anaerobik yapıştırıcılar, oda sıcaklığında oksijenle temasları kesildiğinde katılaşılan tek bileşenli yapıştırıcı malzemelerdir. Yapıştırıcının içinde bulunan kürleştirici bileşenin oksijenle teması kesilmekle beraber metalle temas etmesi durumunda yapıştırma işlemi başarılı bir biçimde gerçekleşmiş olur (Şekil 1.14).

Anaerobik reaksiyon ile katılaşılan yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

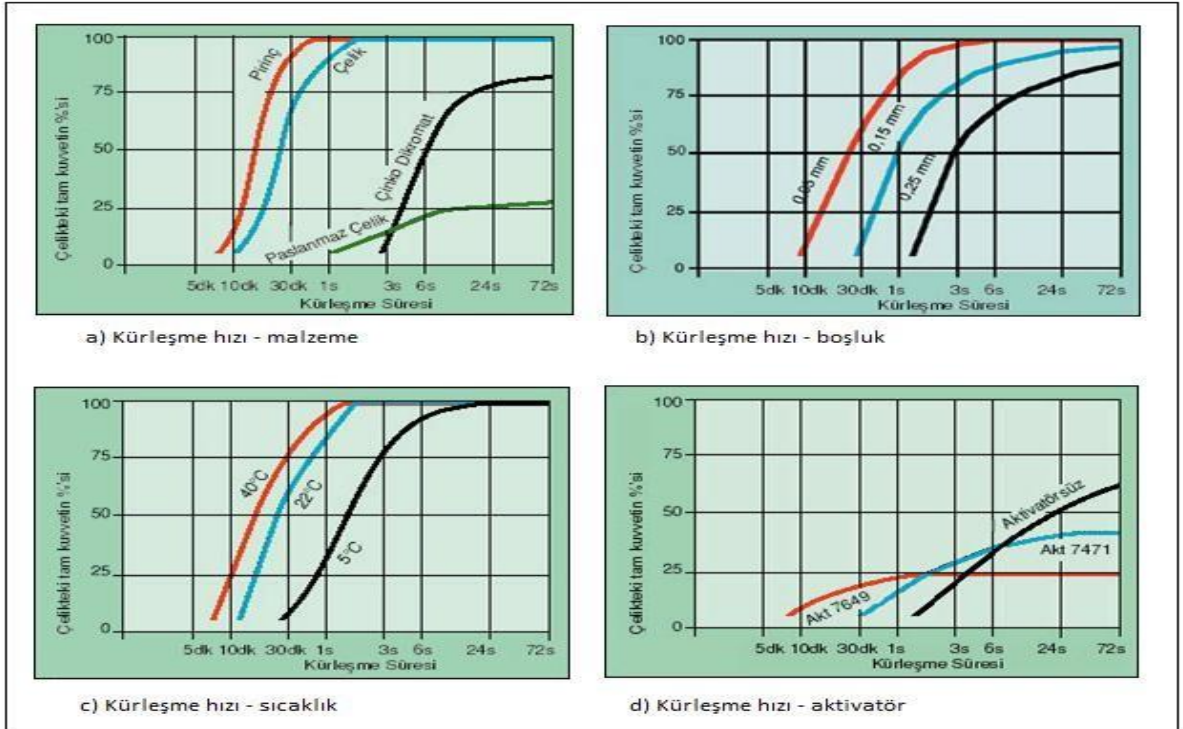
- Çok yüksek kesme mukavemeti
- Yüksek sıcaklık dayanımı (-55 °C'den maksimum +230 °C'ye kadar)
- Hızlı kürleşme
- Parça yüzeylerinin parlatılması gerekmez



- Yapıştırmanın yanında sızdırmazlık ve mükemmel kimyasal dayanım
- Yüksek titreşim mukavemeti
- Yüksek dinamik yük mukavemeti



Şekil 1.14. Anaerobik reaksiyon ile kürleşen yapıştırıcıların kürleşme işlemi (Solmaz 2008)



Şekil 1.15. Kürleşme hızını etkileyen faktörler (Solmaz 2008)

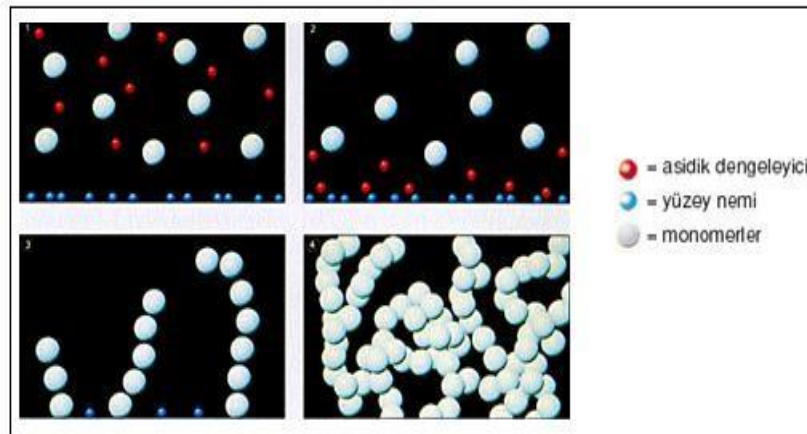
### 1.10.1.1.2. Siyanoakrilatlar

Tek bileşenli yapıştırıcılardan olup havadaki nem oranının %40 ile %60 oranında olduğu durumlarda birkaç saniye içinde kürleşmesi gerçekleşen bir yapıştırıcıdır. Kürleşmenin sağlıklı olabilmesi için “sıfır boşluk” olması çok önemlidir (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. Bağıl nemin bir fonksiyonu olarak siyanoakrilat yapıştırıcıların kürleşmesi (Solmaz 2008)

Bu yapıştırıcının kürleşmesini; hava neminin etkilediği kadar yüzeyin asitlik bazlık değeri de etkilemektedir. Kürleşme; asidik yüzeylerde ( $pH < 7$ ) yavaş, alkalın yüzeylerde ( $pH > 7$ ) ise hızlıdır (Şekil 1.17).



Şekil 1.17. Siyanoakrilatların kürleşme mekanizması (Solmaz 2008)

Siyanoakrilat yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

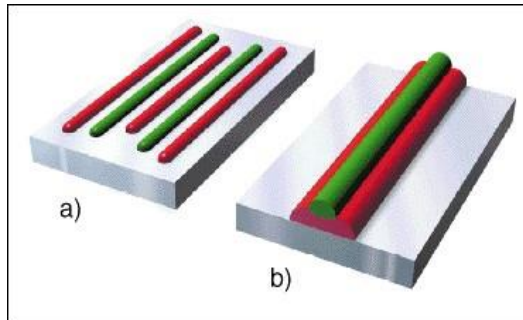
- Yüksek çekme ve kesme mukavemeti
- Yüksek kürleşme hızı (birkaç sanayide tutar)
- Nerdeyse bütün malzemeleri yapıştırır.
- Deformasyona mukavemetlidir.

#### 1.10.1.1.3. Akrilikler

Bu tür yapıştırıcılar oda sıcaklığında aktivatörler ile birlikte kullanılır. Yapıştırılacak malzemelerin türüne göre yapıştırıcı ve aktivatör yapıştırılacak yüzeylere ayrı ayrı uygulanabilir veyahut bir mikserde karıştırıldıktan sonra yüzeylere uygulanır. Yapıştırılacak malzemelerin cinsine göre aktivatör oranı değişmektedir. Karışım oluşturulduğunda aktivatörün yapıştırıcıyı kürleştirme faaliyeti başladığından yüzeylere uygulanırken dikkatli olunmalıdır (Şekil 1.18).

Modifiye akrilik yapıştırıcıların özellikleri şunlardır:

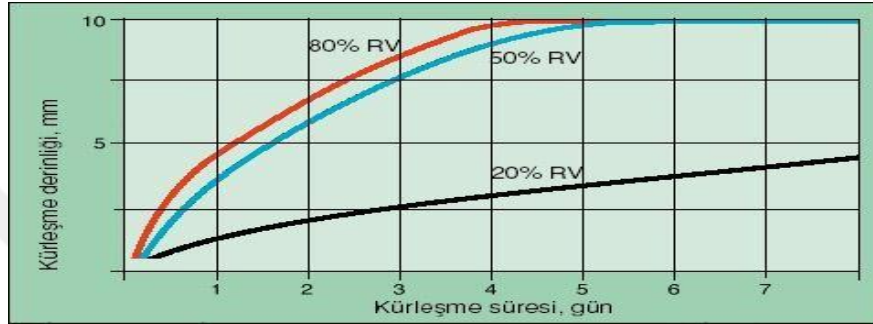
- Yüksek çekme ve kesme mukavemeti
- Yüksek darbe dayanımı
- Geniş sıcaklık aralığı (-55 °C ila +120 °C)
- Nerdeyse bütün malzemeler yapıştırılabilir
- Yüksek boşluk doldurma özelliği (özellikle önceden karıştırılan akrilikler)
- Ortam şartlarına yüksek mukavemet



Şekil 1.18. Yapıştırıcı ile aktivatörün uygulanış yöntemleri (Aydın 2012)

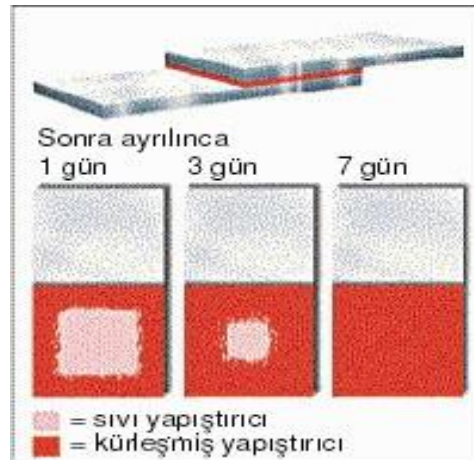
#### 1.10.1.1.4. Silikonlar

Bu tür yapıştırıcılar ortam nemi ile oda sıcaklığında vulkanize olurlar. Bu yapıştırıcının mekanizmasında kenetleme için su molekülleri kullanılır. Dolayısıyla vulkanizasyonun gerçekleşebilmesi için bölgeye suyun nüfuz edebilmesi gerekmektedir. Bu işlem sonucunda asidik yan ürün ortaya çıkabilir. Silikonlarda kürleşme hızını en önemli etkileyen faktör bağıl nemdir (Şekil1.19).



Şekil 1.19. Kürleşme hızı - bağıl nem ilişkisi (Solmaz 2008)

Kürleşme mekanizmasının özelliğinden dolayı, dış kenarlarından içeriye doğru silikonların yapışma alanı vulkanize olur. Kürleşme derinliği vulkanizasyonun gerçekleştiği her noktaya nemin ulaşması gerektiği için 10- 15 mm ile sınırlıdır (Şekil1.20).



Şekil 1.20. Silikonla yapıştırılmış tipik ek yeri (Solmaz 2008)

Silikon yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Yüksek sıcaklık mukavemeti (230 °C'den fazla)
- Esnek, sağlam, uzama katsayısı yüksek
- Orta sertlik
- Etkili sızdırmazlık
- Başarılı şekilde boşluk doldurma

#### **1.10.1.1.5. Poliüretanlar**

Poliüretan yapıştırıcılar suyun izosiyanat grupları içeren katkı maddeleri ile reaksiyona girmesiyle oluşur. Su molekülleri silikonlarda olduğu gibi yapıştırıcının içine girerek yapıştırıcı bağlarının her noktaya ulaşmasını sağlar. Kürleşme hızı bağıl neme bağlı olmakla beraber silikonlarda olduğu gibi yan ürün ortaya çıkmaz.

Poliüretanların genel özellikleri şunlardır:

- Mükemmel sağlamlık
- Yüksek esneklik, geniş uzama kabiliyeti
- Başarılı şekilde boşluk doldurma
- Boyanabilme kabiliyeti
- Yüksek kimyasal direnç

#### **1.10.1.1.6. Epoksiler**

Epoksi tipi yapıştırıcılar reçine ile karıştırılarak oluşturulur. Bu tür yapıştırıcılarla yapıştırılan malzemelerde yüksek mukavemet elde edilir. Ayrıca farklı tip malzemelerin yapıştırılmasına imkân sağlamaktadır. Yüksek sıcaklıklarda sertleşen epoksi türü yapıştırıcılarda yoğun çapraz bağlar olduğundan dolayı daha mukavemetlidirler.

### 1.10.1.1.7. Fenolikler

Yüksek mukavemetli; metal ile ağaç, metal ile metal ve metal ile kompozit esaslı fren pabucu yapışmaları için tercih edilir. Sertleşmesi için basınç ve ısı uygulamak lazımdır.

### 1.10.1.2. Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar

Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar, kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılara göre, daha kötü yapışma dayanımına sahiptir. Bunlar sanayide oldukça geniş bir kullanım sahasına sahiptir. Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcı türleri şunlardır:

- Ultraviyole (UV) Yapıştırıcılar
- Sıcak Eriyikler
- Kauçuk Yapıştırıcılar
- Polivinil Asetatlar (PVA)
- Basınç Gerektirmeyen Yapıştırıcılar

### 1.10.2. Formları Açısından Yapıştırıcılar

Bu tür modern yapıştırıcılar, yapıştırılacak yüzeye uygulanmadan önce macun, toz, film ve sıvı gibi çeşitli durumlarda olabilirler. Kullanım yerleri ve uygulama şekilleri bakımından macun tipi yapıştırıcılar, film tipi yapıştırıcılar, düşük viskoziteli yapıştırıcılar, düşük yoğunluklu yapıştırıcılar, reçineler ve köpüklerdir.

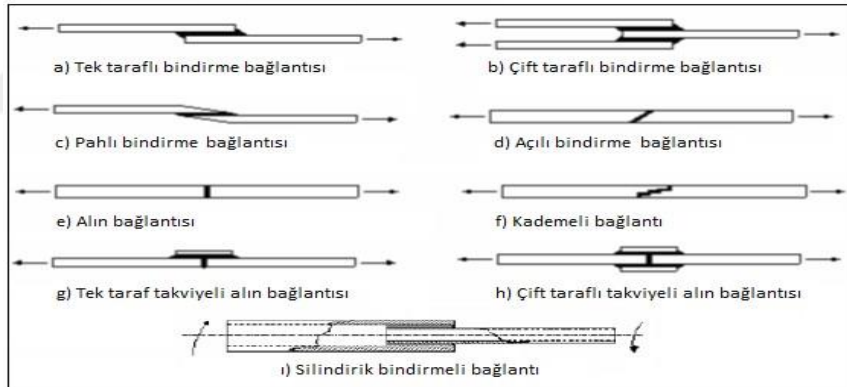
### 1.11. Yapıştırma Etkileyen Faktörler

Yapıştırma işlemlerinde her bir yapıştırıcı çeşidi için mukavemeti etkileyen farklı faktörler bulunabilir. Yüksek dayanımlı yapıştırma işlemi için türü ve çeşidine göre yapıştırma etkileyen bu faktörler bilinmeli ve işlemler bu hususlara dikkat edilerek gerçekleştirilir. Yapıştırma işlemini etkileyen faktörlerden en önemlileri sıcaklık, basınç, zaman, katalizör, oksijen, nem, su ve ultraviyole ışınlarıdır.

### 1.12. Yapıştırıcı ile Birleştirme Şekilleri

Yapıştırma işleminde yüksek mukavemetin elde edilebilmesi için yapıştırıcı seçiminin önemi kadar yapıştırma tasarımları da önemlidir. Birleştirme şekilleri belirlenirken malzemenin kullanılacağı alan, karşılaşılabilecek yük, fiziki şartlar vs. iyi belirlenmelidir.

Uygun bir tasarım, yapıştırıcı bağlantılarındaki gerilme dağılımı ve bağlantının hasar mukavemeti hakkında yeterli bilgiye sahip olmayı gerektirmektedir. Bağlantının davranışı; geometri ve malzeme davranışı gibi birçok parametreye bağlıdır. Bu bağıllık bağlantının ortalama mekanik davranışını tahmin etmeyi zorlaştırmaktadır. Karşılaşılan zorluklar özellikle yapıştırıcıların kontrol mekanizmalarının karşılaştırılmalarındaki eksikliklerden kaynaklanmaktadır (Taib, Boukhili, Achion, Boukehili 2006). Yaygın olarak kullanılan yapıştırıcı ile birleştirme şekilleri aşağıda verilmiştir (Şekil 1.23).

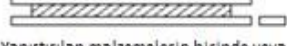







Şekil 1.21. Yapıştırıcı ile birleştirme şekilleri (Adams 1989)

### 1.13. Yapıştırma Bağlantılarında Görülen Hasar Tipleri

Farklı yükleme durumlarında yapıştırma ile birleştirilen malzemelerin yüzeylerinde iki tip hasar meydana gelmektedir. Yapıştırıcının yapıştırılan yüzeyden kopması ile meydana gelen hasara adhezyon hasarı denilir. Yapıştırıcının kendi bağları içerisinde kopması durumuna ise kohezyon hasarı denir.

Yapıştırma bağlantılarında oluşan temel hasar tipleri Şekil 1.24'de gösterilmiştir.

Yapıştırılan malzemede meydana gelen hasarlar	Yapıştırıcıda meydana gelen hasarlar
 <p>Yapıştırılan malzemelerin birinde veya ikisinde de hasarın oluşması</p>	 <p>Kohezyon hasarı</p>
 <p>Kohesiv yapıştırılan malzeme hasarı</p>	 <p>Özel kohezyon hasarı</p>
 <p>Kalkma (Deleminasyon) şeklinde hasar</p>	 <p>Adhezyon hasarı</p>

Şekil 1.22. Yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar tipleri (ISO10365)



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde St 60 çeliğinden tasarladığımız bulk numunelerimizin üretimi yapılmıştır. Numunelerimizi 3 adet epoksi bazlı (Devcon A, Devcon Titanyum ve Akfix-E300) ve 1 adet akrilik bazlı (Erde GTR) farklı özelliklerdeki yapıştırıcılar kullanılarak birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Yapıştırıcı ile Birleştirilen Metal Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Deneylerde kullanılmak üzere tel erozyon işlemi ile St 60 çeliğinden erkek ve dişi deney numuneleri üretilmiş ve yapıştırma ile birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan parçalar Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



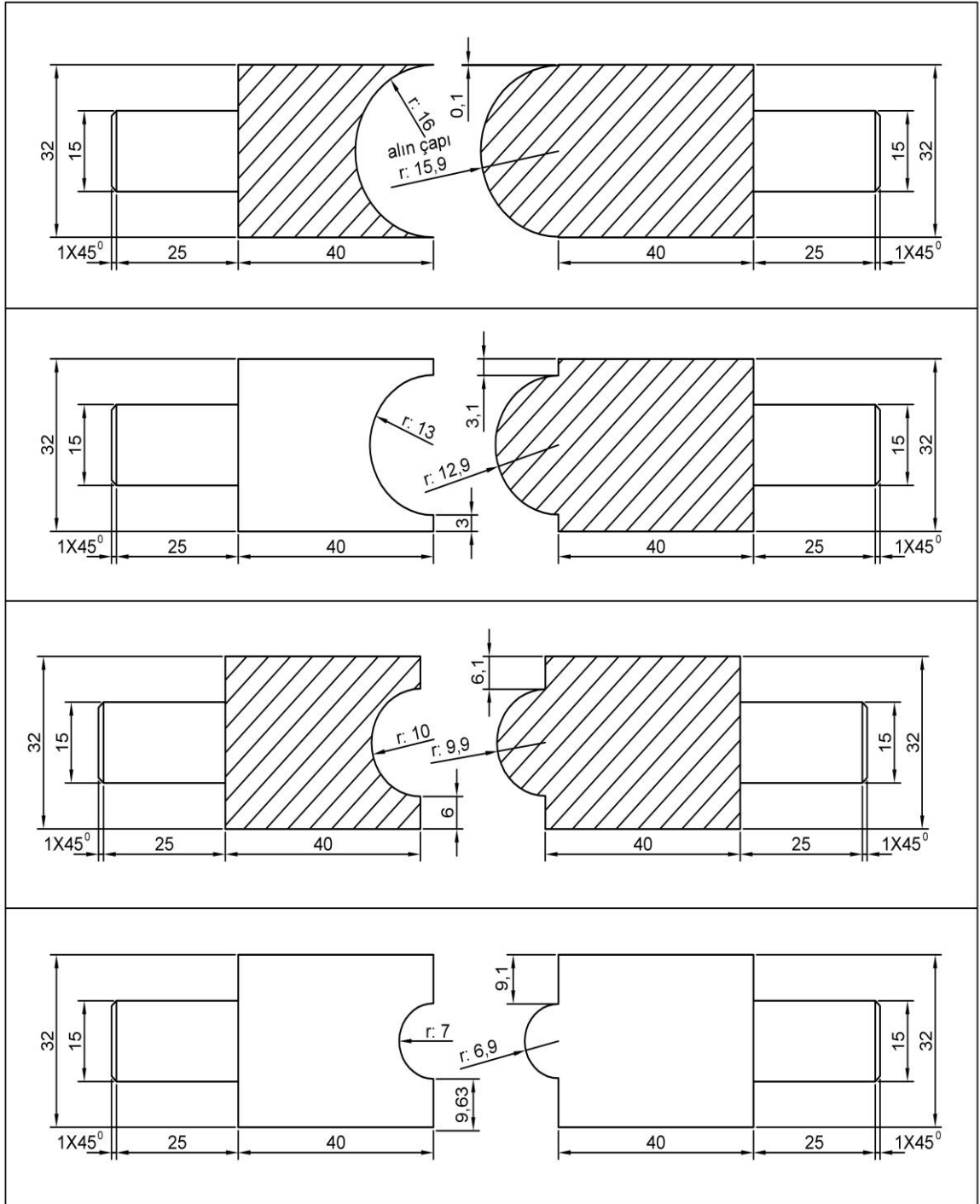
Şekil 2.1. Bağlantı parçaları

Tablo 2.1’de deney parametreleri verilerek, parçalarda **b**: numune genişliği, **h**: numune yüksekliği, **t**: yapıştırıcı kalınlığı ve **r**: birleşme yüzeyinin alın çapı olarak adlandırılmıştır.

Tablo 2.1. Deney parametreleri

Yapıştırıcı Türü	Yapıştırıcı Adı	b	h	l	t	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>
Epoksi	Devcon A	20	32	40	0.1	16	13	10	7
		30	32	40	0.1	16	13	10	7
	Devcon Titanium	20	32	40	0.1	16	13	10	7
		30	32	40	0.1	16	13	10	7
	Akfix E300	20	32	40	0.1	16	13	10	7
		30	32	40	0.1	16	13	10	7
Akrilik	Erde GTR	20	32	40	0.1	16	13	10	7
		30	32	40	0.1	16	13	10	7

Deney parametrelerine bağlı olarak imal edilen numunelerin ölçüleri Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Deney numuneleri ölçüleri

Tablo 2.2’de yapıştırıcı ile bağlantı kurulacak olan numunelerin teknik özellikleri verilmiştir. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş silindirik geçmeli çelik bağlantı numuneleri tel erozyon makinesi kullanılarak imal edilmiştir.

Tablo 2.2. Bağlantı parçalarının mekanik özellikleri

Malzeme	Test Metodu		
	ISO 527	ISO 527	ISO 178
	Çekme Mukavemeti (MPa)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (Mpa)
St 60	600	0,35	210000

## 2.2. Kullanılan Yapıştırıcılar ve Özellikleri

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş silindirik geçmeli çelik bağlantıların mekanik analiz için 4 farklı özelliklere sahip yapıştırıcı kullanılmıştır. Bu çalışmada 3 adet epoksi bazlı (Devcon A, Devcon Titanyum ve Akfix-E300) ve 1 adet akrilik bazlı (Erde GTR) farklı özelliklerdeki yapıştırıcılar kullanılmıştır.

Epoksi bazlı yapıştırıcıların analizinde elastik gerilme analizi yapılmış olup, akrilik bazlı yapıştırıcının analizinde ise elosta-plastik gerilme analizi yapılmıştır.

### 2.2.1. Devcon A Plastik-Çelik Macun Epoksi

Çelik dolgulu ve çift bileşenli olan epoksi macunu genel amaçlı bakım ve tamiratta kullanılır. Bu yapıştırıcı metalleri birleştirmek için kullanıldığı gibi dolgu ve eksik parçaların tamamlanması için de kullanılır. St 60 çeliğinin birleştirilmesi için reçine ve sertleştirici karışım oranı hacimce 2:1, ağırlıkça 9:1'dir.

Yapıştırıcının üretici firma tarafından verilen teknik bilgileri Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Devcon A teknik özellikler

Renk	Koyu Gri
Karışım Viskozitesi	Macun
Safılık Derecesi	% 100
Yoğunluk	2,33gr/cm <sup>3</sup>
Özgül Hacim	0,43cm <sup>3</sup> /gr
Karışım ile Çalışma Süresi	45 dakika
Basınç Mukavemeti ASTM D1002	19,22 Mpa
Sertlik Shore D ASTM D2240	85D
Sıcaklık Dayanımı	Islak Ortam 38°C
	Kuru Ortam 121°C

### 2.2.2. Devcon Titanyum Plastik-Çelik Macun Epoksi

Sıcaklık dayanımı 180 °C ve basınç 1316 kg/cm<sup>2</sup> olan epoksi macunu titanyum takviyeli olup çok iyi tamirat yapar. Çizilmiş millerde, vanalarda ve rulman yataklarında kullanılan bu yapıştırıcı yüksek performanslı olup kimyasal direnci mükemmeldir. Çelik malzemelerin birleştirilmesinde reçine ve sertleştirici oranı hacimce 3:1, ağırlıkça ise 4,3:1'dir.

Yapıştırıcının üretici firma tarafından verilen teknik bilgileri Tablo 2.4'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Devcon Titanyum teknik özellikler

Renk	Gri
Karışım Viskozitesi	Macun
Saflık Derecesi	%100
Yoğunluk	2,37gr/cm <sup>3</sup>
Özgül Hacim	0,42cm <sup>3</sup> /gr
Karışım ile Çalışma Süresi	21 dakika
Basınç Mukavemeti ASTM D695	129 Mpa
Yapışma Mukavemeti ASTM D1002	13,72 Mpa
Sertlik Shore D ASTM D2240	87D
Sıcaklık Dayanımı	Islak Ortam 66°C
	Kuru Ortam 177°C

### 2.2.3. Akfix E300 Suya Dayanıklı Plastik Epoxy Yapıştırıcı

Kullanım alanı geniş olan Akfix E300 yalıtkanlık istenilen çatlama ve büzülme yapmayan bir yapıştırıcıdır. Bu yapıştırıcı ile metallerin kullanımının yanında seramik, cam, porselen, mobilya birleştirilmesinde ve tamirinde kullanılmaktadır.

Yapıştırıcının üretici firma tarafından verilen teknik bilgileri Tablo 2.5’de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Akfix E300 teknik özellikler

Kullanma oranı	1 kısım- 1 kısım
Kullanma zamanı (23°C,%50 bağıl nem)	30-40 dakika
Sertleşme zamanı (23°C,%50 bağıl nem)	6 saat
Uygulama Sıcaklığı	+5°C ile +40°C arası
Sertlik	85 ± 5 Shore A

### 2.2.4. Erde GTR

Bakır, çelik, pirinç, alüminyum, paslanmaz çelik gibi metallerin haricinde zor yapışan Pvc, mika, fleksiglas gibi plastik türü malzemelerin yapıştırılmasında kullanılır. Esnek yapıya sahip olan Erde GTR yapıştırıcının ilk tutma süresi 3-5 dakikadır. Bu yapıştırıcı 1 saat içinde %75 oranında tutma sağlar. Neme ve çevre şartlarına karşı mukavemeti yüksektir. Yapıştırıcının üretici firma tarafından verilen teknik bilgileri Tablo 2.6’da gösterilmiştir.

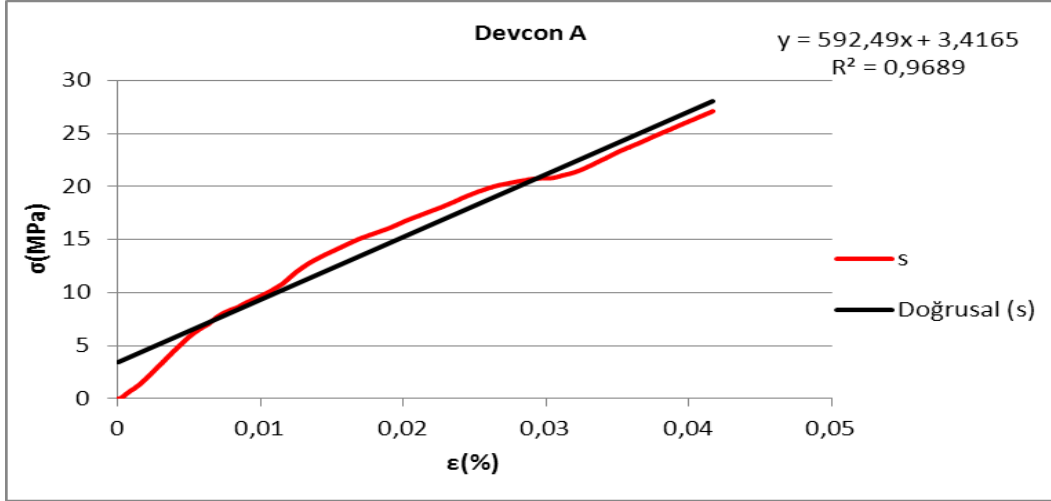
Tablo 2.6. Erde GTR teknik özellikler

	A	B
Görünüm	Yeşil transparan akışkan sıvı	Kırmızı transparan akışkan sıvı
Viskozite (cps/25°C)	2000-3500	2000-3500
Özgül ağırlık (g/m <sup>3</sup> ,20°C)	1,01±0,02	1,01±0,02
Sıcaklık Dayanımı	-30°C/+150°C	
Bileşim	% 100 akrilik	
Boşluk Doldurma	0,5 mm’ye kadar	
Tutma Mukavemeti (Çelik-Çelik)	26,2 Mpa	

### 2.3. Yapıştırıcıların Gerilme-Şekil Değiştirme Özellikleri

Çalışmada kullanılan yapıştırıcıların özellikleri;

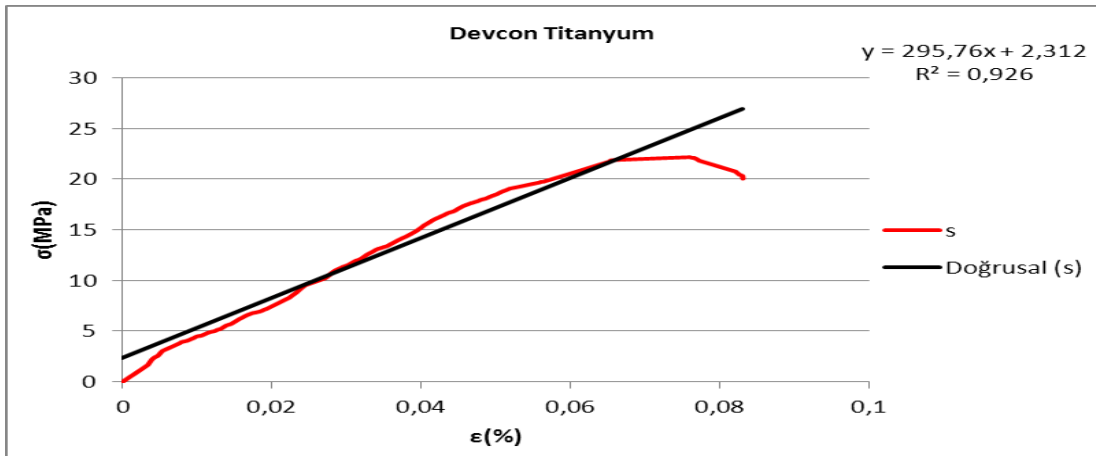
Şekil 2.3’de Devcon A bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.3. Bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı (Aydın 2012)

Devcon A için Şekil 2.3’de verilen gerilme-şekil değiştirme diyagramında görüldüğü gibi eğri, doğruluk oranı 0,9689’dir. Elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiğinin bir doğruya yakın olması numunenin akmaya uğramadığını göstermektedir. Buna göre Devcon A ile yapıştırılan malzemelerin nümerik çalışmalarında elastik gerilme analizi yapılmıştır (Aydın 2012).

Şekil 2.4’de Devcon Titanyum bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı verilmiştir

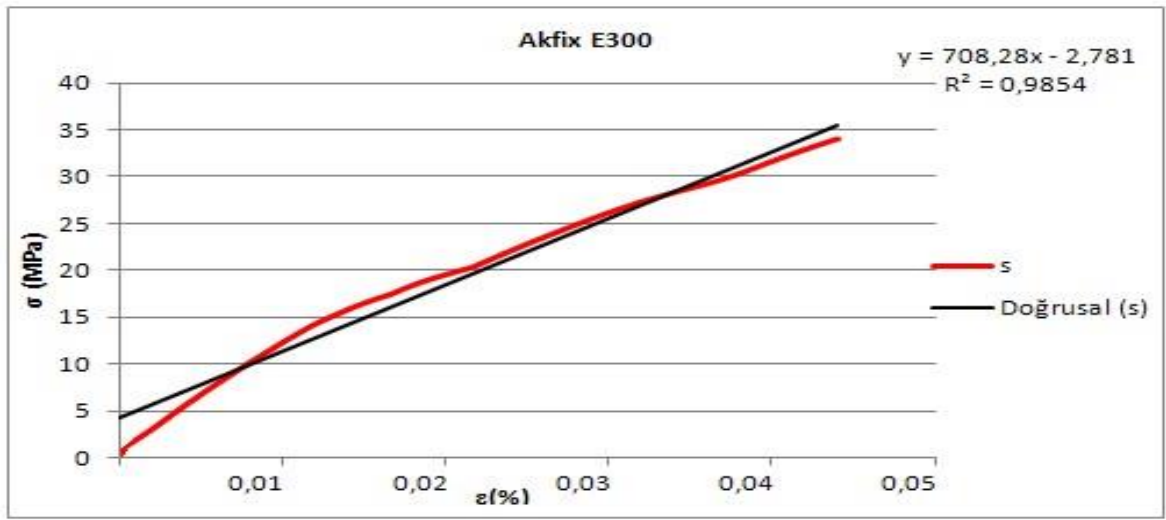


Şekil 2.4. Bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı (Aydın 2012)



Devcon Titanyum için Şekil 2.4'de verilen gerilme-şekil değiştirme diyagramında görüldüğü gibi eğri, doğruluk oranı 0,9260'dir. Elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiğinin bir doğruya yakın olması numunenin akmaya uğramadığını göstermektedir. Buna göre Devcon Titanyum ile yapıştırılan malzemelerin nümerik çalışmalarında elastik gerilme analizi yapılmıştır (Aydın 2012).

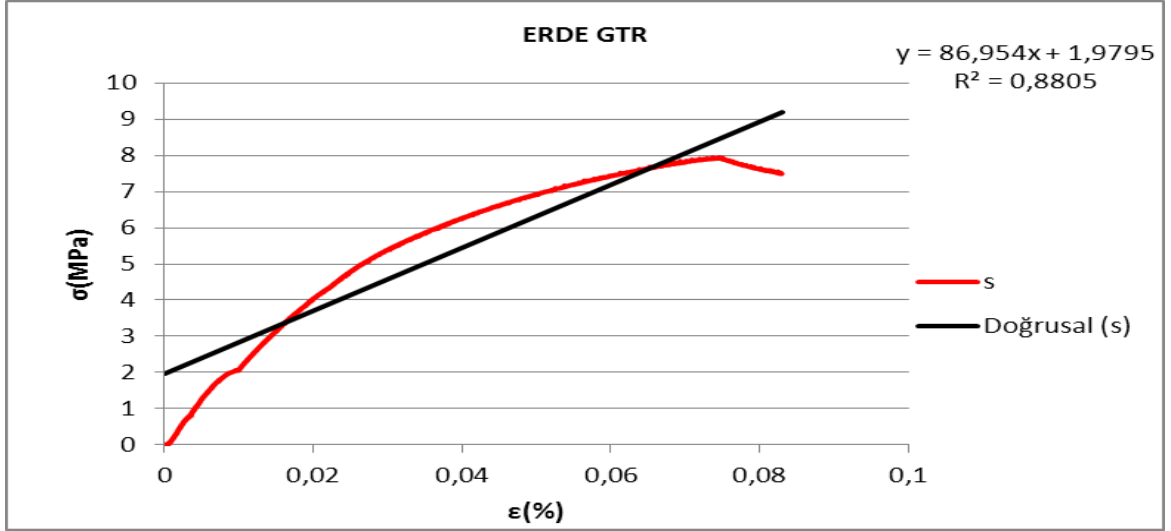
Şekil 2.5'da Akfix E300 bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.5. Bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı (Aydın 2012)

Akfix E300 için Şekil 2.5'da verilen gerilme-şekil değiştirme diyagramında görüldüğü gibi eğri, doğruluk oranı 0,9854'dir. Elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiğinin bir doğruya yakın olması numunenin akmaya uğramadığını göstermektedir. Buna göre Akfix E300 ile yapıştırılan malzemelerin nümerik çalışmalarında elastik gerilme analizi yapılmıştır (Aydın 2012).

Şekil 2.6'de Erde GTR bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.6. Bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı (Aydın 2012)

Erde GTR için Şekil 2.6'da verilen gerilme-şekil değiştirme diyagramında görüldüğü gibi eğri, doğruluk oranı 0,8805'dir. Deney sonucunda elde edilen grafiğe göre numunenin akmaya uğrayarak koptuğu görülmektedir. Bundan dolayı Erde GTR ile yapıştırılan malzemelerin nümerik çalışmalarında elasto-plastik gerilme analizi yapılmıştır.

Ansys'de yapılacak elasto-plastik analiz için gerekli olan Erde GTR'ye ait gerilme-şekil değiştirme değerleri Tablo 2.7'de verilmiştir (Aydın 2012).

Tablo 2.7. Erge GTR gerilme-şekil değıştirme değeri

Nokta	$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (MPa)
1	0,003	0,732
2	0,007	1,787
3	0,011	2,389
4	0,013	2,942
5	0,017	3,569
6	0,019	3,927
7	0,022	4,459
8	0,025	4,871
9	0,029	5,324
10	0,035	5,891
11	0,041	6,404
12	0,048	6,817
13	0,0516	7,010
14	0,059	7,388
15	0,073	7,909
16	0,077	7,759
17	0,082	7,544

Silindirik geçmeli elik bağlantıların birleştirilmesinde kullanılacak olan yapıştırıcıların mekanik zellikleri Tablo 2.8’de verilmiştir.

Mekanik zellikleri verilen 4 farklı yapıştırıcıdan 3 adet epoksi bazlı (Devcon A, Devcon Titanyum ve Akfix-E300) yapıştırıcılar için elastik gerilme analizi yapılmıştır. Akrilik bazlı (Erde GTR) zellikteki yapıştırıcı için ise elosto-plastik gerilme analizi yapılmıştır.

Tablo 2.8. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri

	Test Metodu			
	ISO 527	ISO 527	ISO 527	ISO 178
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (Mpa)
Akfix E300	-	34,1	0,32	758
Devcon A	-	26,5	0,35	663
Devcon Titanyum	-	22,1	0,34	315
Erde GTR	2,01	7,9	0,36	93

Yapıştırma işleminden önce yapışmayı olumsuz etkileyecek kirlere temizlemek için 32 adet dişi parça ve 32 adet erkek parça ayrı ayrı olarak aseton ile temizlenmiştir (Şekil 2.7).

Numunelerin yapıştırılması aşamasında her bir yapıştırıcının firma tarafından verilen teknik özelliklerine dikkat edilerek yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Özellikle yapıştırıcı karışımının kısa sürede kurummasına bağlı olarak kalitesiz yapışmanın önüne geçmek için birden fazla yapıştırıcı karışımı oluşturulmuştur.

Yapıştırma işlemi esnasında yapıştırıcı, erkek ve dişi yüzeye sürülerek her iki çelik yüzeyin ıslanabilirliği sağlandı. Yüzeyine yapıştırıcı sürülen numunelerin yapıştırıcı kalınlığını ayarlamak için özel imal edilen kalıplara koyularak tüm numuneler için aynı yapıştırıcı kalınlığı elde edilmesi sağlandı.



Şekil 2.7. Yapıştırma bağlantıları

Silindirik geçmeli St 60 çeliğinden elde edilen 32 farklı numunenin yapıştırma işleminden sonra aynı süre beklenilmiş ve tüm numuneler aynı zamanda çekme deneyine tabi tutulmuştur.

Bağlantılar Elazığ Analiz Yapı Laboratuvarında bulunan Şekil 2.8’de gösterilen bilgisayar kontrollü üniversal test cihazında 1 mm/dk’lık çekme hızında çekme deneyleri yapılmıştır.

Çekme deneylerinde numunelerin test cihazına bağlanması esnasında kırılmaması ve çekme esnasında doğru sonuç almak için Şekil 2.7’de gösterilen ek parçalar üretilmiştir.

Numuneleri yapıştırma işleminden önce bu aparatların takılacağı alan açılmıştır.

Numunelerin bağlantısında en önemli bir husus da kesme kuvvetinin oluşmaması için aksenal farklılıkların olmamasıdır.



Şekil 2.8. Üniversal test cihazı

Deneylemiz oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyinde eksen farklılığının olmaması için ek bağlantı aparatları üretilmiş olup malzemenin kopmasında kesme mukavemetinin olmaması sağlanmıştır.

Sonuçların doğru olması için her bir yapıştırıcı için tüm numuneler aynı zamanda yapıştırılmış ve aynı süre beklendikten sonra çekme deneyine tabi tutulmuştur.

St 60 çeliğinden hazırlanan 32 farklı numune Şekil 2.9’de gösterildiği şekilde test cihazına bağlanmıştır. Parçaların cihaza tutturulması esnasında kırılma meydana gelmemesi için üretilen ek aparatlar dikkatli bir şekilde bağlanmış, numuneler bu aparata bağlanmıştır. Bu şekilde bağlantı esnasında kırılmanın önüne geçilmiştir.



Şekil 2.9. Deney numunesinin test cihazına bağlanması

Şekil 2.9’da gösterilen şekilde numunelerin bağlantıları elde edildikten sonra bilgisayar kontrollü universal test cihazında 1 mm/dk’lık çekme hızında çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekilde 2.9’da örnek olarak Erde GTR yapıştırıcı ile yapıştırılan 30 mm kalınlığında ve 16 mm çapında silindirik geçme alanına sahip numune görülmektedir.

Bu işlem 4 farklı yapıştırıcı çeşidi, 2 farklı malzeme kalınlığı ve 4 farklı alın çapında üretilen 32 farklı numune için teker teker uygulanmış ve tüm numunelerde başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

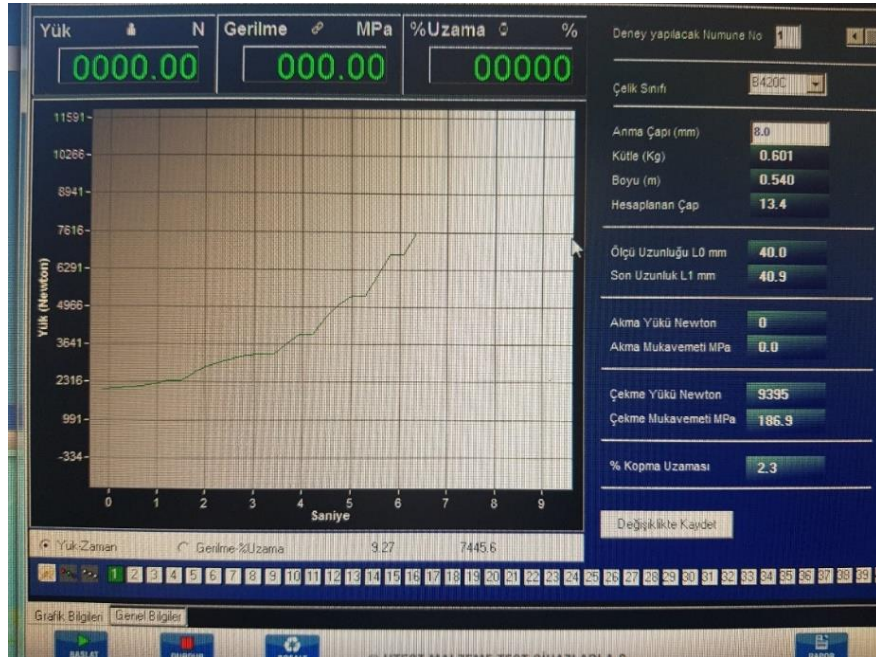
Çekme deneyi sonucunda kopan parçanın görünümü Şekil 2.10’de gösterilmiştir. Çekme deneyi tüm numuneler için 1 mm/dk hız ile gerçekleştirilmiş ve tüm numunelerde şekilde gösterildiği gibi sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2.10. Çekme deneyi sonucunda bağlantısının kopması

Özellikle silindirik geçen kısımları 16 mm çapına sahip olan numunelerde elde edilen hasar kuvveti sonucunda kenar kısımlarında deformasyon meydana geldiği gözlenmiştir.

Bağlantılar test edilirken kuvvet-yer değiştirme verileri ve numunelerin taşıyabildikleri maksimum yük kaydedilmiştir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Çekme deneyi verilerinin alınması



Şekil 2.11’de Akfix E300 yapıştırıcı ile birleştirilen 20 mm kalınlığında 10 mm alın çapına sahip numunenin çekme deneyi sonucunda elde edilen hasar kuvvetini gösterilmektedir.

Çekme deneyleri sonucunda elde edilen numunelerin taşıyabildikleri maksimum yük (2.1) numaralı eşitlikte yerine konarak bağlantının ortalama kayma dayanımı hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{P_{max}}{A} \quad (2.1)$$

Burada  $P_{max}$  hasar yükünü,  $A$  ise erkek numuneler üzerindeki yapıştırma alanını ifade etmektedir. Solidworks programında modellenen numuneler üzerinden erkek numunelerin yapıştırma alanı hesaplanarak Tablo 3.1’de verilmiştir. Her bir numune için ortalama kayma gerilmesi elde edilmiştir.



Şekil 2.12. Çekme deneyi gerçekleştirilmiş numuneler

Çekme deneyi sonucunda numunelerin görüntüleri Şekil 2.12’de görüldüğü gibidir. Elde edilen görüntünün yapıştırma işleminin başarılı şekilde olduğu ve çekme deneylerinin de başarılı şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Bir yapıştırma işleminin başarılı şekilde meydana gelebilmesi için adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin birbirine yakın olması

gerekmektedir. Erkek ve dişi numunenin yüzeyinde yapıştırıcı kalıntılarının olması yapıştırıcının numuneye sağlıklı şekilde yapıştığı anlamına gelmektedir.

#### **2.4. Ansys Sonlu Elemanlar Yazılımı**

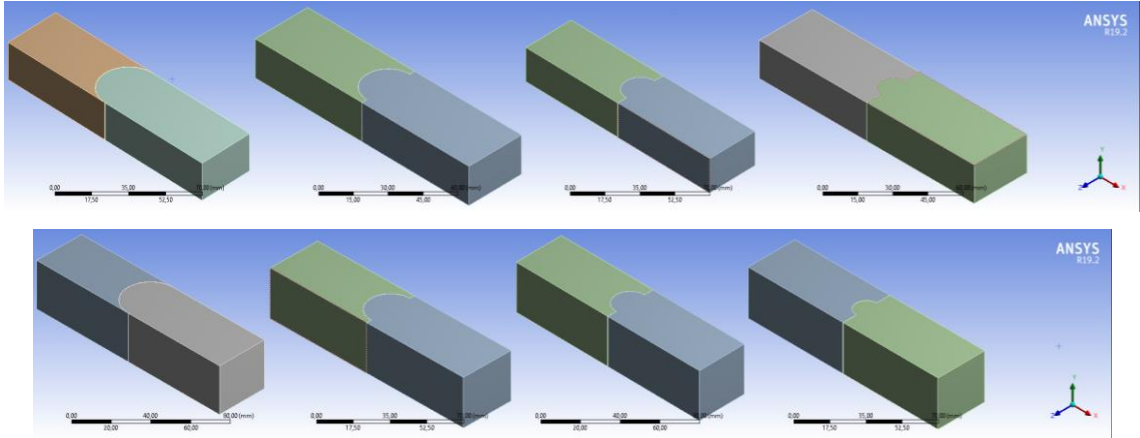
ANSYS yazılımı; mekanik stres, mekanik titreşim, yorgunluk, hareket, ısı aktarımı, elektrostatik, mukavemet ve akışkanlar mekaniği dahil olmak üzere birçok fiziksel faktörden etkilenen ürünlerin davranışını öngörmeye yardımcı olarak kullanabilen genel amaçlı sonlu elemanlar analiz yazılımıdır.

Sonlu eleman analizi, bir ürünün gerçek kuvvetlerine, titreşime, ısıya, sıvı akışına ve diğer fiziksel etkilere karşı nasıl tepki verdiğini tahmin etmek için kullanılan bilgisayarlı bir yöntemdir. Sonlu eleman analizi bir ürünün sağlamlığını, yıpranıp yıpranmayacağını veya tasarlandığı şekilde çalışıp çalışmayacağını gösterir. Ürün geliştirme sürecinde, ürün kullanıldığında neler olacağını öngörmek için kullanılır.

Bu program sayesinde yapılan analizler ile bir malzemenin protipi üretilmeden gerekli incelemeler yapılır ve zayıf noktalar tespit edilir. Ayrıca analiz programı sayesinde zamandan tasarruf sağlandığı gibi ek maliyetlerden de kaçınılmış olunur.

#### **2.5. Sayısal Analiz**

St 60 çeliğinden yapılan malzemelerin elasto-plastik ve elastik gerilme analizleri sonlu elemanlar programı ANSYS WORKBENCH 19.2 kullanılarak çözümlenmiştir. 2 farklı kalınlıktaki ve 4 farklı alın çapında olan numuneler 4 farklı yapıştırıcı ile yapıştırılarak elde edilen deneysel sonuçları sonlu elemanlar programında bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışması yapılan numunelerin birebir modelleri solidworks programında oluşturulmuş ve Şekil 2.13'de gösterilmiştir. Sonlu elemanlar programı olan Ansys programında numunelerin analizi yapılırken; ilk önce numunelerin katı modeli Solidworks programında yapıldı. Çizilen katı modeller Ansys Workbench 19.2 de açılabilmesi için "x\_b" formatında kayıt edildi.



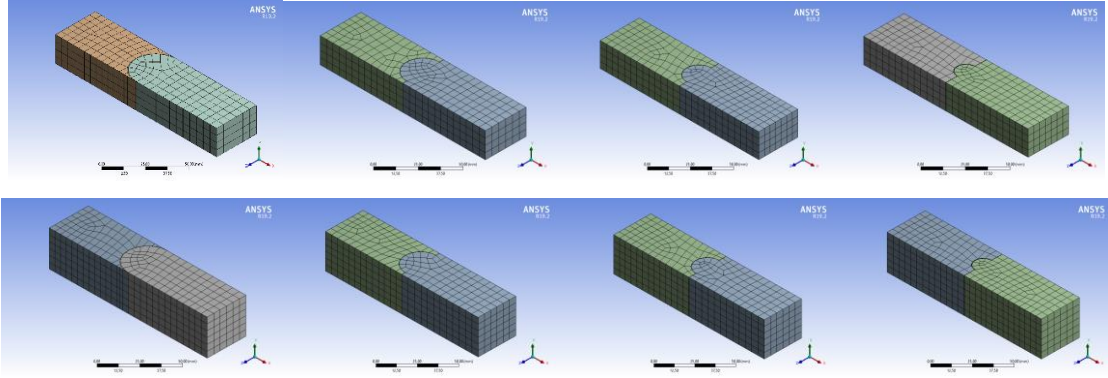
Şekil 2.13. Modellerin perspektif görünüşü

Ansys programında açılan katı model için kullanılan malzemelerin özellikleri tanımlanmıştır. Daha sonra her bir parça için St 60 çeliği ve yapıştırıcılar tanımlanmıştır. Mekanik özellikleri verilen 4 farklı yapıştırıcıdan 3 adet epoksi bazlı (Devcon A, Devcon Titanium ve Akfix-E300) yapıştırıcılar için elastik gerilme analizi yapılmıştır. Akrilik bazlı (Erde GTR) özellikteki yapıştırıcı için ise elasto-plastik gerilme analizi yapılmıştır.

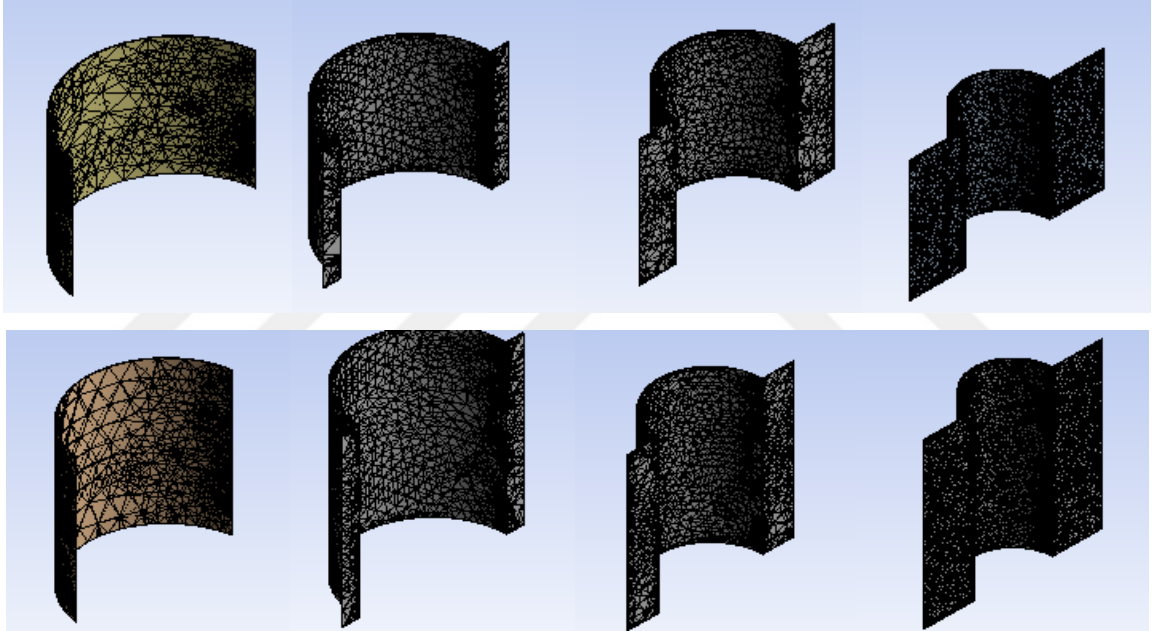
Metal yüzeyler ile yapıştırıcı yüzeyleri arasındaki bağlantı “Bonded” olarak belirlendi. Mech işlemi bu adımdan sonra gerçekleştirildi.

Sonlu elemanlar programında modellenen katı modelin mech işlemi yapıldıktan sonra gerekli olan sınır şartları tanımlanmıştır. Katı modelin dişi parçası sabitlenmiş olup erkek numunesine “x” doğrultusunda kuvvet uygulanmıştır.

Modeller oluşturulduktan sonra model sonlu elemanlara bölünerek sınır şartları uygulanmış ve çözüm gerçekleştirilmiştir. Ansys’de oluşturulan modelin mesh yapısı Şekil 2.14’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.14. Modellerin meshlenmiş hali

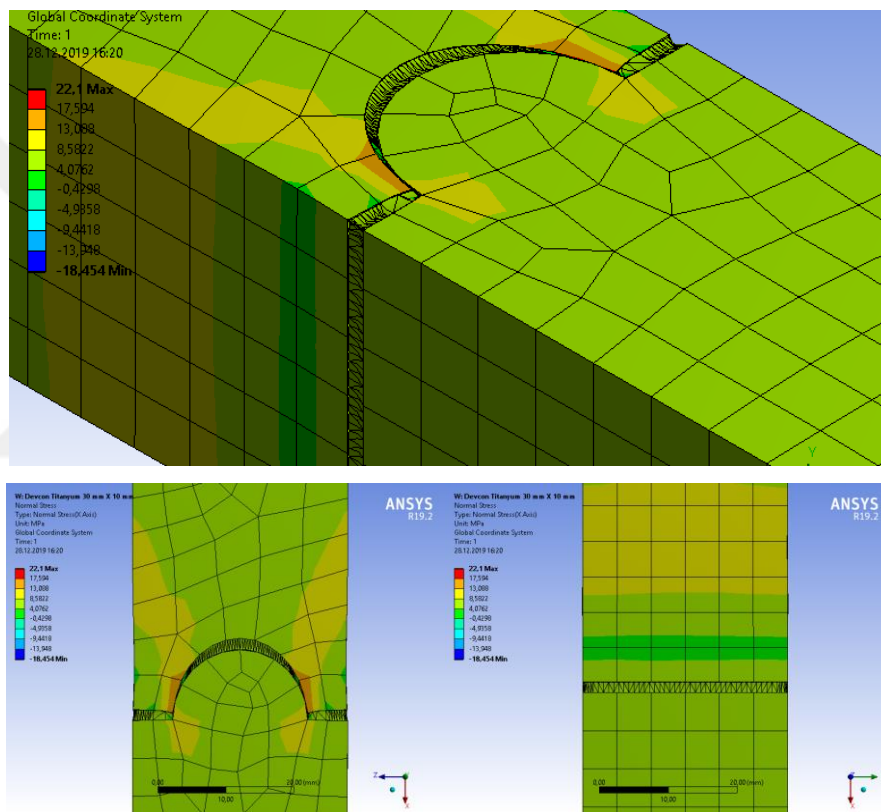


Şekil 2.15. Yapıştırıcının meshlenmiş hali

Şekil 2.15’de gösterildiği şekilde daha doğru sonuç almak için yapıştırıcı için ayrıca mech işlemi yapılmıştır. Yapıştırıcının daha küçük parçalara bölünerek analiz yapılması sonucun doğruluk oranını etkilemektedir. Yapıştırıcı kalınlığının 0,1 mm olması ve köşelerin bulunması mech işlemini zorlaştırmıştır. Bu durum analizin sonuçlanmasının uzun sürmesinde neden olmuştur.

Yapıştırıcı ile St 60 çeliği malzemesi arasındaki ilişki “bonded” olarak tanımlanmıştır. Bu aşamada tanımlanan sınır kuvvetleri ile analiz gerçekleştirilmiştir. Her bir yapıştırıcı için belirtilen dayanım mukavemetleri elde edilinceye kadar ansys programında denemeler yapılmıştır.

Ansys programında elde edilen hasar kuvvetleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Sonlu elamanlar programında bulunan hasar yükleri deneysel hasar yükleri ile kıyaslanmış ve yaklaşım oranları elde edilmiştir.



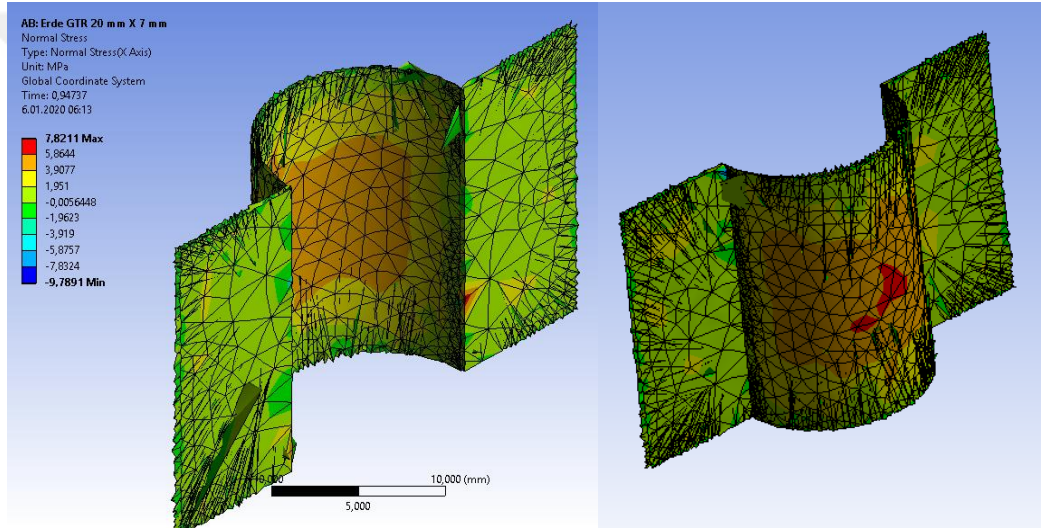
Şekil 2.16. Ansys programında kopma anı

Sonlu elemanlar programında yapılan analizde yapıştırıcının dayanabileceği mukavemet görünümü Şekil 2.16’da görüldüğü gibidir.

Sonlu elemanlar programında analiz yapılırken numunelerin elemanlara ayırma işlemi çok önemlidir. Çalışmada malzemenin kalınlığına ve yapışma alın çapına bağlı olarak

yapıştırıcının kuvveti hesaplandığı için tüm numunelerde aynı şartlarda elemanlara ayırma işlemi yapılmasına dikkat edilmiştir. Lineer olmayan elemanların analizlerinde tek eksenli çekme deneyinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme davranışları dikkate alınmış ve oluşan eş değer gerilmelerin hesaplanması için denklem (2.2)'de verilen von-Mises akma kriteri kullanılmıştır.

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_y\sigma_z - \sigma_z\sigma_x + 3(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2)} \quad (2.2)$$



Şekil 2.17. Gerime Şekil Dağılımı

Ansys programında yapılanan analiz sonucunda elde edilen maksimum gerilme için numune üzerindeki gerilme dağılımı Şekil 2.17'de gösterildiği gibidir.

Kopmanın alın çapının dik kısmından ve kenar köşelerden başladığı maksim gerilmeden anlaşılmaktadır.

### **3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **3.1. Giriş**

Silindirik geçmeli çelik bağlantıların birleştirilmesi çalışmasında St 60 çeliğinden Şekil 2.2’de verilen ölçülere göre numuneler erkek ve dişi olarak üretilmiştir. Tablo 2.1’de verilen parametrelere uygun olarak metal numuneler Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR yapıştırıcıları kullanılarak birleştirilmiştir.

Her bir yapıştırıcının firma tarafından belirlenen özelliklerine dikkat edilerek hazırlanan yapıştırıcı karışımı ile numuneler birleştirilmiş ve belirtilen süre kadar beklenmiştir. Kuruması tamamlanan numuneler 1 mm/dk çekme hızı ile çekme deneyi yapılmış ve gerekli olan sonuçlar alınmıştır.

Çekme deneyinden elde edilen sonuçlar ile sonlu elemanlar programında bulunan sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu bölümde, yapılan çalışma sonucunda 4 farklı yapıştırıcı için malzemenin kalınlığına ve yapışma alan çapının değişimine göre birleşmenin mukavemeti analiz edilmiştir.

#### **3.2. Deneysel ve Sayısal Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar**

Yapıştırma işlemi tamamlanan numuneler çekme deneyine tabi tutularak deney süresince gözlenmiş ve kopmanın gerçekleştiği kuvvetler kayıt edilmiştir. Elde edilen bu bilgilerden faydalanılarak ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Tablo 3.1’de verilmiştir.

Yapıştırıcıların yapıştırılması işlemi sırasında Akfix E300, Devcon A ve Devcon Titanyum yapıştırıcıların yüzeylere uygulanması gayet başarılı olmuştur. Lakin Erde GTR yapıştırıcının hızlı bir şekilde kürleşmesinden dolayı bindirmeli yüzeylerde uygulanmasının daha uygun olacağı geçmeli yüzeylerde ise başarısız olacağı anlaşılmıştır.

Çekme deneyi sonucunda numunelerin yüzeyinde Şekil 2.12'deki resim meydana gelmiştir. Şekilde görüldüğü üzere çekme deneyi sonucunda yapıştırıcı bağlantılarında kohezyon (KH) ve adhezyon hasarının (AH) meydana geldiği görülmektedir. Elde edilen şekillere göre yapıştırma işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.1. Çekme deneyi sonucu numunelerin son hali

Çekme deneyi sonucu elde edilen veriler Tablo 3.1'de belirtilmiştir. 4 farklı yapıştırıcı için toplam 32 numune için elde edilen deneysel hasar kuvveti ile birlikte ortalama kayma mukavemeti de tabloda yazılmıştır. Numunelerde alın altına yapışan kısım ve dairesel yapışan kısım olmak üzere iki farklı yapışma şekli bulunduğu için yapışma alanları ayrıca belirtilmiştir. Yapılan çalışmada 30 mm kalınlığındaki numunelerin, 7 mm çapında olan numunelerdeki farklı sonucun alın dairesel yapışmaya bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 3.1. Deneysel yükleri ve ortalama kayma gerilmeleri

Yapıştırıcı	Bindirme Uzunluğu (mm)	Çap (mm)	Num. No	düz yapışma alanı (mm <sup>2</sup> )	daireysel yapışma alanı (mm <sup>2</sup> )	Toplam yapıştırma alanı (mm <sup>2</sup> )	Deneysel Hasar Yükü (N)	tort (MPa)
Devcon A plastik - Çelik Macun Epoksi	20	16	DA-1	0	1005,31	1005,31	8129	8,09
		13	DA-2	120	816,81	936,81	8373	8,94
		10	DA-3	240	628,32	868,32	7204	8,30
		7	DA-4	360	439,82	799,82	2762	3,45
	30	16	DA-5	0	1357,35	1357,35	10807	7,96
		13	DA-6	180	1225,22	1405,22	8616	6,13
		10	DA-7	360	942,48	1302,48	10028	7,70
		7	DA-8	540	659,73	1199,73	4332	3,61



Tablo 3.1. Devam Deneysel yükleri ve ortalama kayma gerilmeleri

Devcon Titanyum plastik - Çelik Macun Epoksi	20	16	DT-1	0	1005,31	1005,31	6474	6,44
		13	DT-2	120	816,81	936,81	5598	5,98
		10	DT-3	240	628,32	868,32	5160	5,94
		7	DT-4	360	439,82	799,82	2025	2,53
	30	16	DT-5	0	1357,35	1357,35	8373	6,17
		13	DT-6	180	1225,22	1405,22	5695	4,05
		10	DT-7	360	942,48	1302,48	7399	5,68
		7	DT-8	540	659,73	1199,73	4332	3,61
Akfix E300 Suya Dayanıklı Plastik Epoxy Yapıştırıcı	20	16	A-1	0	1005,31	1005,31	10661	10,60
		13	A-2	120	816,81	936,81	10466	11,17
		10	A-3	240	628,32	868,32	9395	10,82
		7	A-4	360	439,82	799,82	3277	4,10
	30	16	A-5	0	1357,35	1357,35	15383	11,33
		13	A-6	180	1225,22	1405,22	11975	8,52
		10	A-7	360	942,48	1302,48	12024	9,23
		7	A-8	540	659,73	1199,73	5647	4,71
Erde GTR	20	16	E-1	0	1005,31	1005,31	1231	1,22
		13	E-2	120	816,81	936,81	696	0,74
		10	E-3	240	628,32	868,32	2914	3,36
		7	E-4	360	439,82	799,82	1204	1,51
	30	16	E-5	0	1357,35	1357,35	1387	1,02
		13	E-6	180	1225,22	1405,22	1669	1,19
		10	E-7	360	942,48	1302,48	1538	1,18
		7	E-8	540	659,73	1199,73	2399	2,00

Tablo 3.2. Ansys edilen hasar yükleri ve yaklaşım oranları

Yapıştırıcı	Bindirme Uzunluğu (mm)	Çap (mm)	Num. No	düz yapışan alan (mm <sup>2</sup> )	dairesel yapışan alan (mm <sup>2</sup> )	Toplam yapıştırma alanı (mm <sup>2</sup> )	Deneysel Hasar Yükü (N)	Ansys Hasar Yükü (N)	Yaklaşım Oranı
Devcon A	20	16	DA-1	0	1005,31	1005,31	8129	9394,6	0,865
		13	DA-2	120	816,81	936,81	8373	8590	0,975
		10	DA-3	240	628,32	868,32	7204	7487	0,962
		7	DA-4	360	439,82	799,82	2762	2733	1,011
	30	16	DA-5	0	1357,35	1357,35	10807	11987	0,902
		13	DA-6	180	1225,22	1405,22	8616	8675,1	0,993
		10	DA-7	360	942,48	1302,48	10028	10032,7	1,000
		7	DA-8	540	659,73	1199,73	4332	4778,9	0,906
Devcon Titanyum	20	16	DT-1	0	1005,31	1005,31	6474	6544,3	0,989
		13	DT-2	120	816,81	936,81	5598	6090,7	0,919
		10	DT-3	240	628,32	868,32	5160	5528,3	0,933
		7	DT-4	360	439,82	799,82	2025	2333,1	0,868
	30	16	DT-5	0	1357,35	1357,35	8373	8245,6	1,015
		13	DT-6	180	1225,22	1405,22	5695	6124,3	0,930
		10	DT-7	360	942,48	1302,48	7399	7606,5	0,973
		7	DT-8	540	659,73	1199,73	4332	4081,6	1,061

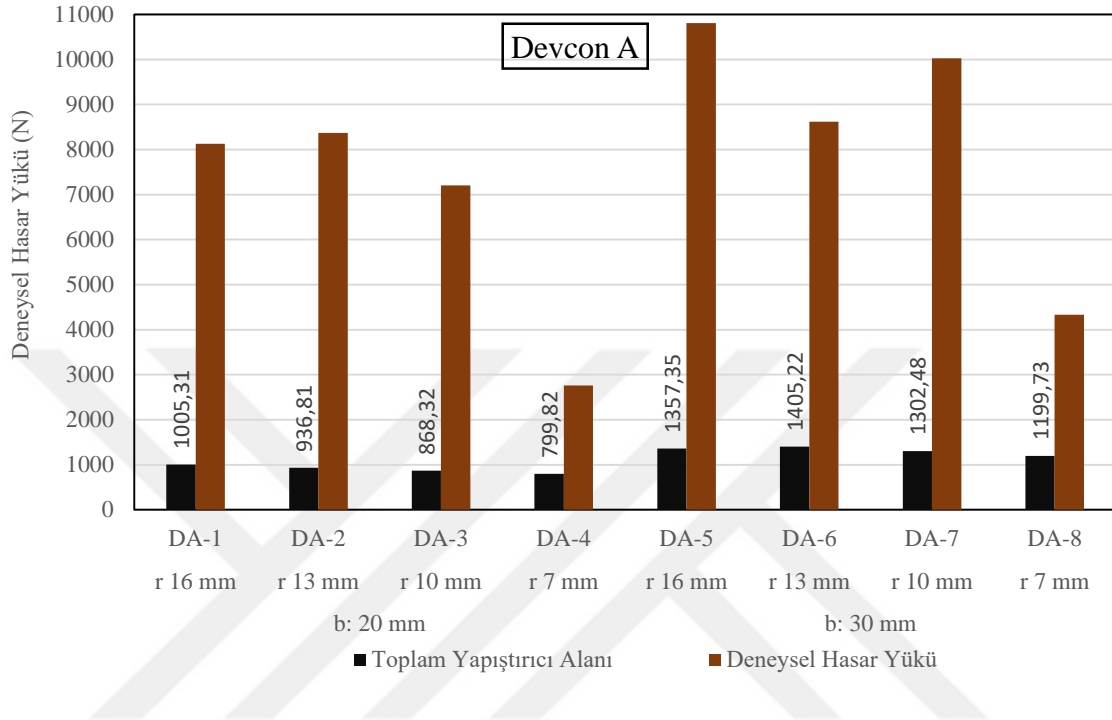
Tablo 3.2. Devam Ansys edilen hasar yükleri ve yaklaşım oranları

Yapıştırıcı	Bindirme Uzunluğu (mm)	Çap (mm)	Num. No	düz yapışan alan (mm <sup>2</sup> )	dairesel yapışan alan (mm <sup>2</sup> )	Toplam yapıştırma alanı (mm <sup>2</sup> )	Deneysel Hasar Yükü (N)	Ansys Hasar Yükü (N)	Yaklaşım Oranı
Akfix E300	20	16	A-1	0	1005,31	1005,31	10661	11986	0,889
		13	A-2	120	816,81	936,81	10466	11689,98	0,895
		10	A-3	240	628,32	868,32	9395	9415,72	0,998
		7	A-4	360	439,82	799,82	3277	3454,49	0,949
	30	16	A-5	0	1357,35	1357,35	15383	15308,55	1,005
		13	A-6	180	1225,22	1405,22	11975	11922,2	1,004
		10	A-7	360	942,48	1302,48	12024	13719,19	0,876
		7	A-8	540	659,73	1199,73	5647	6151	0,918
Erde GTR	20	16	E-1	0	1005,31	1005,31	1231	1258,92	0,978
		13	E-2	120	816,81	936,81	696	761,81	0,914
		10	E-3	240	628,32	868,32	2914	2958	0,985
		7	E-4	360	439,82	799,82	1204	1326	0,908
	30	16	E-5	0	1357,35	1357,35	1387	1400	0,991
		13	E-6	180	1225,22	1405,22	1669	1743	0,958
		10	E-7	360	942,48	1302,48	1538	1573	0,978
		7	E-8	540	659,73	1199,73	2399	2714	0,884

Deneysel hasar kuvveti ile sonlu elemanlar programı ansys’de elde edilen hasar kuvvetleri Tablo 3.2’de gösterilerek değerler arasında kıyaslama yapılmıştır. Çalışmalarda elde edilen sonuçlar kıyaslandığı zaman çalışmanın başarılı olduğu yaklaşım oranı ile gösterilmiştir.

### 3.3. Alın Çapının ve Kalınlığın Bağlantı Dayanımı Üzerinde Etkisi

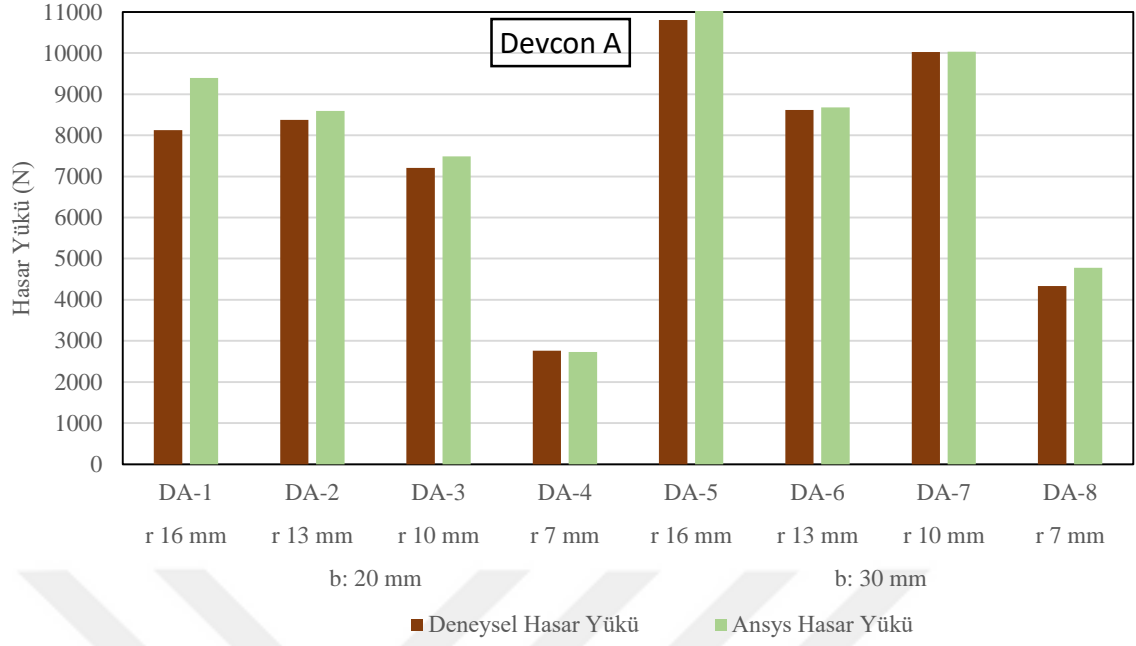
#### 3.3.1 Devcon A:



Şekil 3.2. Devcon A için yapıştırıcı alanına bağlı olarak hasar yükü dağılımı

Devcon A için çekme deneyinden elde edilen numunelerin hasar kuvvetinin yapışma alanına bağlı olarak dağılımı Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Yapılan deneylerde numunelerin çoğu için toplam yapışma alanının artması ile deneysel hasar kuvvetinin arttığı anlaşılmıştır.

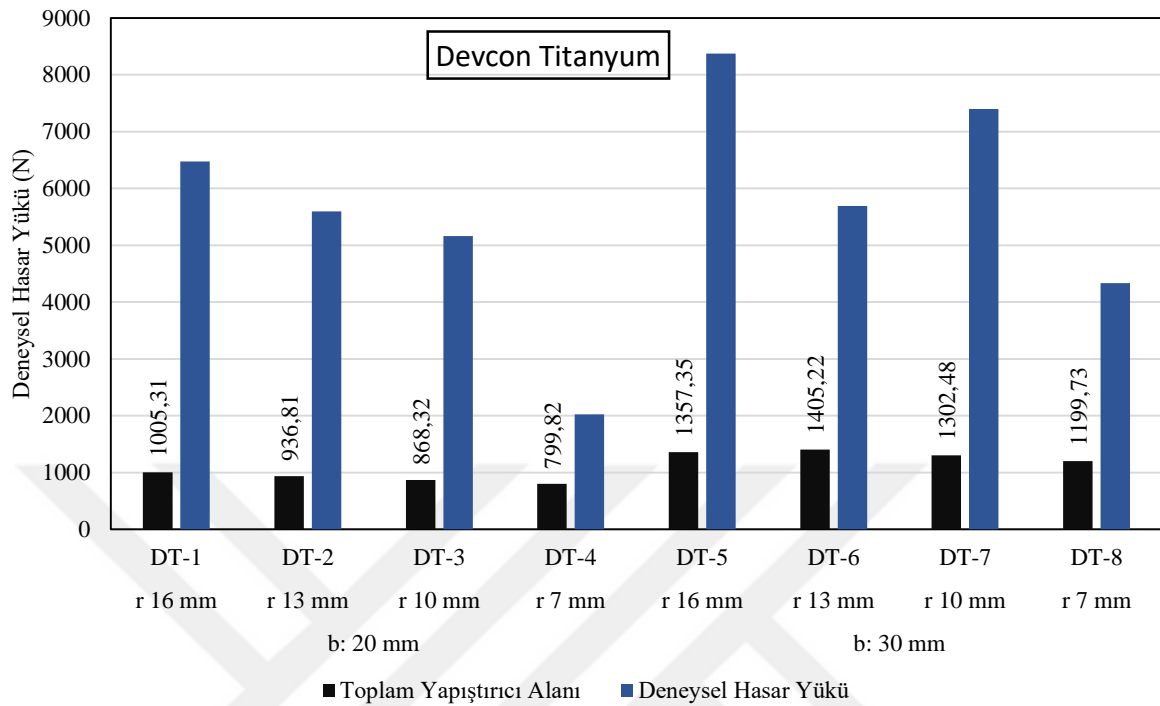
İki farklı kalınlıkta olan numunelerden 30 mm kalınlığındaki ve 7 mm çapındaki numunenin toplam yapışma alanı 10 mm çapındaki numunenin yapışma alanından düşük olmasına rağmen deneysel hasar kuvvetinin arttığı görülmektedir. Buna sebep olarak toplam yapışma alanının azalmasına rağmen alın altına yapışan kısmın artması ile ilişkilidir. Bu çekme deneyi sonucunda devcon A için alın altına yapışmadaki verim dairesel yapışmadan daha fazla olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 3. 3. Devcon A için deneysel hasar yükü ile ansys hasar yükü kıyaslaması

Deneysel hasar yükü ile ansys programında elde edilen hasar yükü kuvvetleri kıyaslandığında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Sonlu elemanlar programında elde edilen sonuçlar ile kıyaslanarak çalışmanın başarılı bir şekilde gerçekleştiği anlaşılmıştır. Devcon A numuneleri için yaklaşım oranının bir olduğu Şekil 3.3’de görülmektedir.

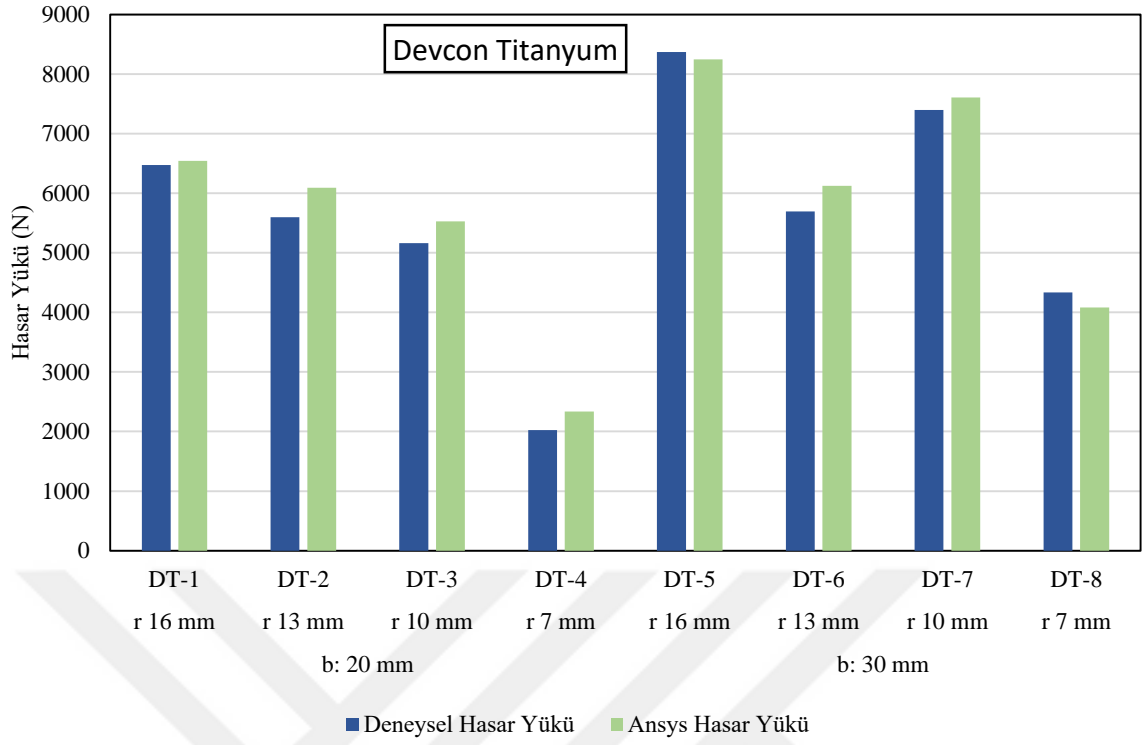
### 3.3.2. Devcon Titanyum:



Şekil 3.4. Devcon Titanyum için yapıştırıcı alanına bağlı olarak hasar yükü dağılımı

Silindirik geçmenin çelik bağlantıların birleştirilmesinde çok kullanışlı olan devcon titanyum yapıştırıcıyla yapılan çekme deneyinde elde edilen hasar kuvvetinin dağılımı Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Devcon Titanyum yapıştırıcının Devcon A yapıştırıcısı kadar yüksek mukavemete sahip olmadığı görülmüştür. Yapıştırıcının alanı artarken mukavemetin Devcon Titanyum’da daha fazla arttığı anlaşılmıştır.

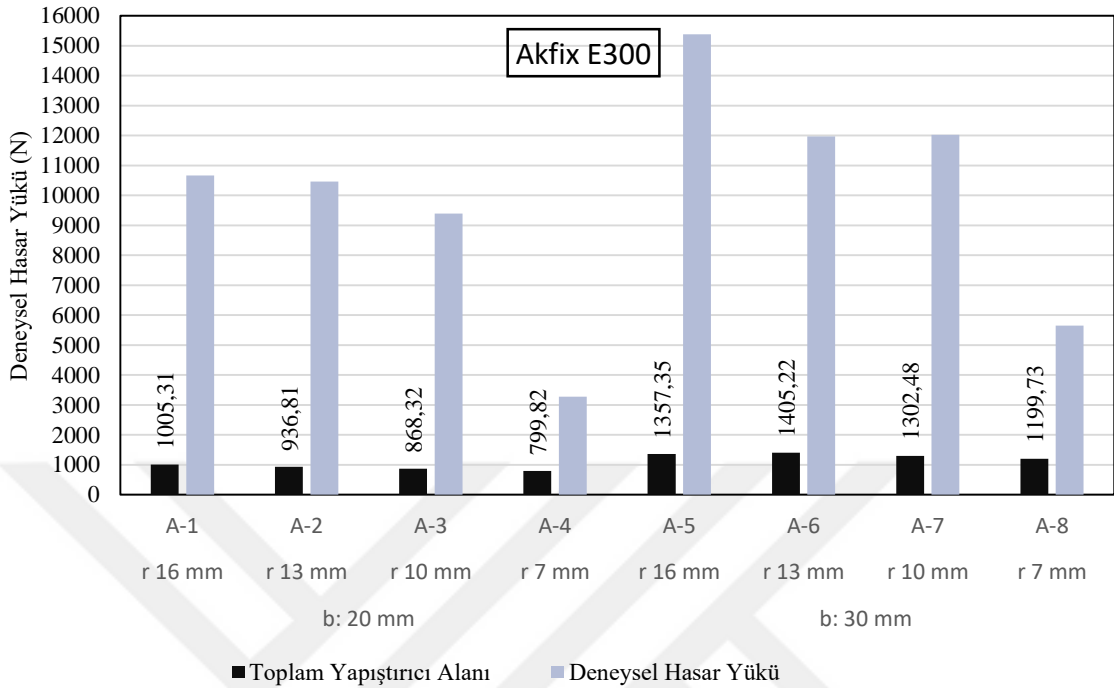
İki farklı kalınlıkta olan numunelerden 30 mm kalınlığındaki ve 7 mm çapındaki numunenin toplam yapışma alanı 10 mm çapındaki numunenin yapışma alanından düşük olmasına rağmen deneysel hasar kuvvetinin arttığı görülmektedir. Buna sebep olarak toplam yapışma alanının azalmasına rağmen alın altına yapışan kısmın artması ile ilişkilidir. Bu çekme deneyi sonucunda Devcon Titanyum için alın altına yapışmadaki verim dairesel yapışmadan daha fazla olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 3.5. Devcon Titanyum deneysel hasar yükü ile ansys hasar yükü kıyaslaması

Deneysel hasar yükü ile ansys programında elde edilen hasar yükü kuvvetleri kıyaslandığında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Sonlu elemanlar programında elde edilen sonuçlar ile kıyaslanarak çalışmanın başarılı bir şekilde gerçekleştiği anlaşılmıştır. Devcon Titanyum numuneleri için yaklaşım oranının bir olduğu Şekil 3.5’de görülmektedir.

### 3.3.3. Akfix E300:



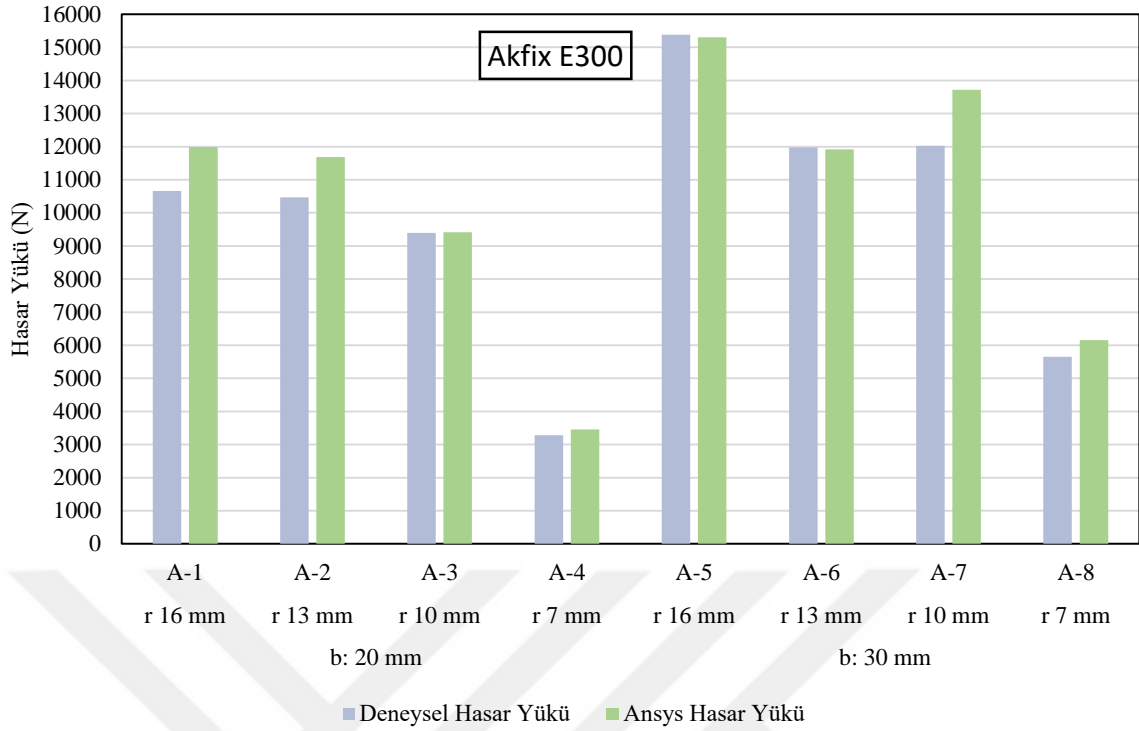
Şekil 3.6. Akfix E300 için yapıştırıcı alanına bağlı olarak hasar yükü dağılımı

Dört farklı yapıştırıcı ile yapılan çalışmada en yüksek mukavemet Akfix E300 yapıştırıcıda elde edilmiştir. Yapılan çalışmada yapıştırıcının birleşme çapının 7 mm'den 10 mm'ye çıkması sonucunda hasar yükünün büyük oranda arttığı 13 ve 16 mm'de ise aynı oranda kuvvetin artmadığı anlaşılmıştır.

Çekme deneyi sonucunda toplam yapıştırıcı alanına bağlı olarak hasar yükünün dağılımı Şekil 3.6'de gösterilmiştir.

Akfix E300 çekme deneyinde iki farklı kalınlıkta olan numunelerden 30 mm kalınlığındaki ve 7 mm çapındaki numunenin toplam yapışma alanı 10 mm çapındaki numunenin yapışma alanından düşük olmasına rağmen deneysel hasar kuvvetinin arttığı görülmektedir. Buna sebep olarak toplam yapışma alanının azalmasına rağmen alın altına yapışan kısmın artması ile ilişkilidir. Bu çekme deneyi sonucunda Akfix E300 için alın altına yapışmadaki verim dairesel yapışmadan daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

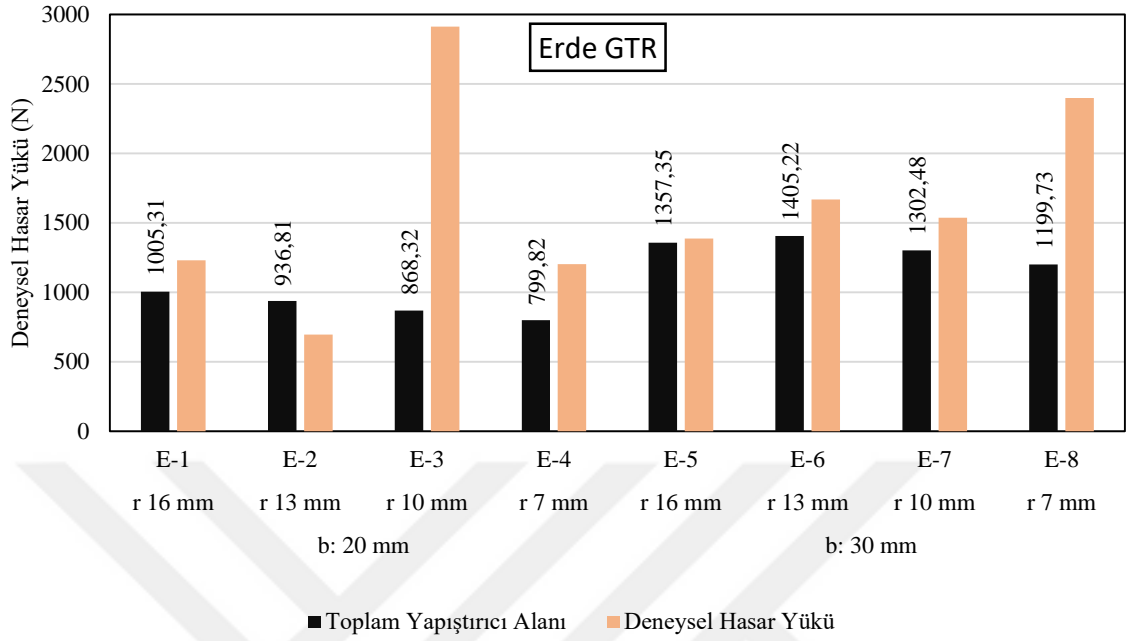




Şekil 3.7. Akfix E300 için deneysel hasar yükü ile ansys hasar yükü kıyaslaması

Deneysel hasar yükü ile ansys programında elde edilen hasar yükü kuvvetleri kıyaslandığında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Sonlu elemanlar programında elde edilen sonuçlar ile kıyaslanarak çalışmanın başarılı bir şekilde gerçekleştiği anlaşılmıştır. Akfix E300 numuneleri için yaklaşım oranının 1 olduğu Şekil 3.7’de görülmektedir.

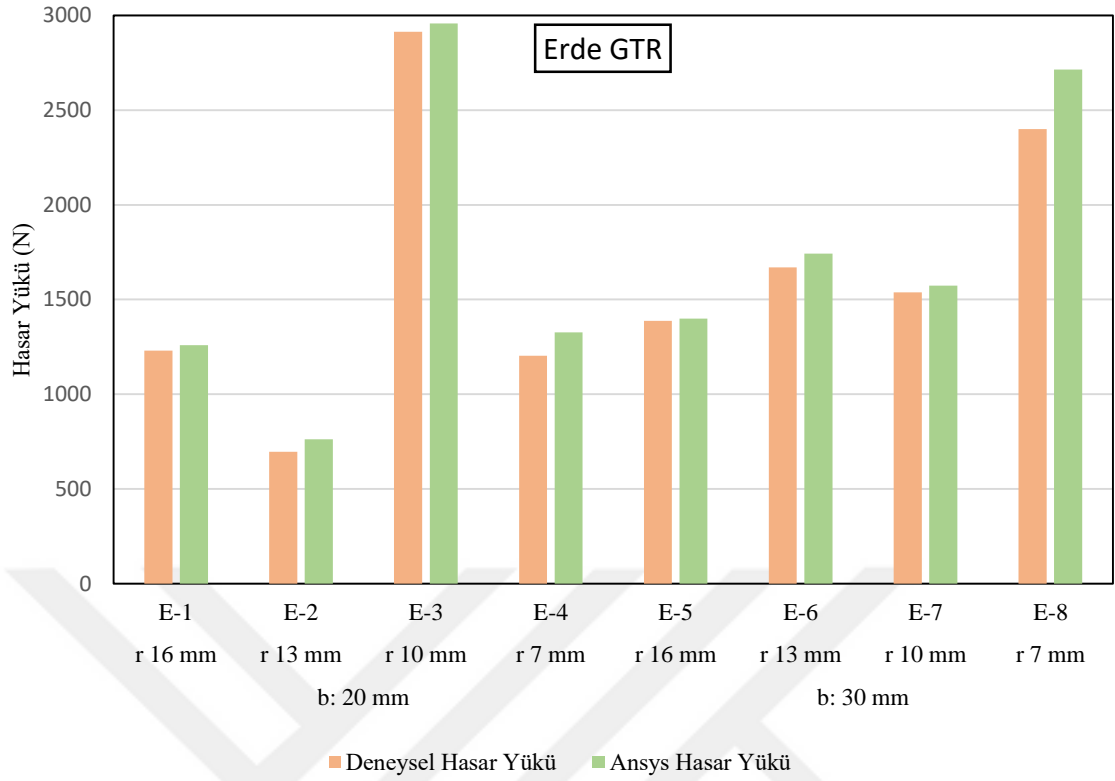
### 3.3.4. Erde GTR:



Şekil 3.8. Erde GTR için yapıştırıcı alanına bağlı olarak hasar yükü dağılımı

Non-lineer özelliğe sahip Erde GTR yapıştırıcı ile yapılan çekme deneyleri sonucunda elde edilen hasar kuvvetleri diğer yapıştırıcılara göre zayıf çıkmıştır. Bu yapıştırıcının çok kısa sürede kurluşuyor olması, bu yapıştırıcının alın altına olmayan birleşmelerde kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Deneysel hasar kuvvetlerinin toplam yapıştırıcı alanına bağlı olarak değişimi Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

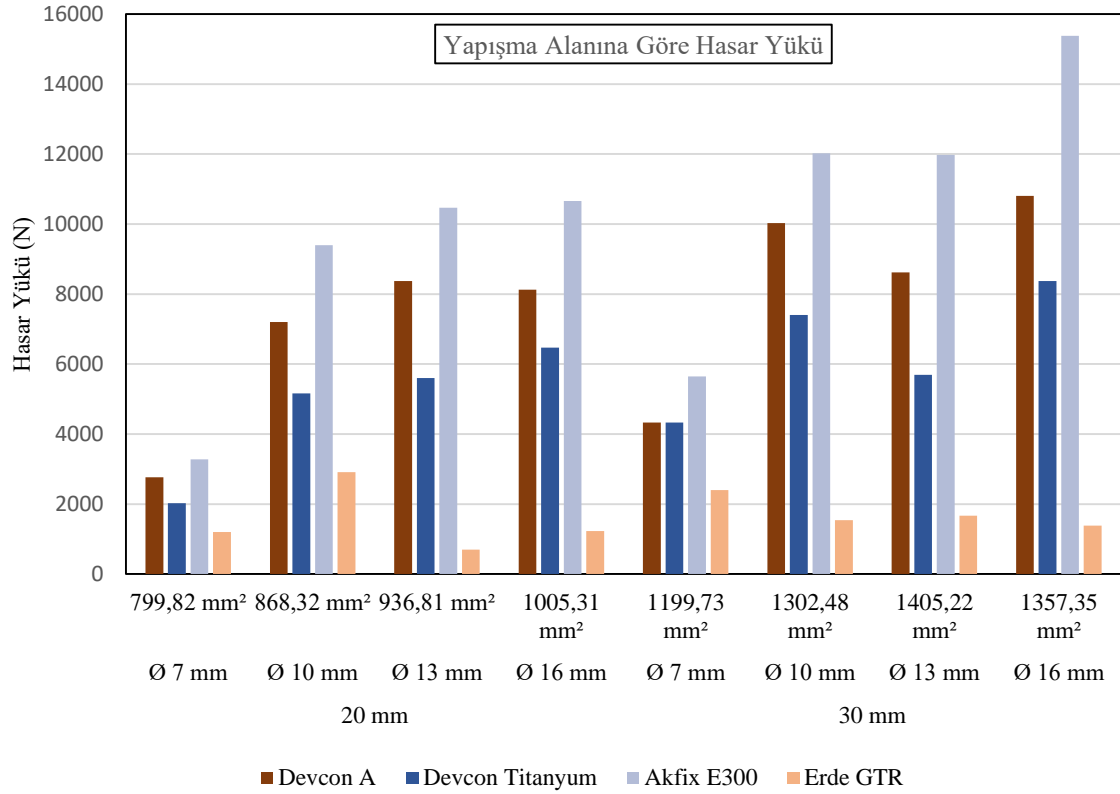
Toplam yapışma alanı azalmasına rağmen 7 ve 10 mm çapında olan numunelerde düz yapışma alanına bağlı olarak hasar kuvveti artmıştır. Bu yapıştırıcının diğer yapıştırıcılara nazaran alın altına yapışmada daha başarılı olduğu lakin mukavemeti zayıf olduğu için hasar kuvveti düşük çıkmıştır.



Şekil 3.9. Erde GTR için deneysel hasar yükü ile ansys hasar yükü kıyaslaması

Sonlu elemanlar programında malzeme özellikleri Non-lineer olarak tanımlanan erde GTR yapıştırıcısının ansys programında elde edilen hasar yükü ile deneysel hasar yükü Şekil 3.9'de gösterilmiştir. Numunelerin deneysel çekme işlemi sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde grafikte görüldüğü şekilde yaklaşım oranı 1'dir ve başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.

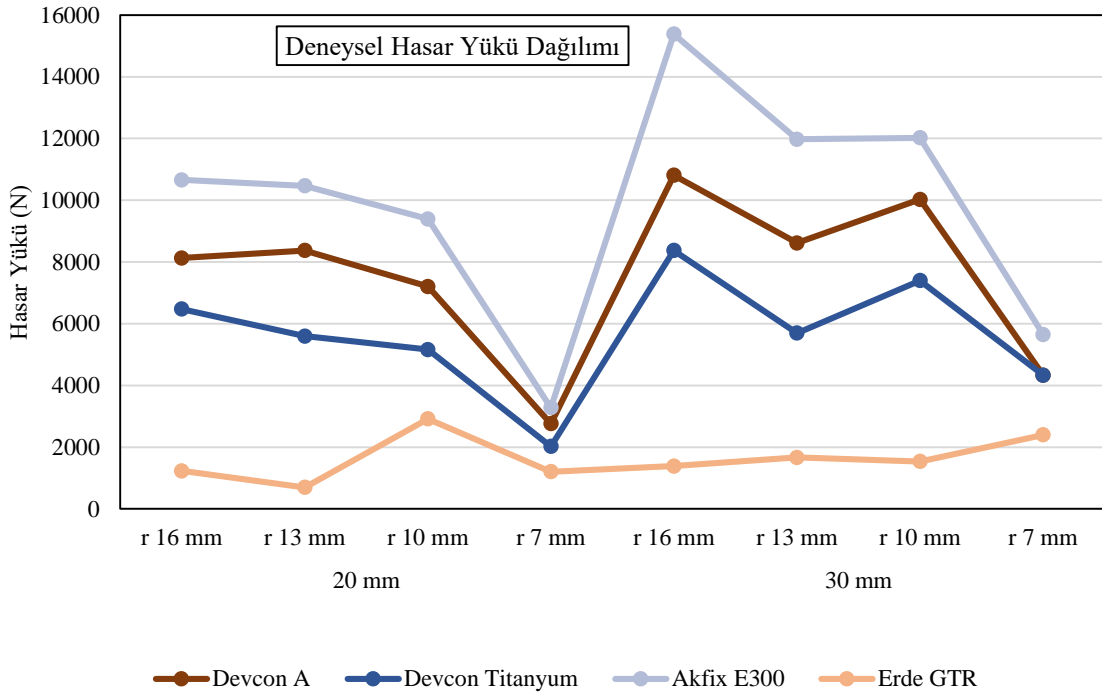
### 3.3.5. Yapıştırıcılar Arası Kıyaslama:



Şekil 3.10. Yapışma alanına göre deneysel hasar yükü dağılımı

Deneysel yapılan çalışma ve sonlu elemanlar analizi sonucunda en yüksek mukavemet Akfix E300'de elde edilmiştir. Yapıştırıcıların yapışma alanı artması ile mukavemetin arttığı lakin aynı oranda artmadığı anlaşılmıştır. 7 mm çapındaki silindirik kısım 10 mm olduğunda mukavemetin ciddi derecede arttığı 10 mm'den sonra ise az arttığı görülmüştür.

Silindirik yüzeylerin birleştirilmesinde yapıştırma işleminin kolay bir şekilde gerçekleşmesi ve yüksek mukavemetlerin elde edilmesi Akfix E300, Devcon A ve Devcon Titanyum'da gerçekleşmiştir. Ayrıca 4 farklı yapıştırıcı için toplam yapışma alanı azalmasına rağmen 7 mm çapındaki numunede alın altına yapışan kısım arttığı için mukavemet 10 mm çapındakinden fazla olduğu görülmüştür.



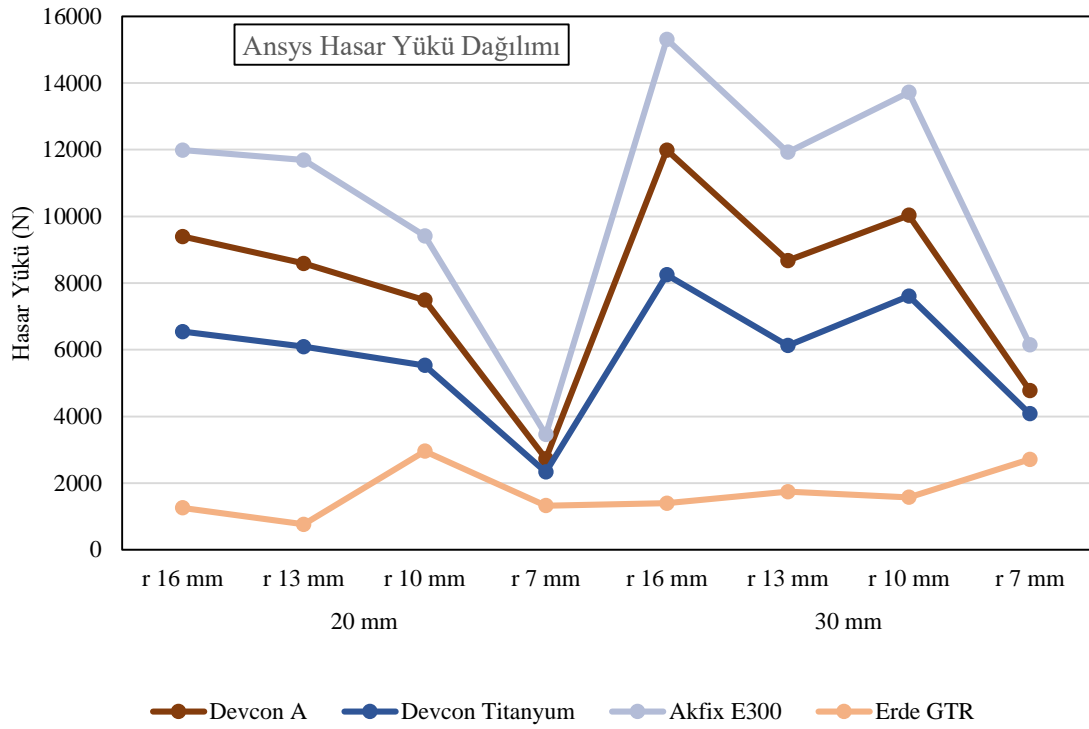
Şekil 3.11. Deneysel hasar yükünün çapa ve kalınlığa göre değişimi

Yapılan çalışma sonucunda en yüksek deneysel hasar yükü Akfix E300’de elde edilmiştir. Şekilde 3.11’de görüldüğü üzere 30 mm kalınlığındaki numunelerin silindirik kısmı 10 mm çapında olan malzemelerde toplam yapışma alanı düşmesine rağmen deneysel hasar yükü artmıştır.

Çekme deneyinde Akfix E300, Devcon A ve devcon Titanium yapıştırıcılar ile birleştirilen numunelerin yapışma alanının değişimine bağlı olarak mukavemetlerde değişim ciddi orandadır. Erde GTR yapıştırıcıda ise değişim zayıftır.

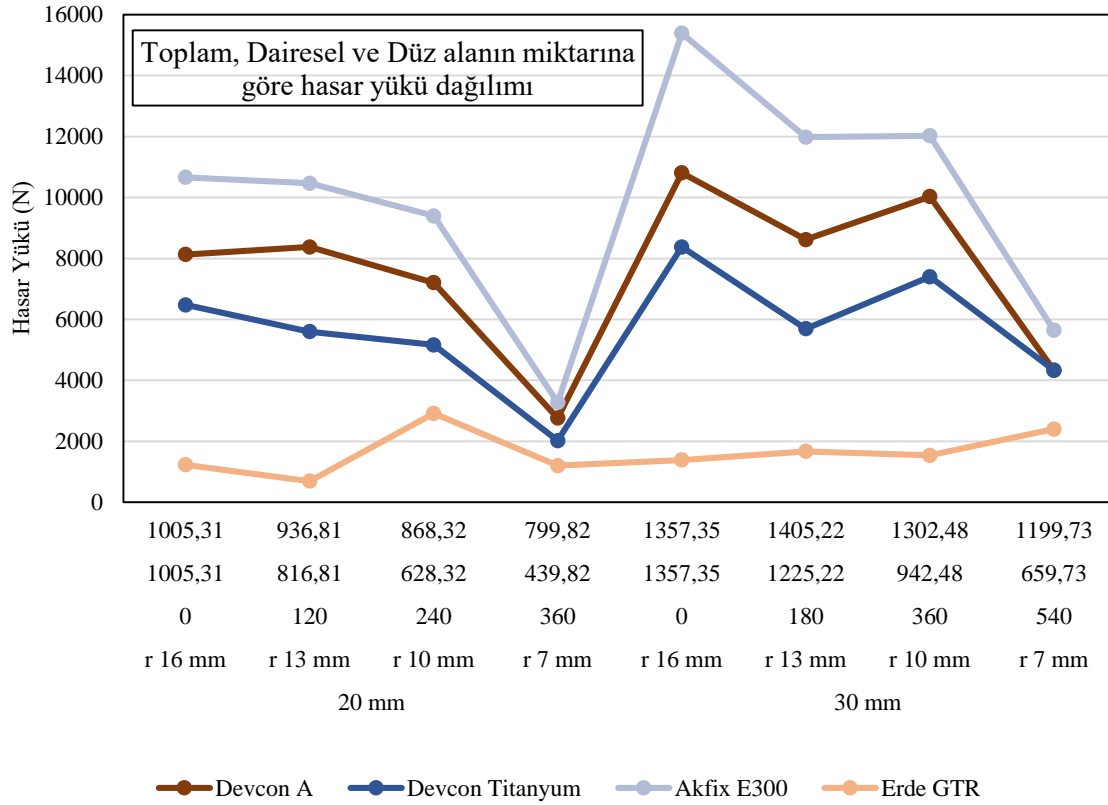
Deneysel hasar yükü grafiği incelendiğinde Devcon A ve Devcon Titanium yapıştırıcı için 30 mm malzeme kalınlığı için silindirik yapışan kısmın çapı 7 mm olan numuneler için aynı sonuç elde edildiği görülmektedir.

Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanium yapıştırıcıları için çap ve kalınlık arttığı zaman mukavemetlerinin daha fazla oranda arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.12. Yapıştırıcıların çapa ve kalınlığa göre ansys'de hasar yükü dağılımı

Sonlu elemanlar programında elde edilen hasar yükleri deneysel hasar yüklerine yakındır. Akfix E300, Devcon A ve devcon Titanyum yapıştırıcıları ile yapılan çalışmaların, yapıştırıcıların lineer özelliklere sahip olmasından dolayı daha kullanışlı ve daha mukavemetlidir. Bu yapıştırıcılar için elastik gerilme analizi, Erde GTR için ise elasto-plastik gerilme analizi yapılmıştır (Şekil 3.12).

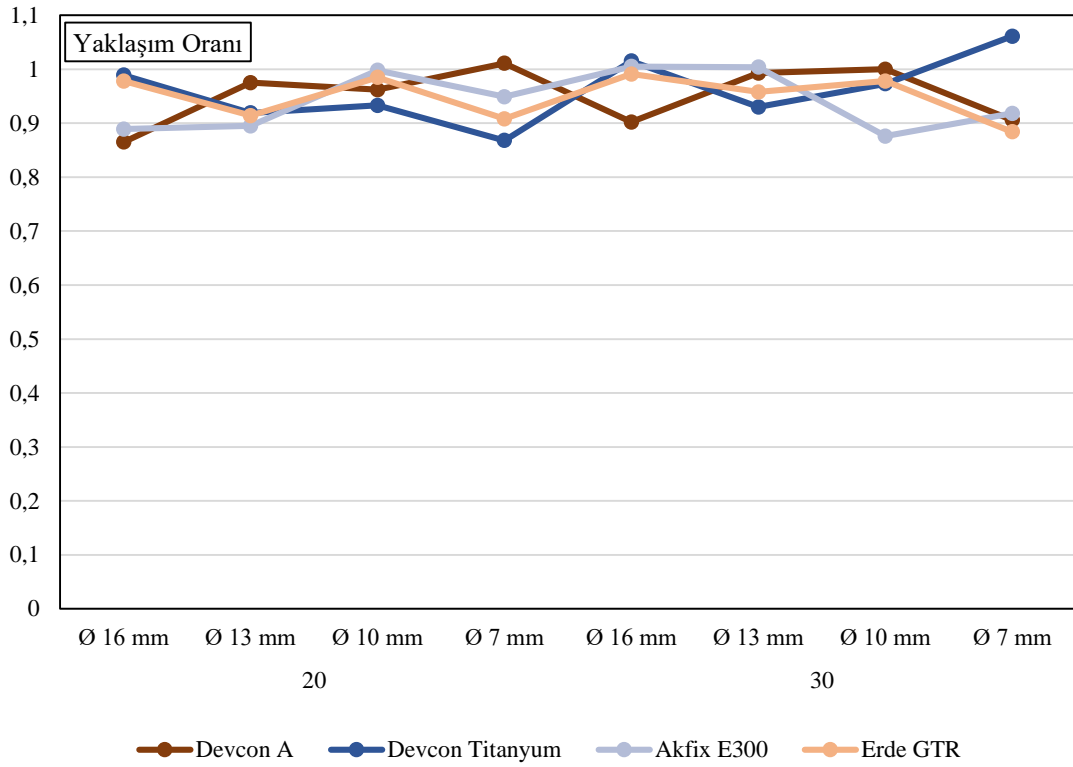


Şekil 3.13. Yapışma alanının şekline göre hasar yükü dağılımı

Şekil 3.13’de düz yapışma alanı, dairesel yapışma alanı ve toplam yapışma alanına bağlı olarak hasar yükü dağılımı grafiği verilmiştir. Akfix E300, Devcon A ve devcon Titanium yapıştırıcıları için 20 mm kalınlığındaki numunede çapın ve toplam yapışma alanının azalması ile hasar yükünün azaldığı görülmektedir. Erde GTR’de ise düz yapışma alanının artmasına bağlı olarak mukavemetin arttığı görülmektedir.

30 mm kalınlığındaki numunelerde ise çapın ve toplam yapışma alanının azalmasına rağmen 10 mm çapındaki silindirik yüzeylere sahip olan malzemelerde kuvvet artmıştır.

Ansys programında yapılan analizde elde edilen Şekil 2.16’de görüldüğü gibi çekme deneyi sırasında kopmaların silindirik kısımların ucundan ve malzemenin yapışan köşesinden gerçekleştiği anlaşılmıştır.



Şekil 3.14. Yaklaşım oranı dağılımı

4 farklı yapıştırıcı için 2 farklı kalınlıkta ve 4 farklı çapta olan 32 numune ile gerçekleştirilen deneysel çekme işleminde ve sayısal analizde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde Şekil 3.14’de görüldüğü gibi yaklaşım oranı 1 olarak bulunmuştur. Bu sonuç yapıştırıcıyla birleştirilmiş silindiri geçmenin çelik bağlantıların mekanik analizi çalışmasının başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.



## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yapıştırıcı ile birleştirilmiş silindirik geçmeli bağlantılarda bağlantı mukavemeti üzerine bindirme kalınlığı ve silindirik kısmın çapının etkisini tespit etmek amacıyla üretilen numuneler, metal bağlantıların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan epoksi bazlı 3 farklı yapıştırıcı ve akrilik bazlı bir yapıştırıcı olmak üzere toplam 4 yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş ve toplam 32 adet silindirik geçmeli bağlantı elde edilmiştir. Elde edilen bu bağlantılar aksenal çekme deneylerine maruz bırakılarak her bir bağlantının bağlantı mukavemeti tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak sunulmuştur.

Genel olarak yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların mukavemeti; birleşen parçaların büyüklüğüne, kalınlığına, geometrisine, elastisite modülüne yapıştırıcının kayma modülüne, yapışma uzunluğuna, yapışma yüzeylerinin ön işlemlerine, yapışma işlemine ve yapıştırıcı birleştirmeli bağlantının maruz kalacağı çevresel şartlara bağlıdır (Solmaz 2008).

Çekme deneyinden sonra aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Üretilen tüm numunelerin malzeme kalınlığının ve silindirik kısmın çapındaki değişimlerinde soyulma etkisi oluşmuştur. Şekil 2.12 incelendiğinde yapıştırıcı bağlantılarında kohezyon (KH) ve adhezyon hasarının (AH) olduğu görülmektedir. Yapıştırıcıların tamamında yüzeyden soyulma (AH) ya da kopma şeklinde hasarlar oluşmuştur.

En yüksek kayma dayanımı 30 mm kalınlığında ve 16 mm çapında silindirik yapışma alanına sahip Akfix E300 kullanılarak birleştirilen bağlantıda elde edilmiştir.

Malzeme kalınlığı ve silindirik yapışma çapı azaldıkça genel olarak bağlantıların dayanımının azaldığı görülmüştür. 30 mm kalınlığındaki numunelerin 10 mm silindirik çapında ise 13 mm çapından daha fazla bağlantı mukavemeti elde edilmiştir. 4 farklı yapıştırıcı için 30 mm kalınlığında ve 10 mm çapında daha fazla kuvvetin elde edilmesinin düz yapışma kabiliyetlerinin silindirik yapışmaya nazaran daha mukavemetli olduğu anlaşılmıştır.

4 farklı çap ve 2 farklı kalınlık için Akfix E300 ile birleştirilen bağlantıların kayma dayanımları Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR ile birleştirilen bağlantıların kayma dayanımlarından daha yüksek olarak tespit edilmiştir.

Özellikleri birbirinden farklı 4 yapıştırıcı kullanılarak, 4 farklı yapıştırma çapında ve 2 farklı kalınlıkta numuneler birleştirilmiş silindirik geçmeli bağlantılar için, yapıştırıcılar ve yapıştırılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme davranışları dikkate alınarak lineer (Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum) ve non-lineer (Erde GTR) sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Tablo 3.2’de verilen çekme deneyi sonucunda elde edilen hasar yükleri ile Ansys’de yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen hasar yükleri arasında çok iyi bir uyumun olduğu görülmüştür.

Ansys sonlu eleman analiz sonuçlarına göre çekme yüküne maruz yapıştırma bağlantılarında maksimum eşdeğer gerilmeler yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemelerin silindirik kısımların köşe yüzeyinde meydana gelmektedir.

Kayma gerilmesi değerlerinde çoğunlukla Erde GTR’nin minimum değerler aldığı görülmektedir. Kayma gerilmesi numunenin kalınlığına bağlı olarak çok az değişimle birlikte silindirik kısımların çapındaki farklılığa göre fazla değişmektedir. 4 farklı çap ve 2 farklı kalınlık için kayma gerilme değerleri Erde GTR < Devcon Titanyum < Devcon A < Akfix E300 şeklinde sıralanmaktadır.

Yapıştırıcıların sadece çekme dayanımı dikkate alınarak, yapıştırma bağlantılarında gösterecekleri davranışı belirlemek zordur.

## KAYNAKLAR

Adams RD (1989) Strength Predictions for Lap Joints, Especially with Composite Adherents, A Review. *Journal of Adhesion*, 30, s. 219-242

Apalak MK, Davies R (1993) Ananalysis and Design of Adhesively Bonded Corner Joints, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, 13(4) s. 219-235

Aydın MD, Özel A, Temiz Ş (2005) The effect of adherent thickness on the failure of adhesively bonded single-lap joints, *J. Adhesion Sci. Technology* 19(8): 705-718

Aydın S (2012) Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Prizmatik Geçmeli Bağlantıların Mekanik Analizleri Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ s. 47-62

Bascom WD, Cottington RL, Jones RL, Peyser P (1975) The fracture of epoxy and elastomer-modified epoxy polymers in bulk and as adhesives. *J. Asl. Polym. Sci* 19: 2545-2562

Bascom WD, Cottington RL, Timmons CO (1977) Fracture reliability of structural adhesives, *J. Asl. Polym. Sci. Asl. Polym. Symp.* 32: 165-188

Bikerman JJ (1967) Causes of poor adhesion. *Indus Eng Chem.* 59(9): 40e4

Chai H (1988) Fracture work of thin bondline adhesive joints, *J. Mater. Sci. Lett.* 7: 399-401

Da Silva LFM, Carbas RJC, Critchlow GW, Figueiredo MAV, Brown K (2009) Effect of material surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints, *Int. J. Adhes. Adhes*, 29: 621-632

Daghiyani HR, Ye L, Mai Y-W (1995) Mode-I fracture behaviour of adhesive joints part I. relationship between fracture energy and bond thickness, *J. Adhes* 53: 149-162

Delale F, Erdogan F, Aydınoglu MN (1980) Stress in Adhesively Bonded Joints; Closed Form Solution, *Journal of Composite Materials*, 15: 249-271

DeMejo LP, Rimai DS, Sharpe LH (1999) *Fundamentals of Adhesion and Interfaces*. Taylor & Francis; London s. 4-56

Deraguin BV, Smilga VP (1967) *J. Asl. Phys.* 38: 4609-4610

Hitchcock SJ, Carroll NT, Nicholas MG (1981) Some effects of substrate roughness on wettability, *J. Mater. Sci.* 16: 714-732

Hosseinzadeh R, Taheri F (2009) Non-linear investigation of overlap length effect on torsional capacity of tubular adhesively bonded joints, *Composite Structures* 91: 186-195

Kawashita LF, Kinloch AJ, Moore DR, Williams JG (2008) The influence of bond line thickness and peel arm thickness on adhesive fracture toughness of rubber toughened epoxy–aluminium alloy laminates. *Int. J. Adhes. Adhes.* 28: 199-210

Kinloch AJ, Shaw SJ (1981) The fracture resistance of a toughened epoxy adhesive, *J. Adhes* 12: 59-77

Li G, Lee, Sullivan P (2001) Finite element and experimental studies on balanced single lap joints in tension, *Int. J. Adhesion Adhesives* 21: 211-220

Li W, Blunt L, Stout KJ (1997) Analysis and design of adhesive-bonded tee joints, *Int. J. Adhesion and Adhesives* 17: 303-311

Morrissey MA, Johnson WR (1985) *Adhesive and Cements*, Douglas Aircraft Company Design Handbook, California s. 12-24

Nemes O, Lachaud F (2010) Double-lap adhesive bonded-joints assemblies modeling, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 30: 288-297

Ojalvo IU, Eidinoff HL (1978) *AIAA J*, 16, s. 204

Petrie EM (2002) *Plastics and adhesives as adhesives*. In: Harper CA, ed. *Handbook of Plastics and Elastomers*. 4th ed., McGraw-Hill, New York s. 37-70

Possart W (1988) *Int J Adhes*, 8, s. 77

Renton WJ, Vinson JR (1975) b. *On The Behaviour of Bonded Joints in composite Material Structures*, *Engineering Fracture Mechanics* 7: 41-60

Sancaktar E, Gomatam R (1998) A study on the Effects of Surface Roughness on The Strength of single Lap Joints, ASME DE. 100: 91-111

Sawyer JW, Cooper PA (1981) Analytical and Experimental Results for Bonded Single Lap, Joints With Performed Adherends, AIAA Journal 19(11): 1443-1451

Schmueser DW, Johnson NL (1990) Effect of bondline thickness on mixed-mode debonding of adhesive joints to electroprimed steel surfaces, J. Adhes 32: 171-91

Shahid M, Hashim SA (2002) Effect of surface roughness on the strength of cleavage joints, International Journal of Adhesion & Adhesives 22: 235-24

Shields J (1984) Adhesives Handbook, 3rd ed., Butterworth, London s. 10-29

Solmaz MY (2008) Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ s. 4-50

Taib AA, Boukhili R, Achion S, Boukehili A (2006) Bonded joints with composite adherends. Part II. Finite element analysis of joggle lap joints, International Journal of Adhesion & Adhesives 26: 237-248

Tamblin JS, Yang C, Harter P (2001) Investigation of thick bondline adhesive joints, June, DOT/FAA/AR-01/33

Turgut A, Sancaktar E (1991) The Effects of Cure and Loading Conditions on Fiber matrix Adhesion. The Adhesion Society 41: 24-26

Vaidya UK, Gautam ARS, Hosur M, Dutta P (2006) Experimental-numerical studies of transverse impact response of adhesively bounded lap joints in structures, Int. Journal of Adhesion & Adhesives 26: 184-198

Venables JD (1984) Adhesion and durability of metal-polymer bonds, Journal of Materials Science 19: 2431-2453

Volkersen O (1938) Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten, Luftfahrtforschung 15: 41-47

Volkersen O (1965) Recherches sur la theorie des assemblees colles, Construction Metallique 4: 3-13

Wooley GR, Carver DR (1971) Stress Concentration Factors for Bonded Lap Joints, J.Aircraft, 8(10): 817-820

Yıldırım M, Apalak M. K, Ekici R (2008) Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Alüminyum-Çelik Sandviç Bağlantıların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının İncelenmesi, HaSeM'08 VII. Havacılık Sempozyumu, Kayseri, 15-16 Mayıs, s. 134



## ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Talha ACAR 1990 yılında Samsun'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Amasya'da tamamladı. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümüne girdi ve 2013 yılında mezun oldu. Aynı yıl iş sağlığı ve güvenliği alanında sertifika aldı. Hâlihazırda iş güvenliği uzmanlığı vazifesine devam etmektedir. 2017 yılında askerlik görevini Tekirdağ / Çorlu inşaat- emlak bölge başkanlığında yedek subay olarak tamamladı. Evli ve Elazığ'da yaşamaktadır.