

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

**EĞRİSEL GEOMETRİLİ YÜZEYLERİN YAPIŞTIRILMASI  
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bahar AKÇADAĞ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mahir UZUN**

**HAZİRAN 2022**

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

**EĞRİSEL GEOMETRİLİ YÜZEYLERİN YAPIŞTIRILMASI  
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bahar AKÇADAĞ  
36193618047**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mahir UZUN**

**HAZİRAN 2022**



## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının tüm aşamasında desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden her zaman yararlandığım çok kıymetli danışman hocam Sayın Doç.Dr. Mahir UZUN'a, analiz çalışmalarımın hazırlanmasında desteklerini ve bilgilerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ'e, laboratuvar çalışmalarına desteklerinden ötürü Sayın Arş. Gör. Yusuf Eren Erdoğan'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tezin uygulama aşamasında FYL-2021-2295 nolu proje ile maddi ve manevi desteklerinden ötürü, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi'ne teşekkür ederim.

Bugünlere gelmede destekleriyle her daim yanımda olan canım aileme, nişanlım Mesut ARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezin bütün aşamasında bilgilerini ve deneyimlerini benden esirgemeyen, bana olan inancını bir an olsun kaybetmeyen, bu süreci gülümseyerek tamamlama yardımcı olan kıymetlim Emine AKÇADAĞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

## ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum ‘‘Eğrisel Geometrilik Yüzeylerin Yapıştırılması ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması’’ başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Bahar AKÇADAĞ



## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	ii
ONUR SÖZÜ .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT .....	xii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER .....</b>	<b>3</b>
2.1 Yapıştırıcılar .....	3
2.2 Yapıştırıcının Tarihçesi .....	5
2.3 Yapıştırıcıların Sınıflandırılması .....	5
2.4 Yapışma .....	7
2.5 Yapışmayı Etkileyen Faktörler .....	9
2.6 Yapışma Teorileri .....	10
2.6.1 Mekanik tutunma teorisi .....	10
2.6.2 Difüzyon teorisi .....	11
2.6.3 Adsorpsiyon teorisi .....	11
2.6.4 Elektrostatik teorisi .....	11
2.7 Yapışma Hasarları .....	12
2.8 Yapışma Faktörleri .....	13
2.9 Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi .....	14
2.10 Yapıştırıcı İle Birleştirilmesi Yapılan Malzemeler .....	17
<b>3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>19</b>
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>29</b>
4.1 Numunelerin Modellenmesi .....	29
4.2 Sonlu Elemanlar Analizi.....	32
4.2.1 Çekme Analizi .....	33
4.2.2 Üç Nokta Eğme Analizi.....	44
4.3 Deneysel Çalışma .....	54
<b>5. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>64</b>
5.1 Çekme Analizi Sonuçları .....	64
5.2 Üç Nokta Eğme Analizi Sonuçları .....	69
5.3 Deney Sonuçları .....	75

<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>80</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>82</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>88</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

**Çizelge 4.1:** St 52 Yapı Çeliğinin Mekanik Özellikleri..... 32

**Çizelge 4.2 :** DP 8405 Yapıştırıcı Mekanik Özellikleri..... 33





## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1: Kaynakla, perçinle ve yapıştırıcıyla birleştirme yöntemlerinde meydana gelen gerilme yığılmaları. ....	1
Şekil 2.1: Modern bir yolcu uçağında yapıştırma uygulamaları .....	3
Şekil 2.2: Otomobilde yapıştırıcı uygulama alanları .....	4
Şekil 2.3:Yapışmayı etkileyen adezyon ve kohezyon kuvvetleri .....	8
Şekil 2.4: Adezyon ve kohezyonun şematik gösterimi .....	8
Şekil 2.5: Yapışma teorileri .....	10
Şekil 2.6: Yapışma hasarları .....	12
Şekil 2.7: Yapıştırma hasarları .....	13
Şekil 2.8: Yapıştırıcı bulk numunesi.....	14
Şekil 2.9: Yapıştırıcı bağlantısının üretildiği kalıp .....	15
Şekil 2.10: Çekme deneyi yapıştırıcının bulk numune geometrisi .....	15
Şekil 2.11: Çekme deney düzeneği.....	16
Şekil 2.12: Üç nokta eğme deney numune geometrisi .....	16
Şekil 2.13: Üç nokta eğme deneyinde hasarın oluşmaya başladığı durum .....	17
Şekil 4.1: Sikloid eğri geometrisi [69]. ....	29
Şekil 4.2: Episikloid eğri geometrisi [69]. ....	30
Şekil 4.3: Evolvent eğri geometrisi [69]. ....	30
Şekil 4.4: Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numune modellerinin yapıştırıcıyla birleştirilme simülasyonları. ....	31
Şekil 4.5: Engineering data menüsünde malzeme tanımlanması. ....	32
Şekil 4.6: ANSYS ürün ağacı. ....	34
Şekil 4.7: Malzeme özellikleri seçim menüsü.....	34
Şekil 4.8: Path tanımlanması.....	35
Şekil 4.9: Contacts tanımlanması. ....	35
Şekil 4.10: Contacts bölgeleri. ....	36
Şekil 4.11: Sikloid eğri yüzeyli numune ANSYS mesh modeli. ....	37
Şekil 4.12: Mesh nokta ve eleman sayısı. ....	37
Şekil 4.13: Sikloid eğri yüzeyli numuneye displacement uygulanması.....	38
Şekil 4.14: Sikloid eğri yüzeyli numunenin bir tarafından sabitlenmesi. ....	38
Şekil 4.15: Sikloid eğri yüzeyli numuneye kuvvet uygulanması.....	39
Şekil 4.16: Çözüm (solution) menüsü. ....	39
Şekil 4.17: Sikloid tüm yüzey von mises gerilme analizi. ....	40
Şekil 4.18: Yapıştırıcı ön yüzey von mises gerilme analizi. ....	41
Şekil 4.19: Yapıştırıcı arka yüzey von mises gerilme analizi. ....	41
Şekil 4.20: Sikloid çelik yan kenar von mises gerilme analizi. ....	42
Şekil 4.21: Yapıştırıcı kenarları von mises gerilme dağılımları. ....	43
Şekil 4.22: Yapıştırıcı alt yatay kenar x, y ve z yönlerindeki normal gerilme dağılımları. ....	43
Şekil 4.23: Yapıştırıcı kenarları boyunca kayma gerilmesi dağılımları.....	44
Şekil 4.24: Numune özelliklerinin seçilmesi. ....	45
Şekil 4.25: Path tanımlanması.....	45
Şekil 4.26: Contacts bölgeleri. ....	46
Şekil 4.27: 45 derece eğri yüzeyli numune ANSYS mesh modeli. ....	47
Şekil 4.28: Sikloid eğri yüzey nokta ve eleman sayısı.....	47
Şekil 4.29: 45 derece eğri yüzeyli numuneye displacement uygulanması.....	48
Şekil 4.30: 45 derece eğri yüzeyli numunenin iki mesnetten sabitlenmesi.....	48
Şekil 4.31: Sikloid eğri yüzeyli numuneye kuvvet uygulanması.....	49
Şekil 4.32: Solution (çözüm) menüsü. ....	49

Şekil 4.33: 45 derece eğri yüzey için tüm yüzey von mises gerilme analizi. ....	50
Şekil 4.34: Yapıştırıcı ön yüzey von mises gerilme analizi. ....	51
Şekil 4.35: Yapıştırıcı arka yüzey von mises gerilme analizi. ....	51
Şekil 4.36: Sikloid çelik yan kenar von mises gerilme analizi. ....	52
Şekil 4.37: Yapıştırıcı kenarları von mises gerilme dağılımları. ....	52
Şekil 4.38: Yapıştırıcı alt kenar x, y ve z yönlerindeki normal gerilme dağılımları. ....	53
Şekil 4.39: Yapıştırıcı kenarları boyunca kayma gerilmesi dağılımları. ....	53
Şekil 4.40: Yapıştırıcı bulk numunesi. ....	54
Şekil 4.41: Yapıştırıcı bulk numuneye çekme deneyinin yapıldığı Shimadzu marka cihaz. ....	54
Şekil 4.42: 3M marka DP 8405 numaralı epoksi yapıştırıcı. ....	55
Şekil 4.43: St 52 yapı çeliği numuneleri. ....	55
Şekil 4.44: Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi. ....	56
Şekil 4.45: Yüzey pürüzlülüğü sonuçları. ....	56
Şekil 4.46: Yapıştırıcı ve tabancası. ....	57
Şekil 4.47: Numuneler için kalıp üretimi. ....	58
Şekil 4.48: Çelik numunelerin yapıştırılması. ....	58
Şekil 4.49: Yapıştırıcı işleminin yapıldığı kalıp. ....	59
Şekil 4.50: Kürleme fırını. ....	59
Şekil 4.51: Çekme deneyi. ....	60
Şekil 4.52: Üç nokta eğme deneyi. ....	61
Şekil 4.53: Yüzey parlatma işlemi. ....	62
Şekil 4.54: Yüzey parlatma işlemi yapılan numune. ....	62
Şekil 4.55: Yüzey parlatma işleminden sonra yüzey pürüzlülüğü sonuçları. ....	63
Şekil 4.56: Yüzey parlatma işleminden sonra çekme deneyi uygulaması. ....	63
Şekil 5.1: Yapıştırıcı tüm yüzey von mises gerilme analizi. ....	64
Şekil 5.2: Yapıştırıcı maksimum dayanım kuvvetleri grafiği. ....	65
Şekil 5.3: Yapıştırıcı alt yatay kenar boyunca von mises gerilme analizi. ....	65
Şekil 5.4: Yapıştırıcı yan alt kenar boyunca von mises gerilme grafiği. ....	66
Şekil 5.5: Yapıştırıcı alt yatay kenar x eksenindeki normal gerilme grafiği. ....	66
Şekil 5.6: Yapıştırıcı alt kenar y eksenindeki normal gerilme grafiği. ....	67
Şekil 5.7: Yapıştırıcı alt yatay kenar z eksenindeki normal gerilme grafiği. ....	67
Şekil 5.8: Yapıştırıcı alt yatay kenar kayma gerilmesi grafiği. ....	68
Şekil 5.9: Yapıştırıcı yan alt kenar kayma gerilmesi grafiği. ....	69
Şekil 5.10: Yapıştırıcı tüm yüzey von mises gerilme analizi. ....	70
Şekil 5.11: Yapıştırıcı maksimum dayanım kuvvetleri grafiği. ....	70
Şekil 5.12: Yapıştırıcı alt yatay kenar boyunca von mises gerilme grafiği. ....	71
Şekil 5.13: Yapıştırıcı yan alt kenar boyunca von mises gerilme grafiği. ....	72
Şekil 5.14: Yapıştırıcı alt yatay kenar x eksenindeki normal gerilme grafiği. ....	72
Şekil 5.15: Yapıştırıcı alt yatay kenar y eksenindeki normal gerilme grafiği. ....	73
Şekil 5.16: Yapıştırıcı alt yatay kenar z eksenindeki normal gerilme grafiği. ....	74
Şekil 5.17: Yapıştırıcı alt yatay kenar kayma gerilmesi grafiği. ....	74
Şekil 5.18: Yapıştırıcı yan alt kenar kayma gerilmesi grafiği. ....	75
Şekil 5.19: Çekme deneyi gerilme şekil değiştirme grafiği. ....	76
Şekil 5.20: Çekme deneyi kuvvet uzama grafiği. ....	76
Şekil 5.21: Çekme deneyi kuvvet uzama grafiği. ....	77
Şekil 5.22: Çekme deneyi kuvvet uzama grafiği. ....	77
Şekil 5.23: Üç nokta eğme deneyi kuvvet uzama grafiği. ....	78
Şekil 5.24: Üç nokta eğme deneyi kuvvet uzama grafiği. ....	78
Şekil 5.25: Üç nokta eğme deneyi kuvvet uzama grafiği. ....	79

Şekil 5.26: Çekme deneyi kuvvet uzama grafiği. .... 79



## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

<b>Uv</b>	: Ultraviyole
<b>Mpa</b>	: Megapascal
<b>N</b>	: Newton
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metreküp
<b>dk</b>	: Dakika
<b>µm</b>	: Mikrometre



# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## EĞRİSEL GEOMETRİLİ YÜZEYLERİN YAPIŞTIRILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bahar Akçadağ

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

XII + 88 Sayfa

2022

Danışman: Doç. Dr. Mahir UZUN

Bu tez çalışmasında, sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece olmak üzere farklı eğri yüzey geometrilerine sahip deney numuneleri ve yapıştırıcı ara yüzeyi Solidworks programında modellenmiş ve bu modellerin yapıştırıcı ile birleştirmeleri yapılarak ANSYS programında çekme ve üç nokta eğme analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra modellenen numuneler St 52 yapı çeliği kullanılarak CNC tel erezyon tezgahında imal edilmiş, yapıştırıcı türü olarak 3M markasına ait DP 8405 kullanılarak numuneler yapıştırılmıştır. Yapıştırılan bu eğri yüzeyli numuneler için, her bir deney için 3 set olmak üzere, çekme ve üç nokta eğme deney işlemleri uygulanmıştır. Sonlu elemanlar analizi esnasında, eğri yüzey geometrilerinden 45 derecenin hasar yükü bulunup, bu yük diğer eğri yüzey geometrilere sahip parçalar için de uygulanmıştır. Yapılan sonlu elemanlar analizleri neticesinde maksimum çekme ve maksimum eğme dayanımına sahip olan eğri yüzeyin, 45 derece eğri yüzey olduğu belirlenmiştir. Daha sonra yapılan deneysel çalışmalar da bu sonucu desteklemiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Eğri yüzeyler, yapıştırıcı, çekme analizi, üç nokta eğme analizi, sonlu elemanlar, hasar yükü

# ABSTRACT

Master Thesis

## BONDING SURFACES WITH CURVE GEOMETRIES AND INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES

Bahar Akcadağ

Inonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Xii+ 88 Pages

2022

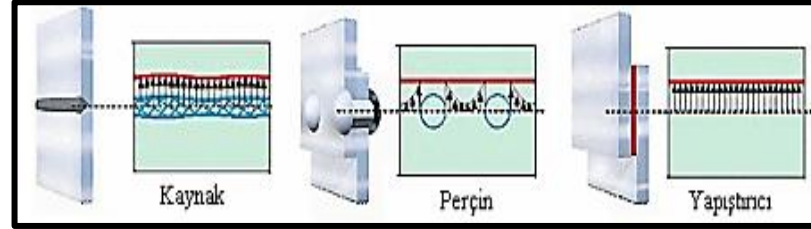
Supervisor: Assoc. Dr. Mahir UZUN

In this thesis, test specimens with different curved surface geometries such as cycloid, epicycloid, involute and 45 degrees, and the adhesive interface were modeled in Solidworks program, and these models were combined with adhesive and tensile and three-point bending analyzes were performed in ANSYS program. Then, the modeled samples were manufactured on a CNC wire erosion bench using St 52 structural steel, and the samples were adhered using DP 8405 of the 3M brand as the adhesive type. Tensile and three-point bending tests were applied for these bonded curved surface specimens, 3 sets for each test. During the finite element analysis, the damage load of 45 degrees from the curved surface geometries was found and this load was applied to the parts with other curved surface geometries. As a result of the finite element analysis, it was determined that the curved surface with the maximum tensile and maximum bending strength is a 45 degree curved surface. Later experimental studies also supported this result.

**KEYWORDS:** Curved surfaces, adhesive, tensile analysis, three-point bending analysis, finite elements, damage load

## 1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar malzemeleri birleştirmek amacıyla pek çok yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler; cıvata ile birleştirme, perçin, kaynak ve lehim gibi birleştirme metotlarıdır (Şekil 1.1). Zamanla bu yöntemler yetersiz kalmaya başlamıştır. Özellikle havacılık sanayisinde, daha hafif ve uygulanması daha kolay olan bir yöntem arayışı içine girilmiştir. Bu arayışlar neticesinde, yapıştırma yöntemiyle birleştirme geliştirilmiştir. Bu yöntem diğer birleştirme yöntemleri ile kıyaslandığında, birleşmenin daha kolay ve uzun ömürlü olduğu görülmüştür. Yapıştırıcı ile birleştirme işlemi yapılırken, yapıştırma işlemi, birleşen parçaların ergime sıcaklıklarının altında yapılabildiğinden; kristal yapıda değişikliğe neden olmaması ve gerilme yığılmaları oluşmadığı için diğer yapıştırma yöntemleri ile kıyaslandığında öne çıkmaktadır.



**Şekil 1. 1:** Kaynakla, perçinle ve yapıştırıcıyla birleştirme yöntemlerinde meydana gelen gerilme yığılmaları [1].

Yapıştırıcılar, malzemelerin yapıştırılacak yüzeylerine sürüldüğünde katı hale gelip birbirlerini bağlama özelliklerine sahiptir. Yapıştırıcılar özelliklerine göre değişik şekillerde gruplandırılabilir. Tek ve iki bileşenli sıvı yapıştırıcılar ile film yapıştırıcılar olarak sınıflandırılan yapıştırıcılar, kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre de sınıflandırılırlar. Kimyasal özelliklerine göre yapıştırıcılara; epoksi, siyanoakrilit ve polikloropen yapıştırıcılar birkaç örnek olarak verilebilir. Fiziksel özelliklerine göre ise; ahşap yapıştırıcılar, metal-metal yapıştırıcılar ve kağıt yapıştırıcılar şeklinde sınıflandırılırlar. Yapıştırıcılar yapıştırma durumlarına göre de sınıflandırılırlar. Bu gruba, soğuk halde

katılaşan yapıştırıcılar, çözücüsüyle katılaşan yapıştırıcılar, erimiş durumda uygulanan ve soğuyup sertleştiği halde yapışmaya yardımcı olan yapıştırıcılar örnek olarak gösterilebilir.

Yapıştırıcıların diğer birleştirme yöntemlerine göre avantaj ve dez avantajları mevcuttur.

Avantajları ;

- Kolay uygulanması ve ucuz olması,
- Birleştirilecek malzemelerde delik, çentik olmadığı için gerilme yığılması oluşmaması,
- Birçok malzemeye uygulanması,
- Çok ince ve kalın parçalara uygulanabilmesi,
- Gerilmenin her noktada aynı olması durumunda, yorulma hasarı riski düşük olması,
- Isıl bir işlem gerektirmemesi,
- Boşlukların kolay doldurulması,
- Yalıtım özelliklerinin iyi olması,
- Yüzeylein arasına yapıştırıcı ile dolduracağından hassas tolerans vermeye gerek kalmaması, gibi avantajları vardır.

Dezavantajları;

- Yapıştırılacak yüzeylein temizlenmesinin dikkat ve özen gerektirmesi,
- Yapıştırıcılarda kür süresinin uzun olması,
- Yapıştırma ömrünün çevre şartlarından etkilenmesi,
- Yapıştırıcının yüksek nem altında suyu emmesi,
- Yüksek ve düşük sıcaklıklarda yapıştırıcının özelliğini kaybetmesi, gibi dezavantajları vardır.

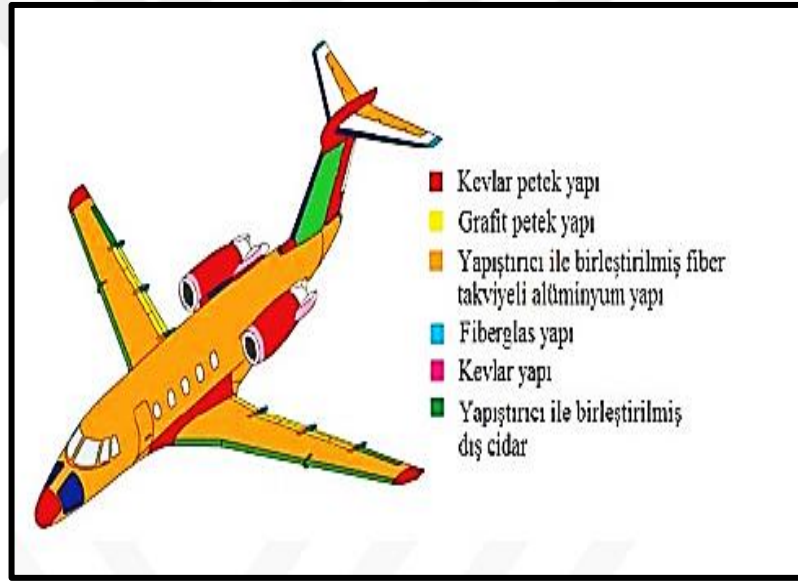
Bu tez çalışmasında, aynı sınır şartlarında farklı eğrisel geometrili yüzeylein yapıştırma yöntemiyle birleştirilip, hangi yüzeylein daha dayanıklı olduğunu tespit etmek amaçlanmıştır. Bu amaçla; öncelikle yapıştırıcı bulk numulere çekme deneyi uygulanıp yapıştırıcının mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Daha sonra farklı eğrisel geometrili yüzeylein tasarlanıp, mekanik özellikleri deneysel ve nümerik analizlerle tespit edilmiştir. Analizler esnasında, numunelere çekme ve üç nokta eğme deneyleri uygulanıp malzemelerin dayanıklılıkları tespit edilmiştir.



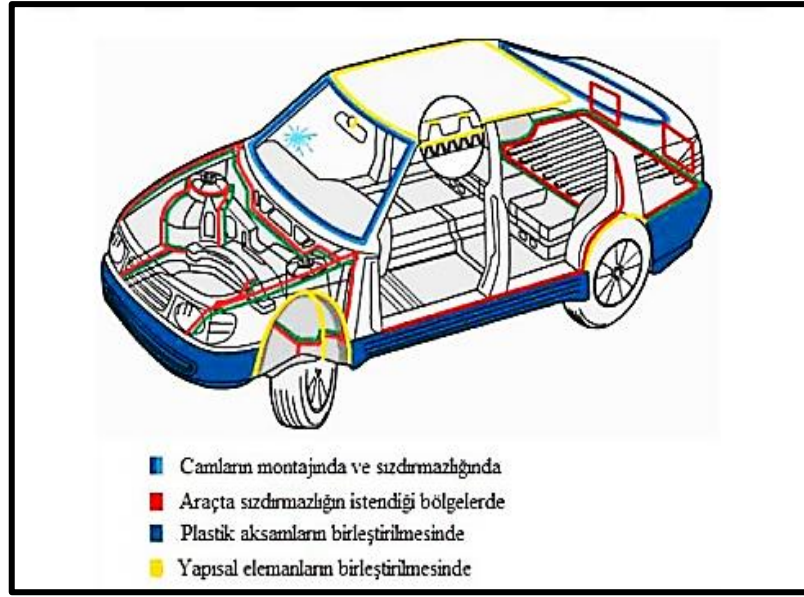
## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Yapıştırıcılar

Geçmişten günümüze malzemeleri birbirlerine eklemek, birleştirmek ve bir arada tutmak amacıyla farklı yöntemler kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemler olarak bilinen bu yöntemler; cıvata ile birleştirme, perçin, kaynak, çivi ve lehim gibi birleştirme yöntemleridir. Bu yöntemlerden daha uygun, daha pratik ve kullanımı kolay teknikler mevcuttur. Yapıştırıcılar olarak sınıflandırılan bu numuneler; kauçuk, plastik gibi ham maddeden oluşmaktadır. Geçmişten günümüze yapıştırıcının kullanım alanı artmıştır. Havacılık alanında, otomotiv sektöründe, uzay sanayisinde, tıpta, sporda, elektronik sanayisinde ve inşaat sektöründe yapıştırıcılar, zamanla eski yöntemlerin yerine kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de yapıştırıcı ile birleştirme işlemi yapılan uçağın bölümleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Modern bir yolcu uçağında yapıştırma uygulamaları [2].



**Şekil 2.2:** Otomobilde yapıştırıcı uygulama alanları [2].

Kırılan veya kopan malzemeleri tamir etmek ve tekrar bir araya getirip kullanabilmek amacıyla, mekanik birleştirme yöntemlerinden yapıştırıcı ile birleştirme yöntemi daha kolay ve uzun ömürlü olmaktadır. Yapıştırıcı ile sadece kırılan veya kopan malzemeleri değil, yeni yapılacak malzemeleri de bir araya getirmek daha kolaydır.

Son zamanlarda otomotiv endüstrisinde (Şekil 2.2), yapıştırıcı ile birleştirme kullanılmaya başlanmıştır. Otomotiv tasarımcıları daha hafif ve uygun ürünler üretmeyi denedikçe, yeni malzemeleri birleştirme yöntemlerine ihtiyaç duymuşlardır. Yapıştırma yöntemi bu ihtiyacı karşılamıştır.

Yapıştırıcılar araçların camlarının montajında ve sızdırmazlığında, plastik aksamalarının birleştirilmesinde ve yapısal elemanlarının birleştirilmesi gibi farklı kısımlarında kullanılmaktadır. Mukavemeti yüksek yapıştırıcılar malzemelerin birleştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Epoksi yapıştırıcılar, araba kaportalarının diğer bölümlerle birleştirilmesinde kullanılırlar.

Denizcilik sektöründe de yapıştırıcı kullanılmaktadır. Teknelerin yapım aşamasında ya da ayrılan parçalarının birleştirilmesinde kullanılırlar.

## 2.2 Yapıştırıcının Tarihçesi

Antik çağlarda yapıştırıcı bulunmaktadır. Papirus kumaşı, un macunu ve birbirine bağlanmış kamış bitkilerinin liflerinden oluşuyordu. Bitüm, bal mumu, orta çağda sızdırmazlık malzemeleri ve yapıştırıcı olarak kullanılmıştır. Ahşap malzemeler balık ve boynuz gibi materyallerden elde edilen tutkalarla birleştirilmiştir. Bu tutkal elde etme teknolojisi 18. yüzyılda ilerleme göstermiştir. 19. yüzyılda ise kauçuk ile nitroselüloz esaslı çimentoların tanıtımı yapılmıştır. Bununla birlikte, yapıştırıcı teknolojisinde kararlı gelişmeler 20. yüzyılda olmuştur. Bu süre zarfında doğal yapıştırıcılar geliştirilmiş ve daha sonra piyasadaki yapıştırıcıların yerini almak amacıyla birçok sentetiğin laboratuvarlardan çıktığı gözlenmiştir.

20. yüzyılın ikinci yarısında havacılık ve uçak endüstrilerinin hızlı gelişmesi, yapıştırıcı teknolojisinde gelişmelere katkı sağlamıştır. Yüksek derecede yapısal mukavemete sahip olan ve zorlu çevre koşullarına karşı dirençli yapıştırıcılara duyulan talep, birçok endüstriyel ve evsel uygulamada kullanılan yüksek performanslı malzemelerin geliştirilmesini sağlamıştır.

Yapıştırıcı üzerine yapılan çalışmalar liderliğinde pek çok alanda kullanılmaktadır [3].

## 2.3 Yapıştırıcıların Sınıflandırılması

Yapıştırıcılar, iki veya daha fazla malzemeyi birbirine yapıştırarak birleştirilmesinde istenilen özellikleri verebilen polyamid, epoksi, polyimid, fenolik ve silikon numunelerin kimyasal birleşiminden oluşur [4]. Yapıştırıcılar; Tabakalı Yapıştırıcılar, Basınca Duyarlı Yapıştırıcılar ve Yapısal Yapıştırıcılar olarak sınıflandırılabilir.

**Tabakalı (Laminating) Yapıştırıcılar:** Taşıdığı yükler genellikle düşüktür. Yapıştırma alanı, tüm yüzey alanının büyük kısmını kapsamaktadır. Paketleme, etiketleme, ciltleme gibi uygulama alanlarında kullanılırlar.

**Basınca Duyarlı Yapıştırıcılar:** Yük taşıma kapasiteleri genellikle düşüktür. Bu tür yapıştırıcıların kullanımı tabakalı veya yapısal olabilir. Malzemeleri geçici olarak bağlarlar.

**Yapısal Yapıştırıcılar:** Karşıladıkları yükler genellikle yüksektir. Yapıştırma bölgesi, tüm yüzey alanına oranla küçük bir bölümü kapsamaktadır. Mühendislikte tercih edilen yapıştırıcılardır. Otomobil gövde sacları, uçak parçaları, mobilya sanayisi gibi uygulamalarda tercih edilmektedirler [5].

Bu yapıştırıcı türleri içinde yaygın olarak kullanılanı, yapısal yapıştırıcılardır. Yapısal yapıştırıcılar; Epoksi Yapıştırıcılar, Akrilikler, Poliüretan Yapıştırıcılar, Anaerobikler, Siyanoakrilikler, Fenolikler, Silikon Yapıştırıcılar olarak sınıflandırılırlar.

Metalleri yapıştırmada en çok tercih edilen yapıştırıcı türü epoksi ve akrilik yapıştırıcılardır. Epoksi yapıştırıcı, sertleştirici ile epoksi reçine içermektedir. Bu yapıştırıcıyla oldukça mukavemetli yapıştırmalar oluşur. Tek bileşenli, iki bileşenli ve film olmak üzere değişik yapıdadırlar. Bileşenler birleştirildiği zaman kovalent bağ oluşur ve termoset polimere dönüşür [6].

Epoksi reçineler, birçok uygulamada kullanılabilen mukavemeti yüksek olan bir yapıştırıcı türüdür. Reçine ve katılaştırıcıyı kullanmadan önce malzemeleri karıştırmak gerekir. Oda sıcaklığında kürleşme süresi değişkenlik göstermektedir. Bu süre, birkaç saatlik periyottan birkaç günlük periyoda kadar uzayabilmektedir [7]. Kürleşme sıcaklığı minimum 100°C'dir. Kürleşme süresi kürleşme sıcaklığından etkilenmektedir. Kürleşme sıcaklığı arttıkça kürleşme süresi kısalmır [8]. Mukavemeti yüksek olan epoksilerin kürleşme sıcaklıkları 200°C'ye kadar yükselmektedir. Epoksi bağlantılar 140°C'yi aşan sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmektedirler [7]. Epoksi yapıştırıcılar avantajlı yapılarından ötürü havacılık sanayinde yaygın kullanıma sahiptir.

Akrilik yapıştırıcıların oda sıcaklığında ve oksijensiz ortamda aktivatörle kürleşmesi gerçekleşir. Yapıştırıcılar sadece aktivatör ile temaslıyken kürleşme işlemi gerçekleştiğinden, montaj işlemi yapılırken bekleme süresi veya karıştırılan malzemelerin hemen kullanılması gibi problemleri olmamıştır. Oksijen ile temas halinde olmaması için yapışma yüzeyi en az 5 mm genişliğinde olmalıdır [8].

**Akrilik yapıştırıcılar**, -110°C ile 120°C arasında elastik özelliklerini kaybetmezler. Rutubete karşı dirençlidirler. Mukavemetlerinde bozulmalar meydana gelmez. Bununla beraber yanıcı özelliklerinden dolayı sıcaklıklar artınca zamanla bozulabilirler [9].

**Poliüretan yapıştırıcılar**, genellikle tek bileşenli ve iki bileşenli olarak kullanılmaktadırlar. İki bileşenli olduklarında bileşenler, reçine ve katalizördür. Epoksi yapıştırıcılarla karşılaştırıldıklarında çalışma ömürleri daha kısa ve nemli ortamlara karşı daha hassaslardır.

**Anaerobik yapıştırıcılar**, işlemin yapılacağı ortamın oksijeni uzaklaştırılmasıyla kürlenme gerçekleşir. Bu sebepten ötürü yapıştırıcı uygulamasından sonra, birleşme

işleminin gerçekleşeceği bölgeye hava girişi olmayacak şekilde kapatılır. Rutubete karşı dirençleri iyidir. 150°C'ye kadar yapışma için uygundur.

**Silikon yapıştırıcılar**, tek bileşenlidirler. Çekme dayanımları düşüktür. -60°C ile -370°C arasında uygulanabilirler. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır. Sıfır derecenin altında da esneklik özelliklerini kaybetmezler [5].

**Fenolik yapıştırıcılar**, doğal bileşenlerden oluşturulamayan ilk yapıştırıcı türüdür. -60°C düşük sıcaklıkta gevrektir. Yüksek sıcaklıkta ise kürleşirler [10].

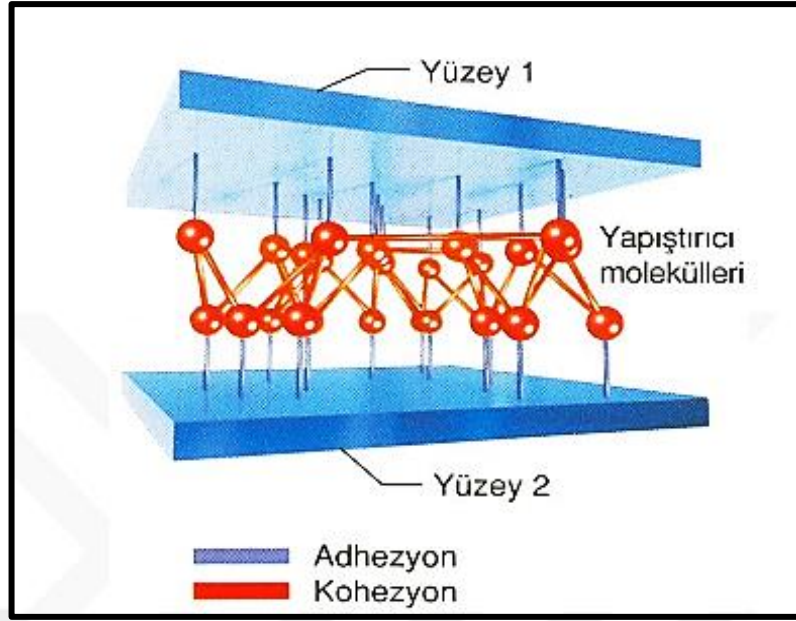
**Siyanoakrilik yapıştırıcılar**, atmosferik nemin etkisiyle katı hale dönüşür. Yapıştırıcının sıvı halden katı hale dönüşmesi hızlı olduğundan yapısında bir değişiklik gözlenmemektedir.

## 2.4 Yapışma

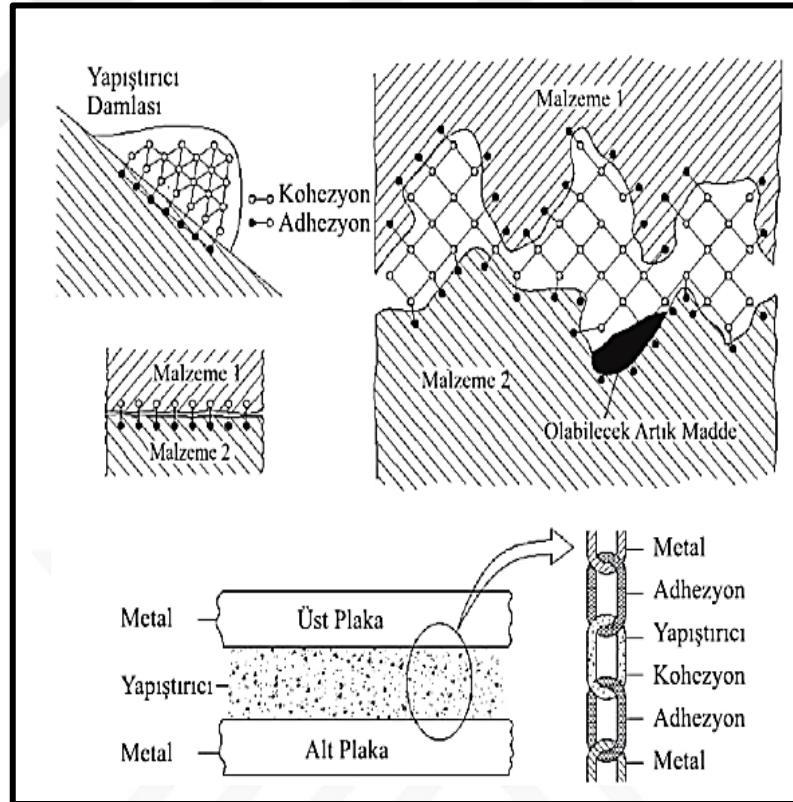
Yapışma işlemi, yapıştırıcı ile malzemenin yüzeyi arasında gerçekleşen bir olaydır. Bu işlem iki ana işlem ile gerçekleşir. Bu işlemler, Adhezyon ve kohezyon şeklinde gerçekleşir (Şekil 2.4).

**Adhezyon:** Yapıştırıcı ile yüzeyleri arasında gerçekleşen bağıdır. Bu bağ kimyasal bağıdır (Şekil 2.3). Yapışma işleminde en önemli bölümü oluşturan bağda Van der Waals kuvvetleri işlemi gerçekleştirir. Yüksek dayanımlar, yapıştırıcının yüzey pürüzlerinin içerisine yerleşmesine (penetre olmasına), başka bir ifadeyle ıslatmanın kalitesine bağlıdır. Yapıştırıcı, yüzey pürüzleri içerisine giremediğinde birleşme dayanımlarının düşük olduğu tespit edilmiştir [5].

**Kohezyon:** Yapıştırıcı yapısındaki moleküllerin ara kısmında olan ve yapıştırıcıyı birlikte tutan bağ kuvvetidir (Şekil 2.3). Bu durum yapıştırıcının kürleşme işlemi esnasında meydana gelen reaksiyonlar sonucunda oluşur [3].



Şekil 2.3:Yapışmayı etkileyen adhezyon ve kohezyon kuvvetleri [10].



Şekil 2.4: Adhezyon ve kohezyonun şematik gösterimi [11].

İyi bir yapışmanın sağlanabilmesi için;

- Uygun yapıştırıcı seçilmesi,
- Bağlantının iyi sağlanması,
- Yüzeylerin temiz olması,
- Yüzeylerin ıslanabilmesi,
- Yapıştırıcının yapıştırma süreçleri (katılaşma ve kürleşme) gibi şartların sağlanması gereklidir.

## **2.5 Yapışmayı Etkileyen Faktörler**

Bazı kimyasal ve fiziksel etkenlerin etkisi ile yapıştırıcı içinde bulunan polimer malzemeler, yapışma işleminin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Yapışmanın oluşmasında bu faktörden biri ya da daha fazlası etkili olmaktadır. Bazı yapıştırıcılar için geçerli etkenler diğerleri için geçerli olmayabilir. Bu nedenle, yapıştırma fonksiyonlarının oluşmasında yapışmayı gerçekleştiren polimer malzemeler kadar yapışmadan sorumlu olan kimyasal ve fiziksel etkenler de önemlidir [12].

Yapışmayı etkileyen etmenler;

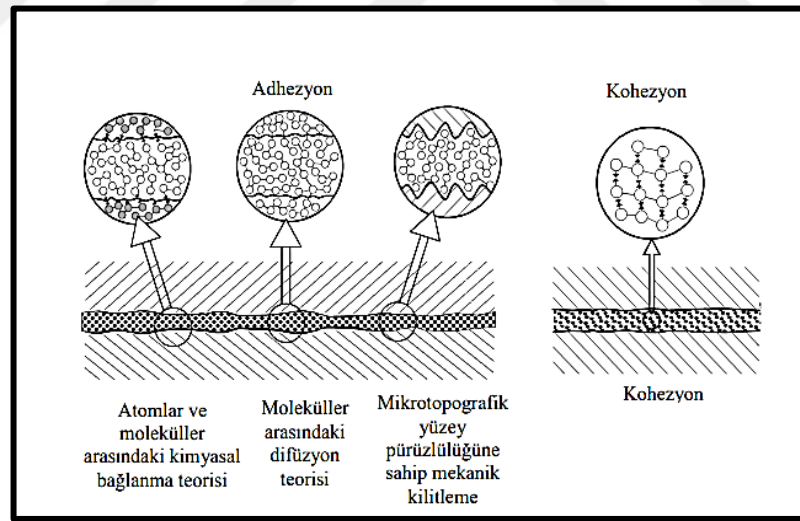
- Sıcaklık
- Oksijen
- Basınç
- Zaman
- Katalizör
- Çözücü
- Ultraviyole ışınlar
- Nem ve su şeklinde sıralanabilir [12].

## 2.6 Yapışma Teorileri

Günümüze kadar bilim insanları yapışma yöntemini açıklamak amacıyla farklı teoriler ortaya çıkarmışlardır. Teorilerden en kapsamlı olan mekanik tutunma, difüzyon, adsorpsiyon ve elektrostatik teorileridir [10]. Bu teorilerden hiçbiri tek başına yapışmanın tüm yönlerini açıklamada yeterli olmaz. Bağlantıların özelliğini açıklayabilmek amacıyla ise bir ya da daha fazla teoriden yararlanılabilir.

### 2.6.1 Mekanik tutunma teorisi

Katı yüzeyin üzerine sıvı yapıştırıcı sürüldüğünde yapıştırıcı gözenekler içine nüfuz eder ve buna bağlı olarak ta mekanik tutunma gerçekleşir, böylece iyi bir yapışma işlemi oluşur. Mekanik tutunma yöntemi yapıştırıcının, malzeme yüzeyinden ayrılmasını önler. Yapıştırıcının mekanik tutunmayla yapışma işlemini arttıran bazı alüminyum numunelerin yüzey işlemlerinin, yüzeyde gözenekleri arttırdığı gözlenmiştir. Numune yüzeyini pürüzlendirmek ve yüzeydeki pas, yağ gibi kalıntıları temizlemek yüzey alanını arttırıp, yapıştırıcının yüzeye daha iyi yayılmasını sağlamaktadır [3]. Şekil 2.5’de mikrotopografik yüzey pürüzlüğüne sahip olan mekanik tutunmayı göstermektedir [12].



Şekil 2.5: Yapışma teorileri [12].



### 2.6.2 Difüzyon teorisi

Difüzyon teorisi, 1960'lı yıllarda ortaya çıkarılmış olup mekanik tutunma teorisine benzerlik göstermektedir. Ancak difüzyon teorisi moleküler seviyededir. Yapılan bir çalışmada difüzyon teorisi iki polimer numunenin içindeki uzun zincir moleküllerinin yapıştırılacak numune içine kısmen veya tamamen nüfuz etmesine bağlı olduğunu belirlemiştir (Şekil 2.5). Difüzyon teorisi, ara yüzeyler boyunca polimer zincirlerinin difüzyonu sonucunda oluşan adhezyonu tanımlamaktadır. Yapıştırıcı moleküllerinin yapıştırılacak numune içindeki difüzyon derecesi, yapıştırılacak numunenin serbest hacmi ile yapıştırıcıyla yapıştırılacak numunenin moleküler uygunluğuna bağlıdır. Moleküler uygunluk ise yapıştırıcıyla yapıştırılan numunenin içerisindeki farklı polimerlerde bulunan fonksiyonel gruplar arasındaki çekimdir [13].

### 2.6.3 Adsorpsiyon teorisi

Adsorpsiyon teorisi, asıl numuneye yapıştırıcı arasında iyi bir temas olması koşuluyla ara yüzeyde, atomlar ve moleküller arası kuvvetlerin oluşması neticesinde yapışmanın oluştuğunu ileri sürer. Bu teori, yapıştırıcı biliminde günümüzde de tercih edilme oranı yüksek olan uygulanabilir teoridir. Yapıştırıcı malzeme ara yüzeyindeki kuvvetler genellikle şu şekilde gruplandırılabilir:

a) İyonik, kovalent ve metalik bağlar olan birincil kuvvetler.

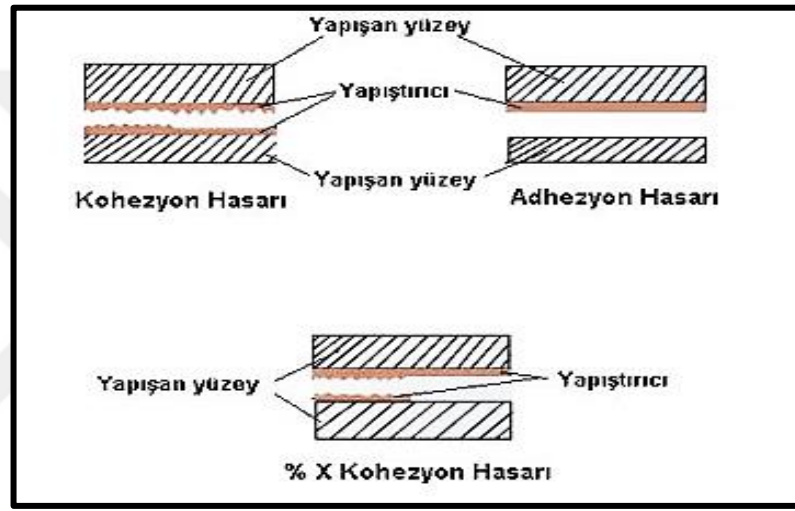
b) Van der Waals kuvvetleri, dipol-dipol, indüklenmiş dipol-dipol, hidrojen bağları ve asit-baz iç etkileşimini kapsayan ikincil kuvvetler [10].

### 2.6.4 Elektrostatik teorisi

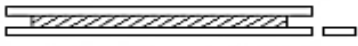
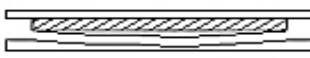


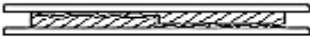

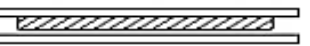
Elektrostatik teorisi, yapışmanın yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasındaki elektrostatik etkileşimden kaynaklanan bağlantı çeşidi olarak tanımlanır. Bağlantı yüzeyleriyle yapıştırıcı arasında oluşan elektron transferi, yüzeylerin ayrılmasını engeller ve yapışma olayı gerçekleşir. Yapıştırıcı ile yapıştırılan numune ara yüzeyinde pozitif ve negatif yüklerin oluşturduğu elektriksel bölge oluşur. Polimer üzerindeki negatif iyonlar metal yüzeyinde yer alan pozitif iyonlarla etkileşime geçer ve bağlantı oluşur. Bu teorinin başka bir açıklaması da yapıştırıcının yapıştırılan yüzeyden ayrılmasıyla oluşan elektriksel boşalmasıdır [14].

## 2.7 Yapışma Hasarları

Yapışma hasarları, adhezyon ve kohezyon kuvvetlerine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 2.6). Adhesiv kırılma ve kohesiv kırılma olarak değişmektedir. Adhezyon kuvvetinin görevini yitirmesinden kaynaklanan hasara adhesiv hasar (adezyon hasarı, yapışma hasarı) denir. Adhesiv hasar, yapışacak yüzey ile yapıştırıcı yüzeyi arasında gerçekleşen yüzeyler arası hasardır. Kohezyon kuvvetinin görevini yitirmesinden kaynaklanan hasara kohesiv hasar (kohezyon hasarı) denir (Şekil 2.7). Kohesiv hasar, yapıştırıcının kopma sürecinin sonucunda yapıştırılan yüzeylerde meydana gelen hasar türü olarak ifade edilir [5].



Şekil 2.6: Yapışma hasarları [5].

Hasar Tipleri	
Yapıştırılan malzemede meydana gelen hasarlar	 <p>Yapıştırılan malzemelerin birinde veya ikisinde de hasarın olması</p>
	 <p>Kohesiv yapıştırılan malzeme hasarı</p>
	 <p>Kalkma (Delemantasyon) yoluyla hasar</p>
Yapıştırıcıda meydana gelen hasarlar	 <p>Kohezyon hasarı</p>
	 <p>Özel kohezyon hasarı</p>
	 <p>Özel kohezyon hasarı</p>
	 <p>Adhezyon hasarı</p>

Şekil 2.7: Yapıştırma hasarları [10].

Kopan parçalar incelendiğinde hasarın adhezyon hasarı mı kohezyon hasarı mı olduğu tespit edilebilir. Yapışan yüzeylerden herhangi biri temizlenmişse oluşan hasar adhezyon (yapışma) hasarı denilebilir. Yapışan yüzeylerden ikisinde de yapıştırıcı kalıntısı bulunursa kohezyon hasarı olarak adlandırılır. Hasar türleri incelenerek hasarın nedenleri yorumlanır. Hasarın asıl sebebini belirlemek zordur. Bunun sebebi, yapıştırma birleştirilmesinde hasarın oluşmasında etkili olan faktörlerin fazla olmasıdır.

## 2.8 Yapışma Faktörleri

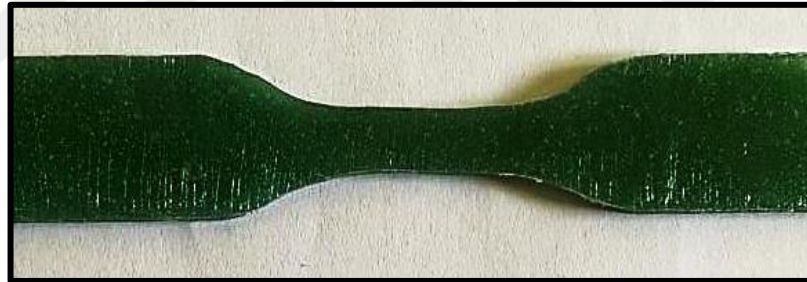
Yapışmayı gerçekleştiren numuneler kimyasal ve fiziksel faktörlerin etkisiyle yapışmayı yapmaktadır. Bu faktörler bütün yapıştırıcılar üzerinde aynı etkiyi yapmayabilir. Bu nedenden dolayı yapıştırıcının yanında ortam şartlarının da yapışma üzerinde etkisi göz ardı edilmemelidir [14]. Yapışma faktörlerinin başında sıcaklık gelmektedir. Yapıştırıcı türleri yüksek sıcaklıklarda daha hızlı kürlenirler. Isının dengeli uygulanmadığı durumlarda ise yapıştırıcı bozulabilir. Basıncın etkisi ise genel olarak film ve bant durumda bulunan basınca duyarlı olan yapıştırıcılar için önemlidir. Kullanılan bölgenin şeklini alması ve yapıştırma işleminin tamamlanması için yapıştırıcılara basınç işlemi uygulanmalıdır. Yapıştırıcının kurumması ve pişmesi için belirli süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süre birkaç

saniyeden birkaç güne kadar değişmektedir. Bu süreç zamanın yapışma işleminde etkili olduğunu göstermektedir. Bu süreç basınç veya sıcaklık uygulamalarıyla değişiklik gösterebilir. Bunlara ek olarak yapıştırıcı bileşimindeki katalizör ve çözücü, yapışma ortamındaki oksijen, su, nem ve UV ışınları yapışmayı etkileyen farklı etkenlerdir [5].

## 2.9 Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bir yapıştırıcının mekanik özellikleri, yapıştırıcının bulk formunda numuneleri hazırlanıp bu numuneler deneye tabi tutularak belirlenir.

Bulk numunelerin (Şekil 2.8) mekanik özelliklerinin tespit edilmesinde, şekil değişimlerini belirleyebilmek için çekme ve kayma gerilmeleri etkisinde malzemede meydana gelen küçük deformasyonların ölçülmesi gerekir. Karşılaşılan problemlerde uygulanan kuvvet ölçülebilmektedir. Yer değiştirmelerin ise şekil değiştirme oranı ve şiddetine, yapıştırıcının mukavemetine bağlı olmasından dolayı bu işlemin yapılması zordur. Ölçüm aletlerinde kaynaklanan hatalar meydana gelmektedir [15].



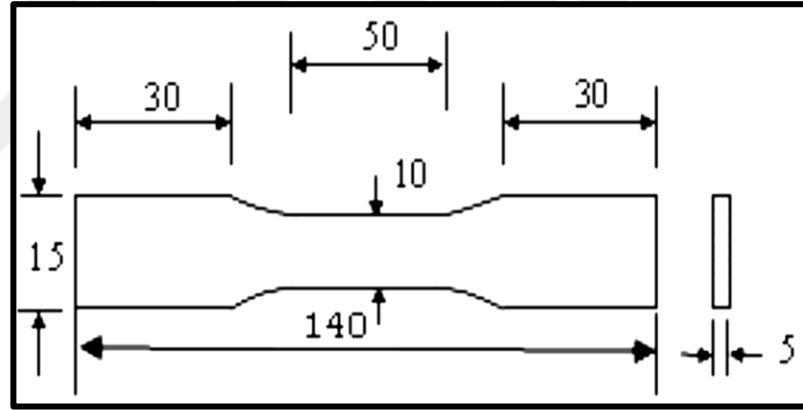
**Şekil 2.8:** Yapıştırıcı bulk numunesi.

Bulk numuneler hazırlamak için kalınlığı sabit iki levha ile bunlar arasında yapıştırıcının tabaka kalınlığını belirlemek amacıyla yerleştirilmiş kalıplar kullanılmaktadır (Şekil 2.9). Yapıştırıcı kullanılan kalıpların iç kısmına dökülmektedir. Kalıpların üst kısmındaki levha yardımıyla basınç uygulanıp yapıştırıcının içindeki gaz boşlukları giderilmektedir. Kürleşme sırasında oluşan ısıyı uzaklaştırmak amacıyla kalıbın alt kısmına su vb. soğutucular kullanılır ve gerekli kürleşme şartları sağlanarak numunelerin üretimi yapılır [16].



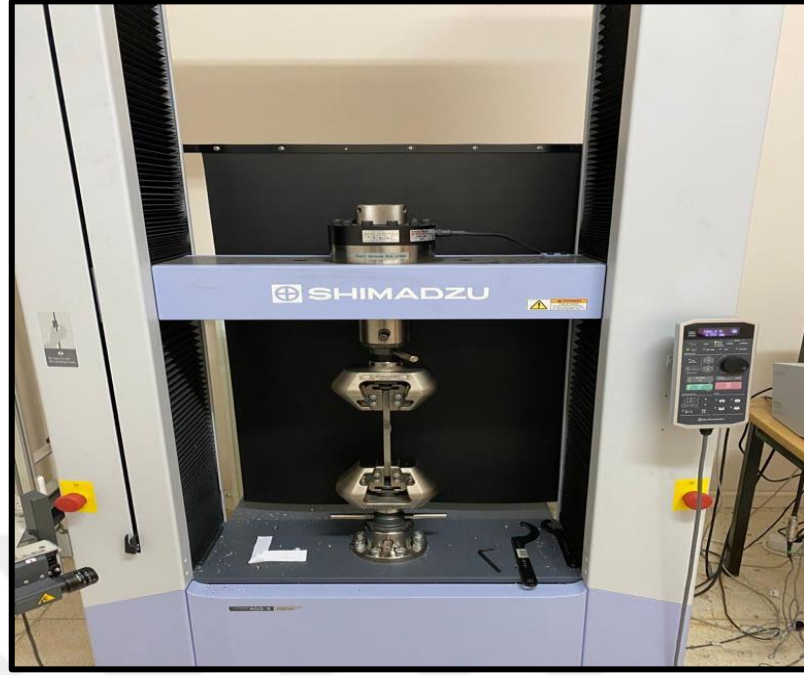
**Şekil 2.9:** Yapıştırıcı bağlantısının üretildiği kalıp [17].

Mekanik davranış, yük altında numunelerin yapısında oluşan gerilme-şekil değiştirmelerini açıklayan en kapsamlı kavramdır. Yapıştırıcıların mekanik davranışı, plastik malzemeler için geliştirilen standartlara uyularak hazırlanan malzemelerin (Şekil 2.10) çekme cihazına yerleştirilip tek eksenli gerilme uygulanmasıyla belirlenir.



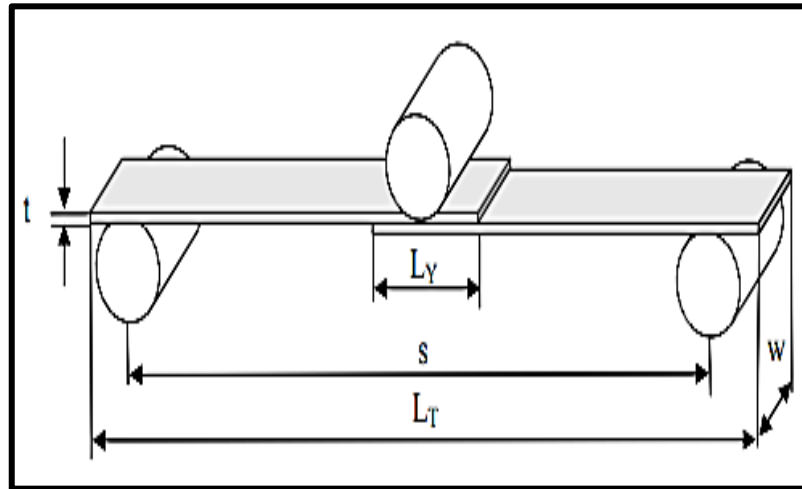
**Şekil 2.10:** Çekme deneyi yapıştırıcının bulk numune geometrisi [18].

Çekme deneyi (Şekil 2.11) sonucunda elde edilen yapıştırıcının mekanik özelliğinin güvenilirliği için, numuneye uygulanan kuvvet etkisinde oluşan yer değiştirmenin tespitinin doğru yapılmış olması gerekir. Bu tespit, işlemin yapılması kadar yapıştırıcının yapısına da bağlıdır. Genellikle kuvvetin ölçülmesinde güçlüklerle karşılaşılma ihtimali düşüktür. Yer değiştirmelerin ölçülmesinde ise büyük problemlerle karşılaşılır. Bu sebepten, çekme deneyleri yapılırken; şekil değişiminin tespit edildiği ölçüm tekniği, deneylerde kullanılan şekil değiştirme oranı ve miktarı, malzemelerin kalınlığı dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerdir [19].

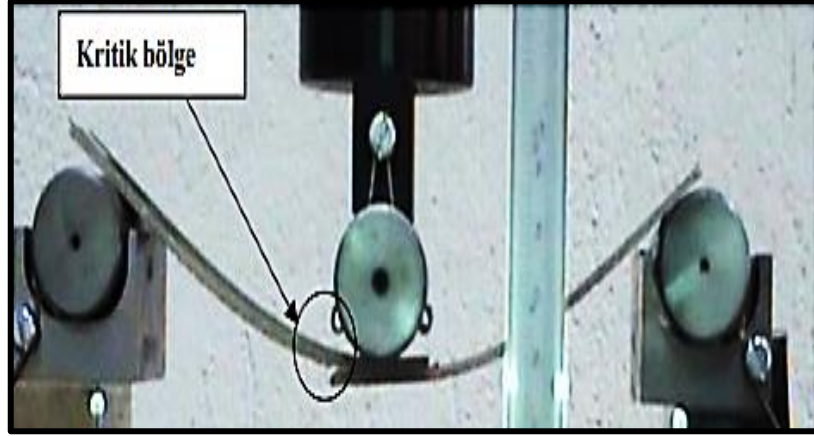


**Şekil 2.11:** Çekme deney düzeneği.

Malzemelerin eğilme özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla üç nokta eğme deneyi uygulanır. Yapıştırıcıyla birleştirilen malzemelere üç nokta eğme deneyi uygulanır. Deneyler esnasında numunelerin (Şekil 2.12) yapıştırma bölgesinde tabaka ayrılması ya da yapışma hattı boyunca kopması sonucunda hasar meydana gelir. Destekler arası mesafenin azalmasıyla eğilme mukavemetinde artış gözlenir. Hasara uğrayan parçanın (Şekil 2.13) başlangıçta yapışan parçadaki yapışma bölgesine yakın bölge kritik bölge olarak tespit edilir.



**Şekil 2.12:** Üç nokta eğme deney numune geometrisi [20].



Şekil 2.13: Üç nokta eğme deneyinde hasarın oluşmaya başladığı durum [20].

## 2.10 Yapıştırıcı İle Birleştirilmesi Yapılan Malzemeler

Yapıştırıcılar kontrplak, yongalevha, liflevha gibi levha ürünlerinin üretiminde ve çeşitli konstrüksiyonların birleştirilmesinde önemli etkiye sahiptir. Orman ürünleri endüstrisinin tarihsel gelişiminin hızlanmasında bu endüstride kullanılan yapıştırıcıların önemli etkisi olmuştur. Ahşap veya ahşaptan yapılan ürünlere olan talep arttıkça sentetik yapıştırıcıların kullanılması da artmıştır. Yapıştırıcılar odun işleyen endüstrilerde; kontrplak, yongalevha, OSB, liflevha, yapısal tasarım, kapı, pencere, lamine edilmiş orman ürünleri gibi yapısal malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Taban ve tavan döşeme sistemleri gibi endüstriyel konstrüksiyonların ve konutlardaki yapı malzemelerinin montajında yapıştırıcılardan yararlanılır [21].

Suni reçine ile ahşap kaplama plakalar çeşitli ahşap esaslı levha yüzeylerine farklı tür yapıştırıcı kullanarak yapıştırılır. Her durumda kaplamanın uygulanan yüzeye iyi yapışması gerekir. Fakat numunedeki ve yapıştırıcılardaki yapısal farklılıklar, kullanıcı hataları nedeniyle düzensiz yapışma, dalgalanma gibi yapışma başarısızlıkları oluşabilmektedir [22].

Tekstil malzemelerinin birleştirilmesinde iğne işlemleriyle kıyaslandığında yapıştırma yönteminin uygulanması iş verimliliğini arttırdığı, sızdırmazlığı sağladığı, kaymada yüksek ve yapışkanın ayrılmasında düşük direnç sağladığı tespit edilmiştir [23].

Çelik malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapı çeliği 1980 ve 1980'li yıllarda kompozit kiriş ve döşemenin etkin bir şekilde kullanımıyla Avrupa'da ve İngiltere daha çok kullanılan malzeme haline gelmiştir. Ülkemizde ise 1999 Marmara depremi sonrasında inşaat sektöründe kullanılan yapı malzemesi olmuştur. Yapı çeliği

kullanım alanları; endüstriyel binalarda, demiryollarında, geçici ve kalıcı zemin altyapı projelerinde, gemi yapımı, otomotiv ekipmanlarında, makine parçalarında, millerde ve imalatın birçok parçasında kullanılmaktadır [24].





### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Mühendislik çalışmalarında kullanılan numunelerin yapıştırıcıyla birleştirilmesinde, yapıştırma bağlantılarının ya da yapıştırıcının mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla pek çok nümerik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Çitil, aynı tür, farklı tür yapıştırma bağlantı modelleri oluşturmuş deneysel ve nümerik olarak araştırmıştır. Eğrisel olarak birleştirilen numunelere çekme yükü uygulayıp bağlantıların mukavemeti üzerinde etkileri incelenmiştir. Yapıştırma bağlantılarının parça kalınlığına ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak çekme mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak; bindirme uzunluğu ve parça kalınlığı arttıkça bağlantıların taşıdığı hasar yüklerinin arttığı belirlenmiştir [25].

Çitil ve Bozkurt, bindirme uzunluğu ve kalınlığı aynı olan borular üzerine yeni bir bağlantı türü olan eğrisel bindirme bağlantısı oluşturmuşlardır. Bu bağlantı modellerine iç basınç uygulayıp bağlantıların mekanik davranışları nümerik olarak incelenmiştir. Eğrisel bindirme bağlantılarında eğrilik yarıçapı, bindirme uzunluğu ve boru cidar kalınlığına bağlı olarak mukavemet üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu işlemlerin sonucunda, eğrilik yarıçapı azaldıkça bağlantıların daha mukavemetli olduğu ve taşıdığı hasar yüklerinin de arttığı belirlenmiştir [26].

Saraç, yapıştırılan numunelere ait bindirme uçlarını farklı açılarda tasarlanmanın bağlantı mukavemetine olan etkisini incelemek için uç açıları farklı olan modeller oluşturmuştur. Bu modeller  $90^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$  ve  $15^\circ$  uç açılı olup basit bindirme modelleri ANSYS'de oluşturulup bağlantılara çekme yükü uygulanıp lineer olmayan hasar ile gerilme analizleri uygulanmıştır. Analizler neticesinde, referans modele göre ( $90^\circ$  uç açılı model), açılı modellerde bağlantı mukavemetinde artış gözlenmiştir. En fazla mukavemet artışı ise  $15^\circ$  uç açılı modelde belirlenmiştir [27].

Akpınar, farklı özelliklere sahip olan yapısal yapıştırıcılar içine titanyum dioksit ile alüminyum oksit ilave edilerek oluşturulan tek tesirli bindirme bağlantıların mekanik özelliklerini çeki yükü etkisinde deneysel çalışmalarla araştırmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, partikül ilaveli yapıştırıcılar tercih edilmesiyle ulaşılan bağlantılarda çeki hasar yükünün arttığı gözlemlenmiştir [28].

Kırkayak, tek tesirli bindirme bağlantılarında değişik geometrik desenlerde ve iki farklı rijitliği olan yapıştırıcıların hibrit olarak birlikte kullanılmasının gerilme dağılımına etkisini, sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, farklı

yapıştırıcıların birlikte kullanıldığı ve farklı yapıştırma geometrilerine sahip hibrit modellerin, tek tip ve devamlı yapıştırıcının kullanıldığı modele kıyasla, soyulma ve kayma gerilmeleri açısından önemli azalma olduğu, ayrıca yapıştırma geometrisinin gerilme dağılımını etkilediği tespit edilmiştir [29].

Aydın ve arkadaşları, standartlara uygun olarak dökülen bulk numunelere çekme deneyi uygulayarak epoksi ve akrilik bazlı 4 farklı yapıştırıcının mekanik özelliklerini belirleyip karşılaştırarak yapıştırma uygulamalarına katkı sağlamaya çalışmışlardır. Bu yapıştırıcılar içinde çekme mukavemeti maksimum 42 MPa ile akrilik bazlı yapıştırıcı Erde GTS ye ait olduğu tespit edilmiştir [18].

Çakır ve Kınay, cam elyaf kompozit numunelerin alüminyum plakayla yapıştırılmasında tercih edilen farklı yapıştırıcıların yapışma mekanik özelliklerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Karbonkleber CG-49 tipi epoksi yapıştırıcı bağlantıların mukavemetinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir [30].

Aydın ve Fertelli, çok duvarlı karbon nanotüp ekleyip epoksi yapıştırıcıda yüzey pürüzlülüğü ile nanotüp oranının yapışma mukavemetine etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla % 1, %1,5 ve % 2 oranlarında çok duvarlı karbon nanopartikül eklenmesi halinde yapıştırıcının yapışma dirençleri deneysel olarak araştırılmıştır. Pürüzlü yüzeylerde yapışma mukavemetindeki en fazla artış % 2 nanopartikül oranında, 2,39 MPa olarak elde edilmiştir [31].

İşcan ve arkadaşları, bazı yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Bu amaçla bulk numuneler kullanılmıştır. Numunelere çekme deneyi uygulayıp yapıştırıcıların mekanik değerleri elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda yapıştırıcıların elastik şekil değiştirme gösterdikleri belirlenmiştir [32].

Akpınar ve Aydın, yapıştırıcıyla birleştirilen T bağlantı türündeki numunelerin mekanik davranışını sonlu elemanlar yöntemiyle ve deneysel olarak incelemişlerdir. Numuneleri çeki yüküne tabi tutulmuştur. Düzlem şekil değiştirme, deneysel ve 3 boyutlu gerilme analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçların 3 boyutlu sonuçlara daha yakın olduğu belirlenmiştir [33].

Aydın ve arkadaşları, farklı yapısal yapıştırıcılar kullanıp bu yapıştırıcılara deneyler uygulayıp elde edilen verileri literatürle kıyaslayıp sistemin doğruluğunu kontrol etmişlerdir. TAST (Thick Adherend Shear Test) yönteminin yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerini belirlemek için güvenilir bir yöntem olduğu tespit edilmiştir [34].

Solmaz ve Yıldırım, bindirme bağlantılarının kenarında oluşan yapıştırıcı birikintisinin uç açısına bağlı olarak bağlantı mukavemetine olan etkisini belirlemeyi amaç edinmişlerdir. Çalışmanın neticesinde aynı yükleme şartlarında dalgalı bindirmenin daha avantajlı olacağı gösterilmiştir [35].

Ayaz ve Temiz, çift takviyeli yamaları gömülü yapıştırma bağlantılarının eğilme yükü altındaki davranışı ve yapıştırma bağlantılarında parça kalınlığına etkisi sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmışlardır. Sonuç olarak, parça kalınlığı arttıkça gerilmelerin azaldığı tespit edilmiştir [36].

Şekercioğlu ve Özenç, metal numuneler için yüzey işleme ve hazırlama metotlarını açıklamışlardır. Yapıştırılacak yüzeylerde uygun yüzey hazırlama yönteminin seçimi, yapıştırma bağlantılarının dayanıklılığını etkileyen önemli bir etkidir. Yüzey hazırlamanın amacı, yapıştırıcının kendi iç bağlarından daha güçlü, kararlı ara yüzey veya ara faz oluşturmaktır [11].

Karakaya ve Soykasap, tek bindirmeli olarak yapıştırılmış dokumalı cam kompozit numuneye üç nokta eğme deneyi uygulanmış ve sonlu elemanlar yöntemiyle deney malzemesinde oluşan hasar durumlarını belirlemişlerdir. Eğme deneyinde yapıştırıcı kullanarak oluşturulan tek bindirmeli yapışmış kompozit malzemelerde hasar yapıştırma bölgesinde oluşmuştur. Sonlu elemanlar ve deneysel modelleriyle hasar durumunda ulaşılan eğrilik yarıçapları kıyaslandığında her iki eğrilik yarıçapının yaklaşık aynı olduğu belirlenmiştir [20].

Turan ve Barut, tek yön cam fiberler ile takviye edilmiş yapıştırıcılar kullanılarak üretilen tek tesirli yapışma bağlantılarında hasar davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Kompozit levhaların tek tesirli bağlantılarla birleştirilmesinde epoksi yapıştırıcı emdirilmiş fiberler tercih edilmiştir. Levhalar arasına yapıştırıcı emdirilmiş fiber tabakalar kullanılıp bağlantıyı güçlendirilmek amaçlanmıştır. Takviye edilmiş yapıştırıcılarla elde edilen bağlantıların hasar yükleriyle takviye edilememiş yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantıların hasar yükleriyle karşılaştırılmıştır. Fiber takviye açısını araştırmak için ise 0°, 15°, 30° ile 45° fiber takviye açıları kullanılmıştır. Çalışmalar neticesinde yapıştırıcıların takviye edilmesinin hasar yüklerini %7'ye varan oranlarda arttırabildiği belirlenmiştir [17].

Şahan, iç basınca maruz bırakılan hasarlı galvanizli boruların epoksi esaslı yapıştırıcıyla tamir edilmesinde en uygun bindirme uzunluklarını ve yama açılarını

belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma neticesinde iç basınca maruz bırakılan hasarlı boruların tamir edilmesinde boruların aksenel açıdan ziyade radyal ve teğetsel yönlerde şekil değiştirmeye maruz bırakılması sebebiyle yama bindirme boyundan ziyade sarım açısının çok daha kritik olduğu belirlenmiştir [37].

Solmaz ve Turgut, birleştirilen numunelerin bindirme bölgesindeki serbest uç açılarının, özellikleri farklı olan yapıştırıcı çeşitlerinin ve farklı bindirme mesafelerinde bağlantının gerilme dağılımına etkilerini deneysel olarak belirlemeye çalışmışlardır. Uç açısı verilmiş olan basit bindirme bağlantılarının hasar yükü ve kayma gerilmesi değerlerinin, açısız malzemelere kıyasla arttığı ve açılı numunelerin daha fazla yük taşıdığı tespit edilmiştir [1].

Turan ve Kaman, kompozit iki levhayı birleştirmek amacıyla yapıştırıcı kullanılarak elde edilen tek tesirli yapıştırma bağlantısının hasar analizini nümerik ve deneysel yöntemlerle araştırmışlardır. Yapıştırıcı türü olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, yapışma yüzey alanındaki değişimin hasar yüklerinde etkili olduğu belirlenmiştir [38].

Çitil ve Bozkurt, çekme yükü etkisinde alüminyum alaşımlı levhalarda yapıştırıcıyla birleştirilen alın eğrisel bindirme bağlantısıyla düz bindirme bağlantısının nümerik olarak kohezif bölge modeline göre karşılaştırmışlar ve deneysel olarak doğrulamışlardır. Çalışma neticesinde alın eğrisel bindirme bağlantısının bindirme genişliğinin artması ile hasarın başladığı uç bölgelerde birim uzunluk başına düşen soyulma gerilmelerinin azalmasına neden olduğu gösterilmiştir. Alın eğrisel bindirme bağlantısının düz bindirme bağlantısına kıyasla daha fazla hasar yükünü çektiği belirlenmiştir [39].

Aydın ve arkadaşları, yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılan deneysel yöntemleri değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Bütün uygulamaları kapsayan sadece bir deneysel yöntem bulunmamaktadır. Uygun yöntem seçimi; yapıştırıcıların mekanik özelliklerine, uygun boyutlarda bulk numunelerin ve aparatların elde edilebilirliğine bağlıdır. Çalışma neticesinde kayma verileri belirlenirken uygun yöntem seçiminin; yapıştırıcının şekil değiştirme oranına, uygun numunelerin elde edilebilirliğine ve ölçüm esnasında kullanılan aparatlara bağlı olduğu belirlenmiştir [19].

Çitil, hasarlı boruların tamir edilmesinde aynı boyutlarda fakat çelik, alüminyum ve kompozit gibi farklı özellikteki malzemeler tercih edilerek yapıştırıcıda nasıl bir mekanik davranış göstereceğini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, iç basınca maruz bırakılan hasarlı

boruların tamir edilmesinde malzemenin cinsi, bindirme açısı ile yama kalınlığı önemliyken bindirme uzunluğunun ise çok fazla etkisinin olmadığı görülmüştür [40].

Aydın, epoksi yapıştırıcıların içine karbon nanopartikül ilave edilerek elde edilen yapıştırma bağlantılarındaki nanopartikül oranının pürüzlü yüzeylerdeki yapışma dayanımına etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda nanopartiküllerin belirli bir orana kadar yapışma dayanımını olumlu etkilediği daha sonra etkilerin azaldığı gösterilmiştir [41].

Saraç ve arkadaşları, epoksi yapıştırıcı içine % 2 oranına Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikül eklenerek ve katkısız epoksi yapıştırıcı kullanarak tek tesirli bindirme bağlantılarını oluşturmuşlar ve bağlantıların mekanik özelliklerini çekme yükü altında 20 mm, 25 mm ve 30 mm bindirme boylarında deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışma neticesinde, % 2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikül katkılı yapıştırıcı kullanıldığında 20 mm ve 30 mm bindirme boylu bağlantılarda genellikle hasar yükünün azaldığı, fakat 25 mm bindirme boyunda % 5 oranında arttığı gösterilmiştir [42].

Çitil ve arkadaşları, çift kayışlı bağlantıların gerilme analizini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yapmışlardır. Çift kayışlı yapışkan bağlantılarda, yama parçaları dış yüzeye yapıştırılır ve bu parçalar hava akışına karşı dayanıklıdır. Bu etkiyi azaltmak ve yapıcı, estetik gereksinimler için yama parçaları yapıştırıcılara yerleştirildi. Gömülü yama parçalarının arıza yükleri ve gerilme dağılımları üzerindeki etkileri deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır [43].

Aydın ve arkadaşları, doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak film tipi bir yapıştırıcıyla bağlanmış derzlerin arızasını ve mukavemetini tahmin etmeye yönelik bir yaklaşım sunmaktadırlar. Öncelikle farklı yapışma kalınlıkları ve üst üste binme uzunluklarına sahip Tek Turlu Eklemler (SLJ'LER) üzerinde tur kesme testleri yapılmış ve SLJ'lerin kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelenmiştir. Daha sonra doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemiyle SLJ'lerde gerilme analizleri dikkate alınarak yapılmıştır [44].

Adin ve arkadaşları, konstrüksiyon tasarımı için gerekli olan bazı yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Yapıştırıcı malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için bulk numuneler kullanılmıştır. Malzemeler için kalıp yapılmış, malzemelerin gaz boşlukları ve süneksizlikleri giderilip deney yapılmıştır. Sonuç olarak yapıştırıcıların elastik şekil değiştirme gösterdikleri tespit edilmiştir [45].

Adams ve Peppiatt, metal – metal yapışkanlı bindirmeli bağlantıdaki gerilmeler iki boyutlu bir sonlu eleman yöntemiyle analizini yapmışlar ve daha önce yapılan analizlerle karşılaştırmışlardır. Yapışkan tabakanın uç kısmındaki gerilmelere dikkat edilir. En yüksek gerilmeler, püskürme içindeki yapışan köşede bulunur. Pratik sonuçlar ve sonlu elemanlar tahminleri arasında uyumlu sonuç elde edilmiştir [46].

Solmaz ve arkadaşları, plastik esaslı kompozit malzemelerin birleştirilmesi amacıyla yapıştırıcı bağlantılarda perçin kullanımının etkinliğini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, çift turlu derzler, 3 farklı konfigürasyonda yapıştırıcı dahil, tutturulmuş ve hem yapıştırıcı hem de tutturulmuş olarak hazırlanmış ve 3 farklı üst üst bindirme uzunluğunda hazırlanmıştır. Eksenel çekme testine tabi tutulmuş ve daha sonra sonuçları karşılaştırılmış en uygun bağlantı tipi belirlenmiştir. Sonuç olarak yapıştırıcıyla perçinin birlikte kullanıldığı hibrit derzlerin, sadece yapıştırıcının kullanıldığı derzlere veya perçinle birleştirilen derzlere göre derz mukavemeti bakımından çok daha fazla yük taşıyabileceği işaret edilmiştir [47].

Gürsel, daha hafif malzeme ve yüksek mukavemet için artan gereksinimler neticesinde; yenilikçi bir alan olarak yapıştırma alanında endüstriyel uygulamalar için son zamanlardaki araştırma ve gelişmeleri anlatmıştır [48].

Wahab, yapıştırıcıyla yapıştırılmış bağlantılarda yorulma üzerine literatür araştırması yapmıştır. 1975’ ten 2011’e kadar Web of Science’da yayınlanan makaleleri içermektedir. Yaklaşık 222 makaleyi inceleyip sunmuştur. Bu çalışma gelecekteki araştırmaları yönlendiren konulardan bahsederek sonuçlandırılmıştır [49].

Ayaz ve arkadaşları, çelik borularda oluşan küçük çatlakları kompozit yamalar yardımıyla onarımını incelemişlerdir. Uzunluğu 8 mm’den az olan küçük çatlakların onarılması amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar modeli geliştirilmiş ve sayısal sonuçlar deneylere dayanarak doğrulanmıştır [50].

Kaya ve arkadaşları, güçlendirmesi yapılan beton kirişlerde eğilme dayanımlarına yapıştırıcının etkisini araştırmışlardır. 100x100x500 mm lik kiriş elamanların üç farklı özellikteki yapıştırıcıyla 0.3 ve 0.5 mm kalınlığında sac levhalarla güçlendirmesi yapılmıştır. Güçlendirilen numunelerin eğilme dayanımları belirlendikten sonra karşılaştırılmıştır. Yapıştırıcının güçlendirme işleminde etkili bir malzeme olduğu tespit edilmiştir. Epoksi türü yapıştırıcıların poliüretan ve polimer yapıştırıcı çeşitlerine göre yüksek derecede artış sağladığı çalışma neticesinde belirlenmiştir [51].

Adin ve arkadaşları, onarımlarda etkili olan ve onarımlardan daha önceki dayanımına ulaşılan yapısal yapıştırıcıları incelemişlerdir. Yeni iki bileşenli yapıştırıcının T- soyulma dayanımı, iki bileşenli yapısal yapıştırıcılardan daha yüksek ve tek bileşenli yapısal yapıştırıcılara benzediği görülmüştür. Bu sebeple yeni iki bileşenli yapısal yapıştırıcıların diğer yapıştırıcılara kıyasla daha dayanıklı ve onarım için daha uygun olduğu tespit edilmiştir [52].

Çitil ve arkadaşları, aynı bindirme uzunluğuna sahip kapaklarla boyları farklı ara boşluklar oluşturmuşlar, kapak kalınlığının, bindirme uzunluğunun, parça kalınlığının ve ara boşluk boyunun çekmeye maruz yapıştırma bağlantıların mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak ortası boş yapılmış tamir çalışmasında bindirme uzunluğu ve parça kalınlığının mümkün olduğu kadar yüksek olduğu, ara boşluk boyu ve kapak kalınlığı ise minimum tutulması gerektiği belirlenmiştir [53].

Demirbaş ve Apalak, farklı kompozisyonel gradyant üs değerleri için yapıştırıcı katmanını düzlemde kademelendirmişler, dairesel plaka bağlantılarının sonlu farklar yöntemiyle ısıl gerilme analizlerini yapmışlar ve ulaşılan sonuçlar hem yapıştırıcı hem de plakayla yapıştırıcı ara yüzeyi için detaylandırmışlardır [54].

Aydın, bireysel ve sanayi uygulamalarında metal yüzeyleri yapıştırmak amacıyla kullanılan ve iki farklı epoksi yapıştırıcı içine farklı iki çapta çok duvarlı karbon nanopartiküller ağırlık olarak %0,5- %5 aralığındaki oranda katılarak farklı pürüzlendirilen yüzeylerdeki yapıştırıcının yapışma dayanımında meydana gelen değişimleri araştırmıştır. Yüzey durumu, nanopartikül çapı ve yapıştırıcı çeşidine göre %2-%3,5 oranına kadar yapışma dayanımında artış gerçekleşirken bu oranlarda daha sonra nanopartiküllerin olumsuz etkisi meydana gelerek yapışma dayanımında düşüşler görülmüştür [55].

Saraç, bindirmeli boru yapıştırma bağlantılarında tasarım parametrelerinden boru et kalınlığı, bindirme uzunluğu ile yapıştırıcı kalınlığı değişiminin yapıştırıcının tabakasında meydana gelen gerilme dağılımına etkisini sayısal olarak incelemiştir. Neticede, boru et kalınlığı, bindirme uzunluğu ile yapıştırıcı kalınlığının boru yapıştırma bağlantılarında önemli tasarım parametresi olduğu anlaşılmıştır [56].

Erzincanlı ve Benli, farklı delik eksenlerinde tabakalı kompozit plakalarda çift pimli bağlantıların sonucunda uygulanan kuvvetle oluşan gerilmeleri belirlemişler ve karşılaştırmışlardır. Analiz, modelleme ve çözüm işlemlerinde ANSYS programı

kullanılmıştır. Çalışmanın neticesinde yapıştırıcı tabakasındaki gerilmelerin delik eksenlerindeki değişimlerden yüksek oranda etkilenmediği tespit edilmiştir [57].

İmak ve Turgut, alın altına bindirmeli olarak birleştirilmiş olan halka kesitli bağlantıların birleştirilmesinde yapıştırıcı ve çevresel yapışma yüzeyinin bağlantı mukavemetine etkisini incelemişler ve değerlendirmişlerdir. İki farklı özellikte yapıştırıcı kullanılmış, farklı bindirme mesafesine, farklı bindirme açısına ve farklı bindirme iç açısına sahip olan numuneler birleştirilmiştir. Bu numunelerde çekme ve burulma davranışları incelenmiştir. DP 410 yapıştırıcıyla yapıştırılan numunelerin DP 490 yapıştırıcısıyla yapıştırılan numunelere göre çekme kuvveti değerleri daha yüksek çıkmıştır. Burulma davranışları ise DP 410 yapıştırıcısıyla yapıştırılan numunelerin DP 490 yapıştırıcıyla yapıştırılan numunelere göre daha iyi davranış gösterdiği görülmüştür [58].

Çetin, cam fiber taviyeli kompozit, üç farklı yapıştırıcı ve 8,86 mm hücre çapında alüminyum bal peteği kullanarak sandviç kompozit paneller üretmiştir. Ürettiği sandviç kompozitlere 50 J ilk enerji seviyesinde düşük hızlı darbe testleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yük-sehim, enerji zaman ile yük-zaman grafikleri oluşturulmuş çok cidarlı karbon nano tüp katkısının etkisi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak karbon nano tüp katkısının darbe özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir [59].

Gürsel ve Yıldız, yapışma mekanizmalarıyla yüzey hazırlama işleminin, yüzey enerjisinin, yüzey morfolojisinin ve yüzey pürüzlülüğünün yapışmaya etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, yapıştırıcılar ve özellikleri, yapıştırıcı bağlantılarına uygulanan mekanik testleri, yapışma mekanizmalarını, yapıştırıcı bağlantılarındaki hataları ve yapışma teorileriyle iyi bir birleşmeyi etkileyen faktörler tartışılmış, yüzey enerjisiyle yüzey pürüzlülüğü ve morfolojisinin birleştirmeye etkisi incelenmiştir [60].

Benli ve Erzincanlı, çift pim bağlantısı uygulamışlar ve farklı yapıştırıcı türleriyle yapıştırmışlar ve farklı oryantasyon açılarında tabakalı plakada gerilme analizlerini incelemişlerdir. Analiz, modelleme ve çözüm işlemlerinde ANSYS programı kullanılmıştır. Malzemeye çekme yükü uygulanmış, malzeme ve delik bölgelerinde farklı yapıştırıcı türleriyle ve ek olarak tabakalı kompozit plakada farklı oryantasyon açılarında modeller arasında meydana gelen gerilmeler belirlenmiştir [61].

Saraç, yapıştırıcıyla birleştirilmiş ve burulma momenti uygulanmış olan mil göbek bağlantılarında hasarın oluşmasında etkili olan gerilmeleri belirlemek ve bağlantı performansını arttırmak amacıyla göbek bölümünde yapılabilecek bazı tasarımlar



değişikliklerinin etkisini incelemiştir. Hasar analizleri neticesinde göbek kenar çapında yapılan malzeme azalmasının kritik bölge olan mil yapıştırıcı tabakası ara yüzeyleri uç bölgelerindeki gerilme yığılmasını azaltmış yapıştırma bölgesindeki hasar mukavetini arttırdığı belirlenmiştir [62].

İmak ve Turgut, farklı özellikteki iki çeşit yapıştırıcıyla birbirine geçmeli olarak birleştirilen halka kesitli transmasyon millerinin burulma ve mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Yapıştırıcı ile birleştirilen halka kesitli çubuklara burulma ve çekme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre verilerin grafikleri hazırlanıp değerlendirilerek kıyaslanmıştır. DP410 yapıştırıcı ile yapıştırılmış halka kesitli çubukların DP490 yapıştırıcı ile hazırlanan çubuklarla kıyaslandığında daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir [63].

Ayaz, yüksek basınçlı çelik borularda, hızlı tamir ve hasar başlangıcındaki çatlak ilerlemesini durdurmayı amaçlamıştır. Borulara küçük çaplı delikler açılmış ve yapıştırma bağlantılarıyla tamir edilmiştir. Daha sonra borular iç basınca maruz bırakılmış ve sonlu elemanlar metoduyla analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarını doğrulamak için deneyler yapılmıştır. Bindirme açısı arttıkça hasar yükünün arttığı, gerilmenin azaldığını tespit edilmiştir [64].

Saraç, tek tesirli yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcıyla yapıştırılan numune ara bölgelerinde, kohezif bölge modeli uygulamış ve kohezif bölge modeli uygulamadan modelleme yapılmasının, gerilme ile strain enerji dağılımlarına etkisini incelemiştir. Neticede, yapıştırma bağlantılarında kohezif bölge modeli uygulamanın fiziksel probleme daha uygun olduğu ve yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmesi, soyulma gerilmesi ve strain enerji dağılımı açısından önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir [65].

Sülü, çekme yüküne maruz bırakılan gömülü tek tesirli yamayla yapıştırılarak birleştirilen kompozit parçaların üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizini yapmıştır. Analizde farklı oryantasyon açılı epoksi/karbon kullanılarak üretilen kompozit parçalar ve yapıştırıcı türü olarak DP410 kullanılmıştır. Nümerik analizler yapılırken ANSYS programı kullanılmıştır. Neticede, oryantasyon açıları ile yama boyunun yapıştırıcı kullanarak birleştirmede etkili olduğu gösterilmiştir [66].

Gültekin ve Yazıcı, hegzagonal bor nitrür (hBN) ve hegzagonal bor karbür (hB4C) nanopartiküllerinin yapıştırma bağlantıları üzerine etkisini incelemiştir. Yapıştırma bağlantılarının mekanik özellikleri çekme testiyle belirlenmiştir. Çalışma neticesinde,

fonksiyonelleştirilen hBN ve hB4C nanopartikülleriyle birleştirilen bağlantıların hasar yükünde önemli artış sağlandığı tespit edilmiştir [67].

Sülü, çekme yüküne maruz kalan kompozit parçaları çift etkili yapışkan bağlantılarıyla birleştirmiş ve sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanarak analizini yapmıştır. Derz tasarımı, derzin dayanıklı olması, fazla yer kaplamaması ve uzun ömürlü olması açısından önemlidir. Analizde DP410 yapıştırıcı ve kompozit parçalar kullanılmıştır. Hasar yüklerini belirlemek için sonlu eleman analizi yapılmıştır [68].



## 4. MATERİYAL VE YÖNTEM

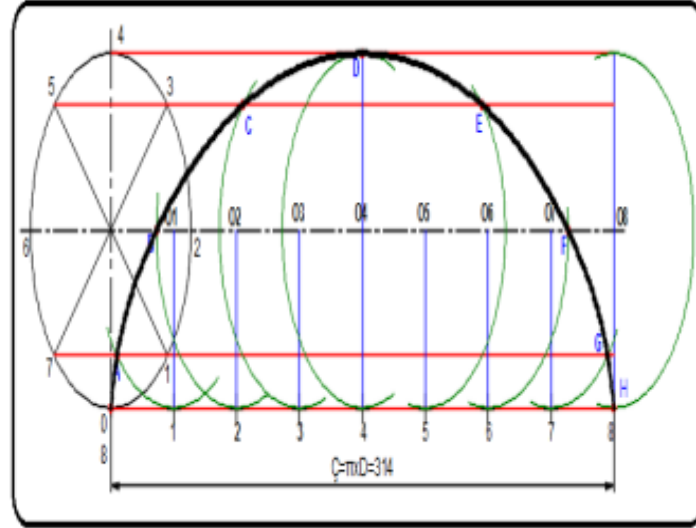
### 4.1 Numunelerin Modellenmesi

Bu tez çalışmasında, aynı sınır şartlarında sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece olmak üzere farklı eğrisel geometrili yüzeylerin yapıştırma yöntemiyle birleştirilip, hangi yüzeyin daha dayanıklı olduğunu tespit etmek amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle farklı eğri yüzey geometrilerine sahip deneysel numuneler ve yapıştırıcı ara yüzeyi matematiksel formüller yardımıyla Solidworks programında modellenmiştir. Deneysel numuneleri ve modellenen yapıştırıcı Solidworks montaj menüsünde birleştirilerek nihai deney modelleri oluşturulmuştur (Şekil 4.4 a.b.c.d).

Sikloid eğri (Şekil 4.1); bir doğru üzerinde kaymadan yuvarlanan bir daireye ait noktanın çizdiği eğri olarak tanımlanır [69].

$$\text{Sikloid eğri için ; } x = r(t - \sin t) \quad (1)$$

denklemleri kullanılarak Solidworks programında sikloid eğri yüzeyli numune modeli Şekil 4.4 a'da oluşturulmuştur.

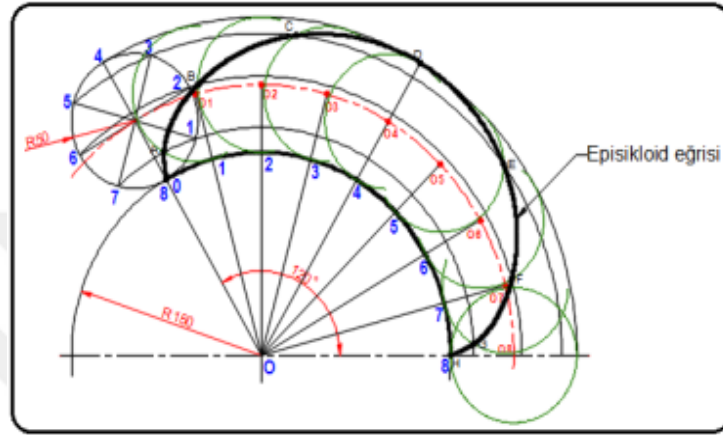


Şekil 4.1: Sikloid eğri geometrisi [69].

Episikloid eğri (Şekil 4.2); bir daire üzerinde kaymadan yuvarlanan bir daireye ait noktanın çizdiği eğri olarak tanımlanmıştır [69].

$$\text{Episikloid eğri için ; } x = r(k + 1)\cos t - r\cos(k + 1)t \quad (2)$$

denklemleri kullanılarak Solidworks programında episikloid eğri yüzeyli numune modeli Şekil 4.4 b’de oluşturulmuştur.

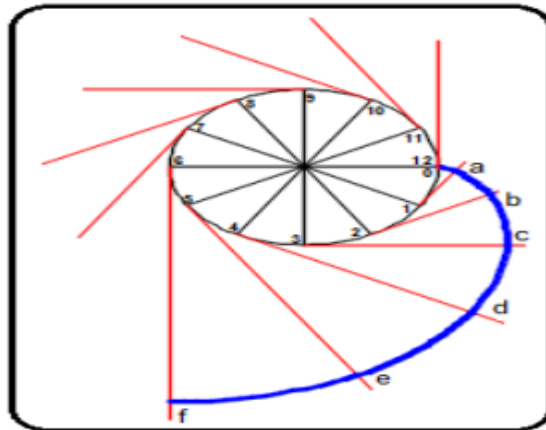


Şekil 4.2: Episikloid eğri geometrisi [69].

Evolvent eğri (Şekil 4.3); bir daire üzerinde kaymadan yuvarlanan bir doğruya ait noktanın çizmiş olduğu eğri şeklinde tanımlanmıştır [69].

$$\text{Evolvent eğri için ; } x = r(\cos t + (t - a)\sin t) \quad (3)$$

denklemleri kullanılarak Solidworks programında evolvent eğri yüzeyli numune modeli Şekil 4.4 c’de oluşturulmuştur.

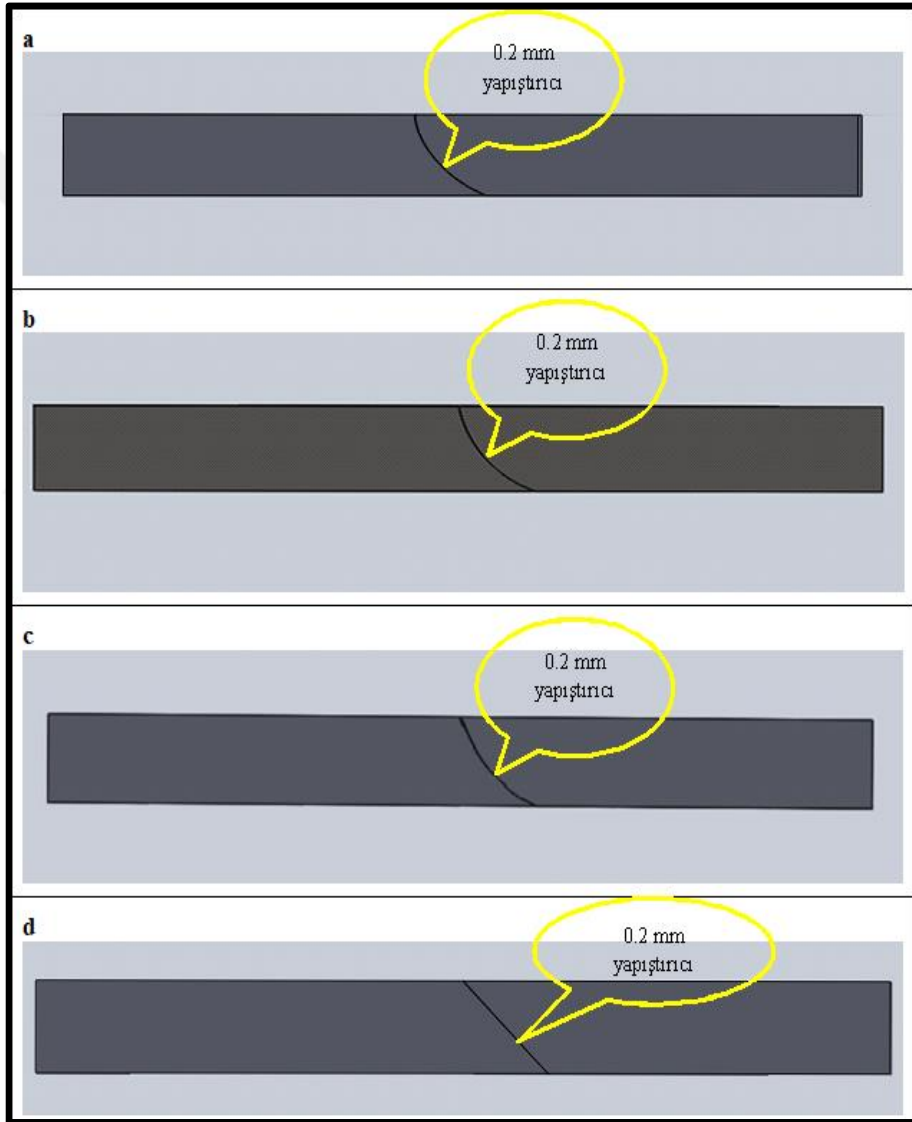


Şekil 4.3: Evolvent eğri geometrisi [69].

Solidworks programında 45 derece eğri yüzeyli numune modeli ise Şekil 4.4 d'de oluşturulmuştur.

Denklem 1, 2 ve 3 de kullanılan  $x$ ,  $x$  koordinatındaki apsisi (mm),  $r$  yarıçap değerini,  $t$  hareket eden noktanın açısal değerini (derece)  $0 \leq t \leq 2\pi$  koşuluna bağlı olarak,  $k=1$ ,  $a$  orjine olan (0,0) olan uzaklığı ifade eder.

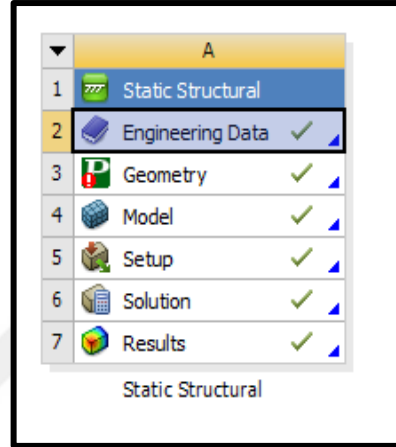
Modellenen numunelerin boyu 150 mm, kalınlık 10 mm, genişlik ise 25 mm olarak alınmıştır.



Şekil 4.4: Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numune modellerinin yapıştırıcıyla birleştirilme simülasyonları.

## 4.2 Sonlu Elemanlar Analizi

Solidworks programında modellenen numunelerin sonlu eleman analizleri için ANSYS programı kullanılmıştır. Programda öncelikli olarak kullanılacak numunelerin özellikleri engineering data kısmında atanmıştır (Şekil 4.5). Numune olarak St 52 yapı çeliği kullanılmıştır (Çizelge 4.1). Yapıştırıcı türü olarak ise 3M markasına ait DP 8405 numaralı yapıştırıcı kullanılmıştır (Çizelge 4.2).



Şekil 4.5: Engineering data menüsünde malzeme tanımlanması.

Çizelge 4.1: St 52 Yapı Çeliğinin Mekanik Özellikleri.

<b>Yoğunluk (kg / m<sup>3</sup>)</b>	<b>7.850</b>
<b>Young Modülü (MPa)</b>	<b>2E +5</b>
<b>Poisson Oranı</b>	<b>0.3</b>
<b>Bulk Modülü (MPa)</b>	<b>16.667E + 5</b>
<b>Kayma Modülü (MPa)</b>	<b>76.923E+4</b>

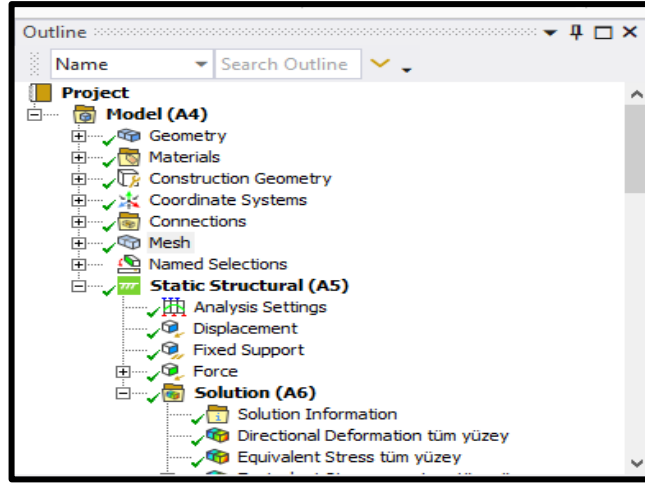
**Çizelge 4.2 : DP 8405 Yapıştırıcı Mekanik Özellikleri.**

<b>Yapıştırıcı Türü</b>	<b>Akrilik</b>
<b>Viskozite</b>	Sarkma Yapmama
<b>Ürün Rengi</b>	Yeşil
<b>Açılma Süresi ( dk.)</b>	6-10
<b>Çalışma Zamanı (dk.)</b>	4-6
<b>Tam Kurlenme (saat)</b>	24
<b>Fiziki Form</b>	Akışkan Sıvı
<b>Yoğunluk (kg / m<sup>3</sup>)</b>	1.030
<b>Young Modülü (MPa)</b>	62E+05
<b>Poisson Oranı</b>	0.3
<b>Bulk Modülü (MPa)</b>	51.667E+02
<b>Kayma Modülü (MPa)</b>	23.846E+02

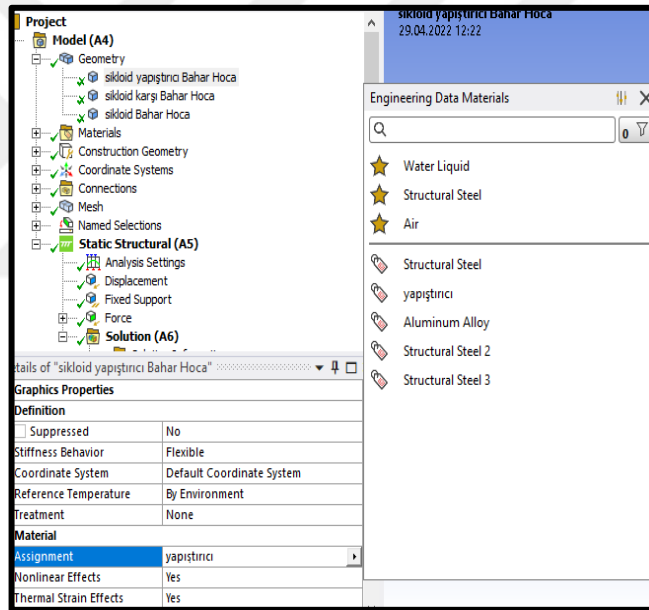
Sonlu elemanlar analizi iki deney kriterine göre yapılmıştır. Bunlar çekme numune analizi ve üç nokta eğme analizi şeklinde yapılmıştır.

#### **4.2.1 Çekme Analizi**

Çelik ve yapıştırıcı özellikleri atandıktan sonra Şekil 4.5’de geometry menüsünden Solidworks da çizdiğimiz model getirilmiştir (Şekil 4.6). Geometry menüsünden numunelerin özelliklerini seçmek için seçilen parçanın sol alt menüde assignment kısmından engineering data materials den özelliği seçilmiştir. Bu şekilde tüm parçaların özellikleri seçilmiştir (Şekil 4.7).



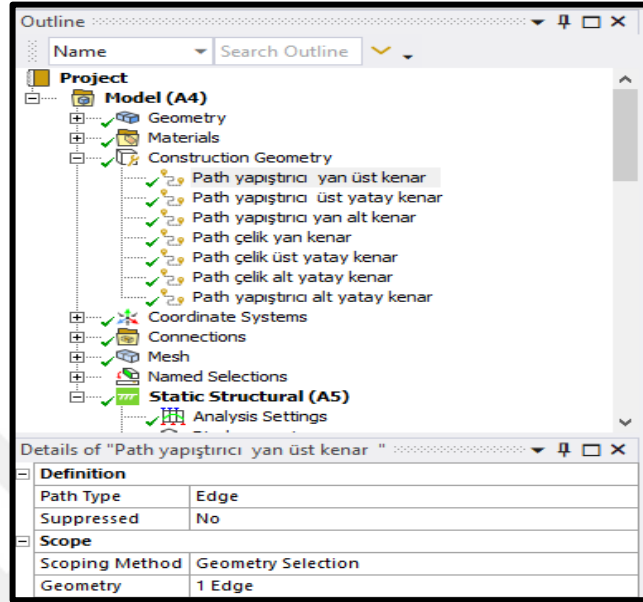
Şekil 4.6: ANSYS ürün ağacı.



Şekil 4.7: Malzeme özellikleri seçim menüsü.

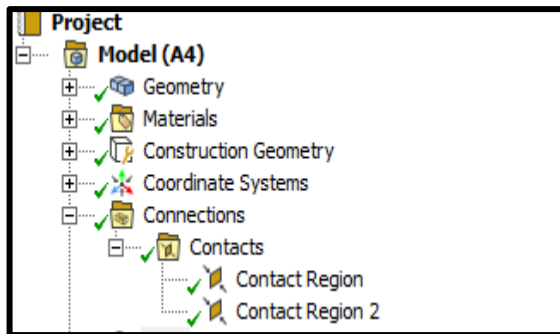


Daha sonra model kısmının insert bölümünden construction geometry den path seçilmiştir. Path menüsünden analizin yapılacağı kenar seçilmiştir. Aynı şekilde diğer kenarlara da path tanımlanmıştır (Şekil 4.8).

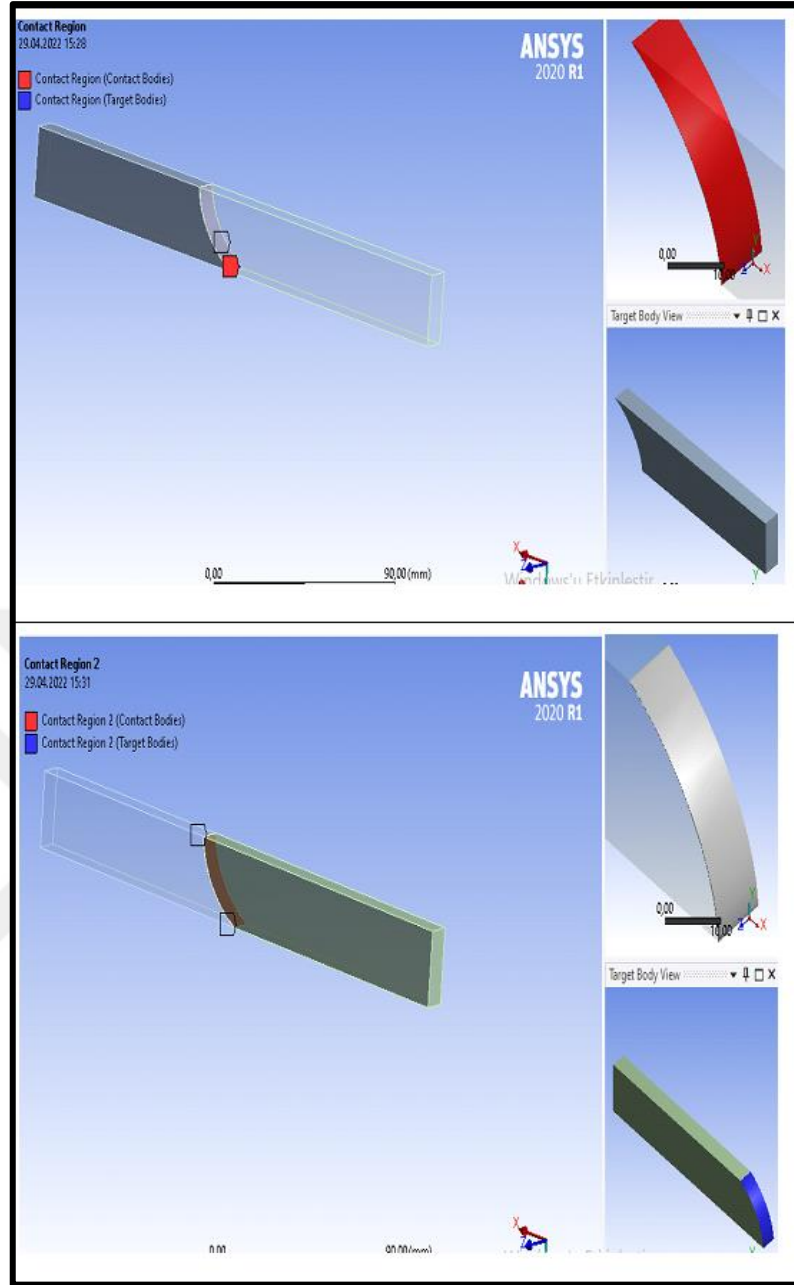


Şekil 4.8: Path tanımlanması.

Path işleminden sonra connections kısmından contacts menüsünden (Şekil 4.9) temas halinde olan yapıştırıcıyla parçalar arasındaki yüzeylere contact region bölgesinden contact verilmiştir. Yapıştırıcıyla parçaların temas ettiği kısımları contact menüsünden contact region seçilerek ilişkilendirilmiştir (Şekil 4.10).

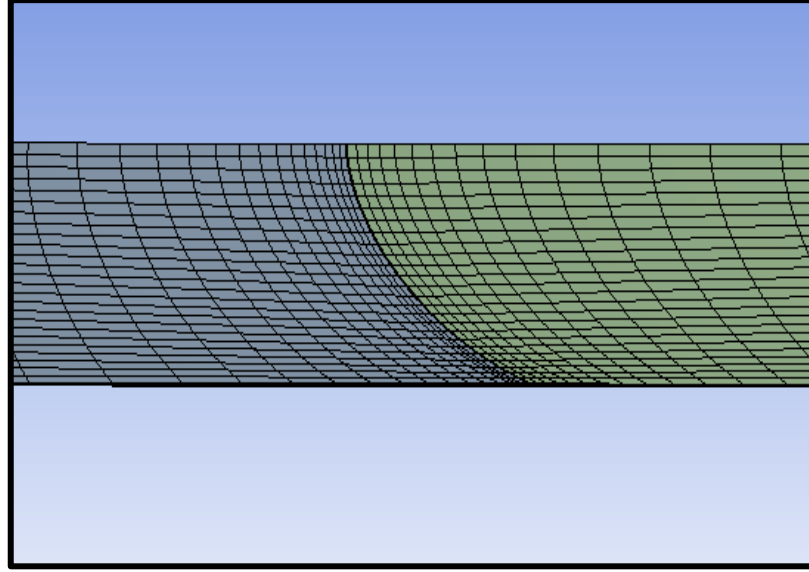


Şekil 4.9: Contacts tanımlanması.



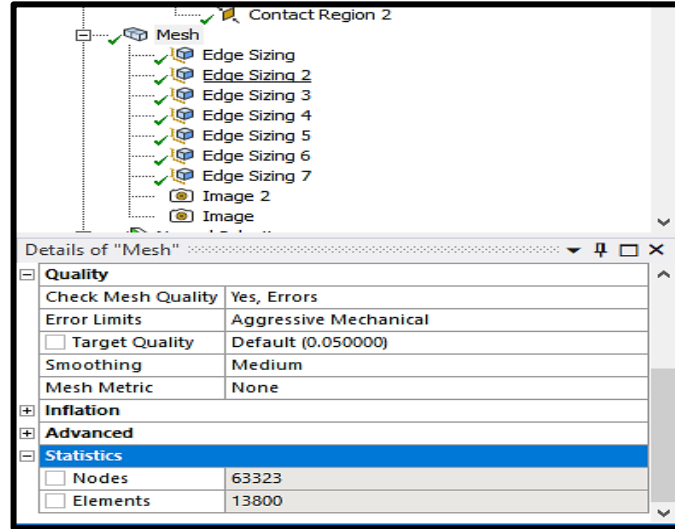
**Şekil 4.10:** Contacts bölgeleri.

Contacts seçiminden sonra numunelere analiz yapılabilmesi için sonlu elemanlar ağının oluşturulması gerekmektedir. Sonlu elemanlar ağının oluşturulması için mesh menüsü kullanılmıştır. Farklı mesh çeşitleri denenerek mesh kalitesi açısından uygun olan mesh belirlenmiştir. Kriter olarak mesh quality nin 1'e yakın değeri optimum değer olarak seçilmiş ve bu değer dikkate alınarak en uygun meshin edge sizing olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.11).



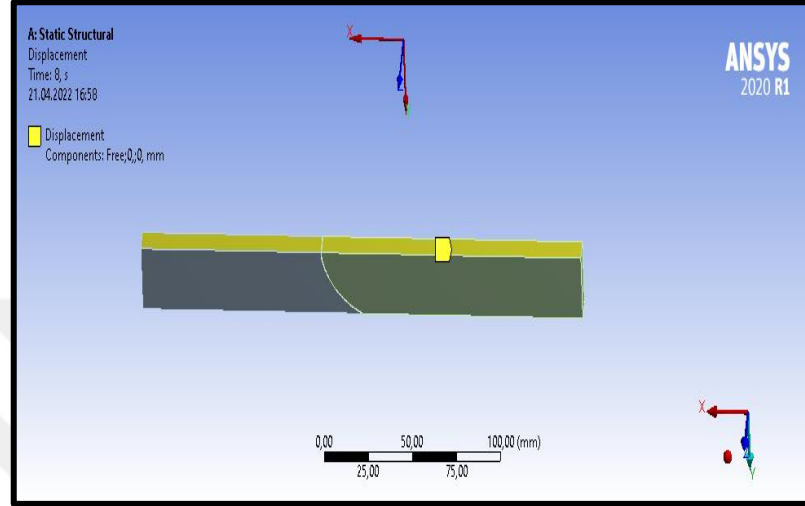
**Şekil 4.11:** Sikloid eğri yüzeyli numune ANSYS mesh modeli.

Çekme analizleri için sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeylere sahip modellerde mesh nokta sayıları sırasıyla; 63.323, 76.453, 64.636, 60.697' dir. Eleman sayıları ise yine sırasıyla 13.800, 16.800, 14.100, 13.200 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.12).



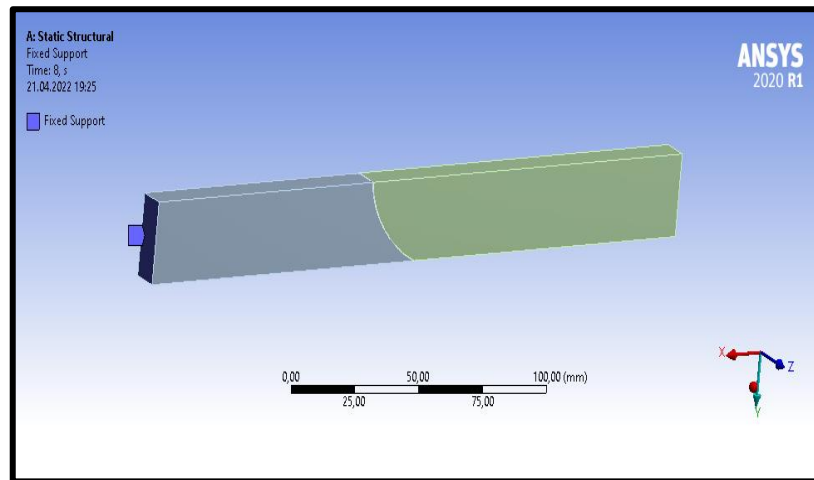
**Şekil 4.12:** Mesh nokta ve eleman sayısı.

Mesh işlemi tamamlandıktan sonra analiz yapılabilmesi için sınır şartlarının tanımlanması gerekir. Sınır şartları tanımlanırken, numunelerin iki yüzüne displacement uygulanıp x yönünde serbest bırakılmış, y ve z yönlerinde hareketine izin verilmemiştir (Şekil 4.13).



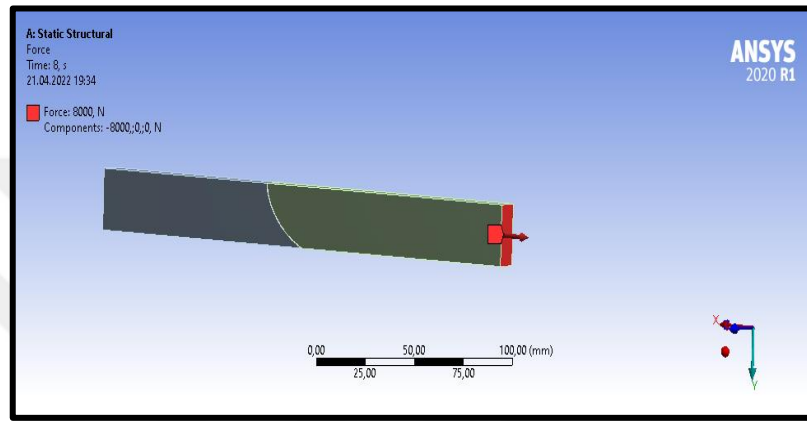
**Şekil 4.13:** Sikloid eğri yüzeyli numuneye displacement uygulanması.

Çekme analizinin yapılabilmesi için numunenin bir tarafından fixed support uygulanıp sabitlenmiştir (Şekil 4.14).



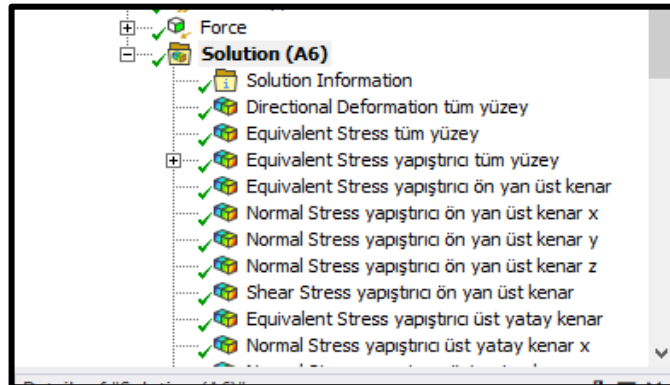
**Şekil 4.14:** Sikloid eğri yüzeyli numunenin bir tarafından sabitlenmesi.

Displacement ve fixed support verildikten sonra çekme analizinin yapılabilmesi için numunenin diğer ucuna kuvvet uygulanmıştır. Yapıştırıcının akma gerilmesi 16,5 MPa'dır. Numunelerin hasara uğradığı gerilme 16,5 MPa değeri sınır olarak kabul edilmiş bu değer üzerine çıkabilmek için sikloid eğri yüzeyli numuneye 8000 N kuvvet kademeli (step) olarak uygulanmıştır (Şekil 4.15). Yapılan analizlerde episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeylerin 16,5 MPa'nın üzerinde gerilme değerine sırasıyla; 5.000 N, 4.000 N ve 12.000 N'da ulaştıkları görülmüştür.



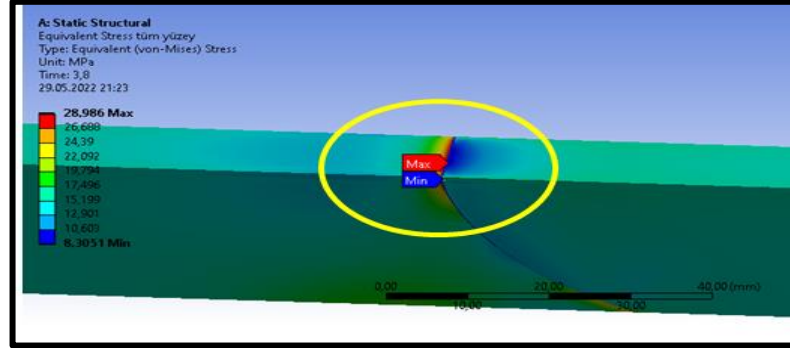
Şekil 4.15: Sikloid eğri yüzeyli numuneye kuvvet uygulanması.

Kuvvet uygulandıktan sonra ANSYS programının solution menüsünden çözüm yapılmıştır. Çözüm esnasında von mises gerilmeleri, normal gerilmeler; x, y, z yönünde, kayma gerilmeleri ve maksimum deplasmanlar çözdürülerek veriler elde edilmiştir (Şekil 4.16).



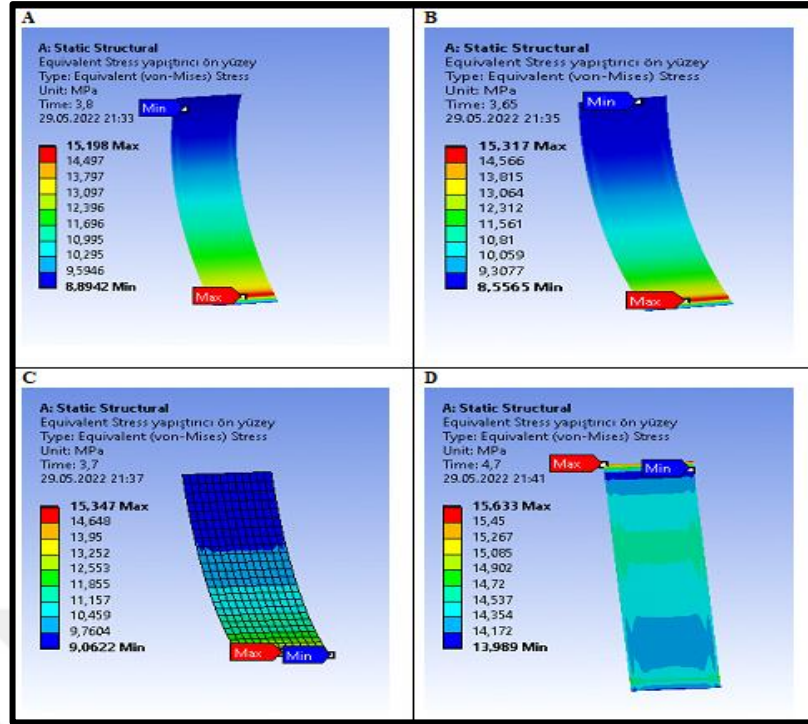
Şekil 4.16: Çözüm (solution) menüsü.

Numunenin tamamı için gerilme analizi yapıлып çözdürülmüştür (Şekil 4.17). Tüm numune için maksimum Von-mises gerilmesi yapıştırıcının üst yatay kenarında görülmüştür.

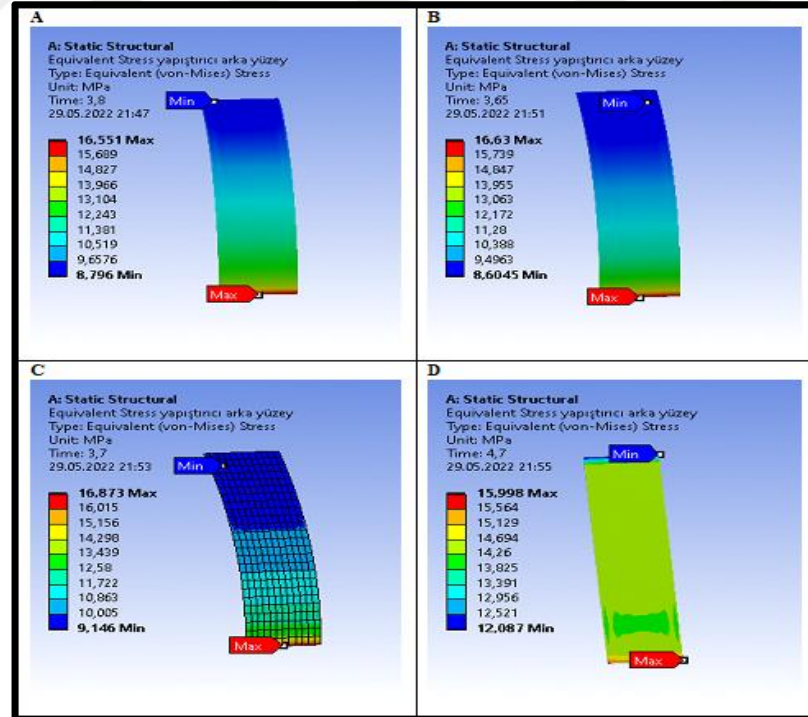


**Şekil 4.17:** Sikloid tüm yüzey von mises gerilme analizi.

Ayrıca tüm numuneler için yapıştırıcının ön ve arka yüzeyinde von mises gerilmeleri incelenmiştir. Sikloid, episikloid ve evolvent numunede ön yüzey için maksimum gerilme alt kısmında, 45 derece ön yüzeyde ise üst kısımda oluşmuştur (Şekil 4.18). Yapıştırıcı arka yüzeyde ise maksimum gerilme alt kısmında oluşmuştur (Şekil 4.19).



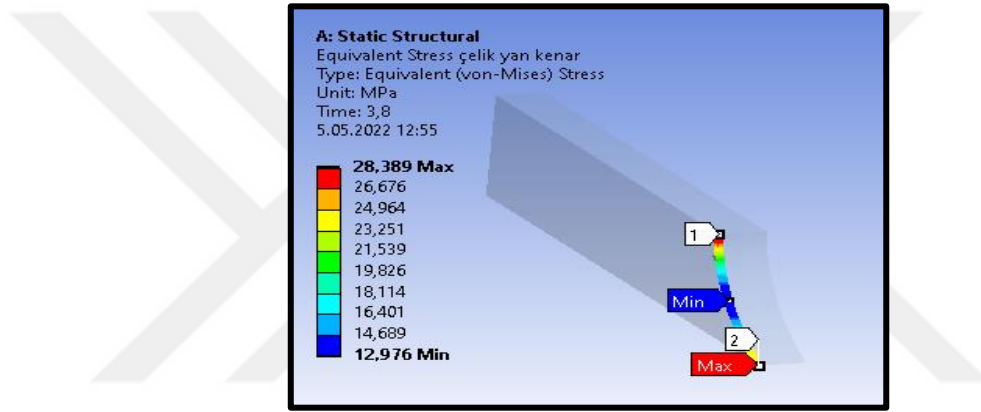
Şekil 4.18: Yapıştırıcı ön yüzey von mises gerilme analizi.



Şekil 4.19: Yapıştırıcı arka yüzey von mises gerilme analizi.

Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunelerde von mises gerilmeleri kıyaslandığında maksimum gerilmelerin yapıştırıcı arka yüzey alt bölgesinde oluştuğu, 45 derece yüzeye sahip numunede ise alt bölgenin tam alt kısmında oluştuğu görülmüştür.

Yapıştırıcı üzerindeki gerilme analizleri ve yüklerin maksimum dayanımlarının tespiti yapıldıktan sonra numunelerin çelik yüzeylerinde de von mises gerilme analizleri yapılmıştır. Buna bağlı olarak yapıştırıcı akma gerilmesi maksimum olduğunda çelik numunenin yan kenar (Şekil 4.20), üst yatay kenar ve alt yatay kenarda von mises gerilme analizleri incelenmiştir.

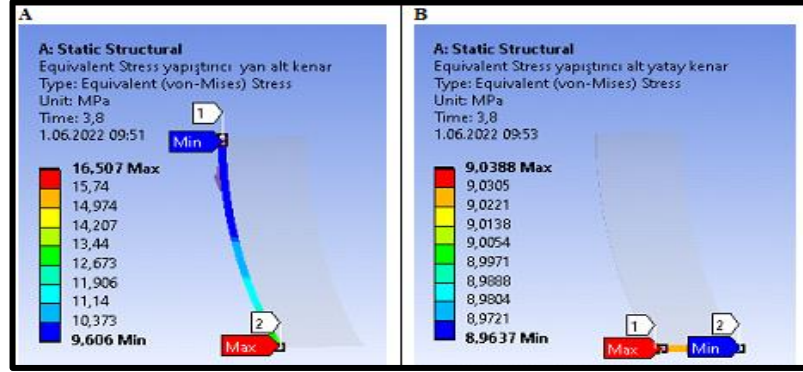


Şekil 4.20: Sikloid çelik yan kenar von mises gerilme analizi.

Çelik kenarlar için yapılan gerilme analizleri neticesinde gerilme değerlerinin akma gerilmesinin altında çıktığından çelik yönünden herhangi bir hasar oluşma durumunun olmadığı görülmüştür. Bu sebeple analizlerde çelik yüzey dikkate alınmamıştır.

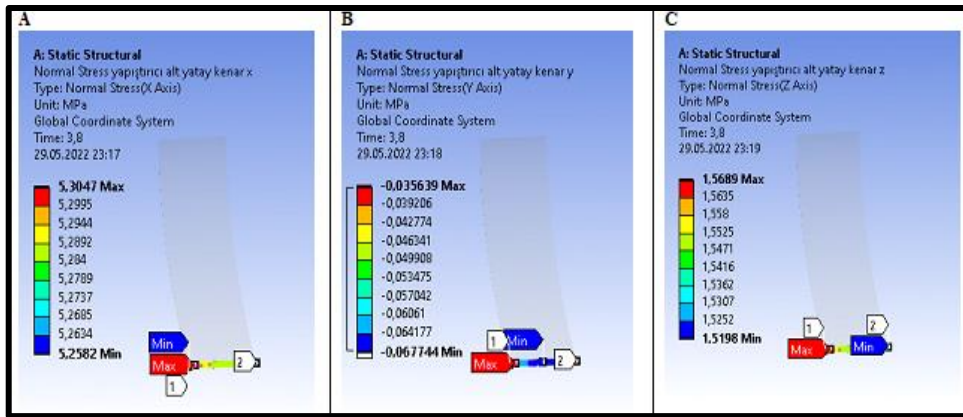


Yapıştırıcı kenarları üzerindeki gerilme dağılımları tespit edilmiştir. Yapıştırıcı yan alt, alt yatay kenarları boyunca von mises gerilme dağılımları tespit edilmiştir (Şekil 4.21).



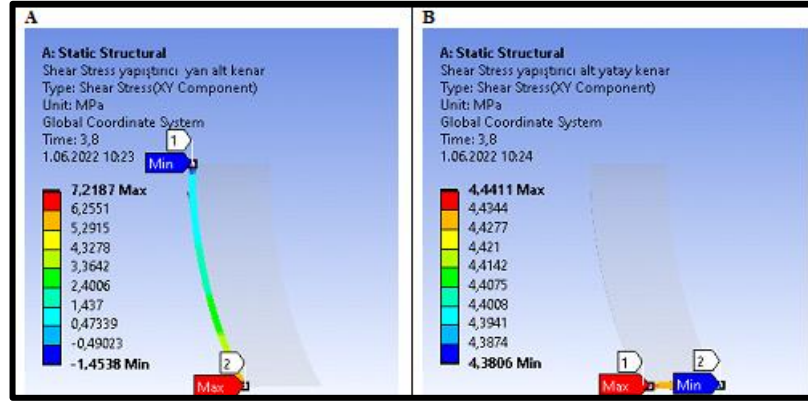
Şekil 4.21: Yapıştırıcı kenarları von mises gerilme dağılımları.

Yapıştırıcı alt yatay kenar boyunca normal gerilme değişimlerinin gözlenmesi amacıyla x, y ve z eksenlerindeki normal gerilmeleri karşılaştırılmıştır. X eksenı boyunca maksimum normal gerilme, y eksenı boyunca maksimum gerilme, z eksenı boyunca maksimum gerilme belirlenmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22: Yapıştırıcı alt yatay kenar x, y ve z yönlerindeki normal gerilme dağılımları.

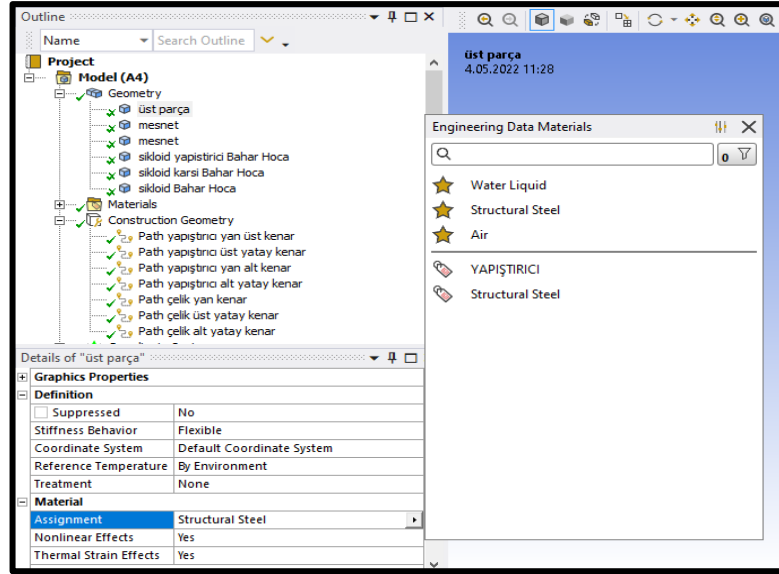
Yapıştırıcı normal gerilme dağılımları belirlendikten sonra kayma gerilme dağılımları; yapıştırıcı yan alt kenar, alt yatay kenar boyunca belirlenmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23: Yapıştırıcı kenarları boyunca kayma gerilmesi dağılımları.

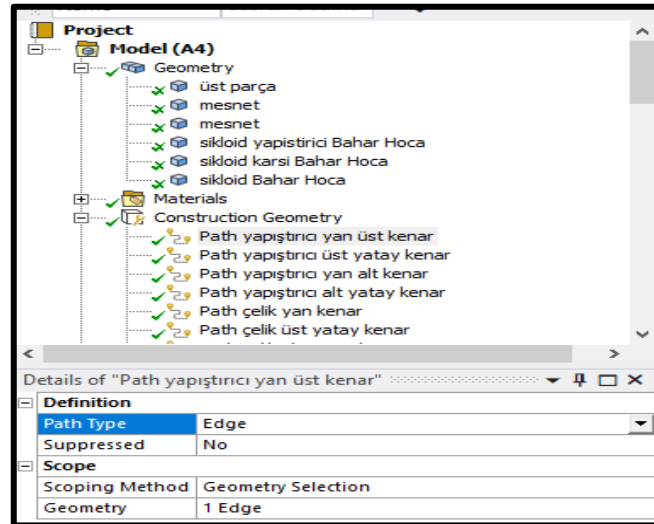
#### 4.2.2 Üç Nokta Eğme Analizi

Çekme analizi yapıldıktan sonra üç nokta eğme analizi yapılmıştır. Analiz için ANSYS programında çekme analizinde olduğu gibi öncelikle St 52 yapı çeliği (Çizelge 4.1) ve DP 8405 nolu yapıştırıcı özellikleri (Çizelge 4.2) Şekil 4.2’de engineering data kısmında atanmıştır. Malzeme özellikleri atandıktan sonra Şekil 4.5’de geometry menüsünden Solidworks da çizdiğimiz model getirilmiştir (Şekil 4.6). Geometry menüsünden numunelerin özelliklerini seçmek için seçilen parçanın sol alt menüde assignment kısmından engineering data materials den özelliği seçilmiştir. Diğer parçaların özellikleri de bu şekilde seçilmiştir (Şekil 4.24).



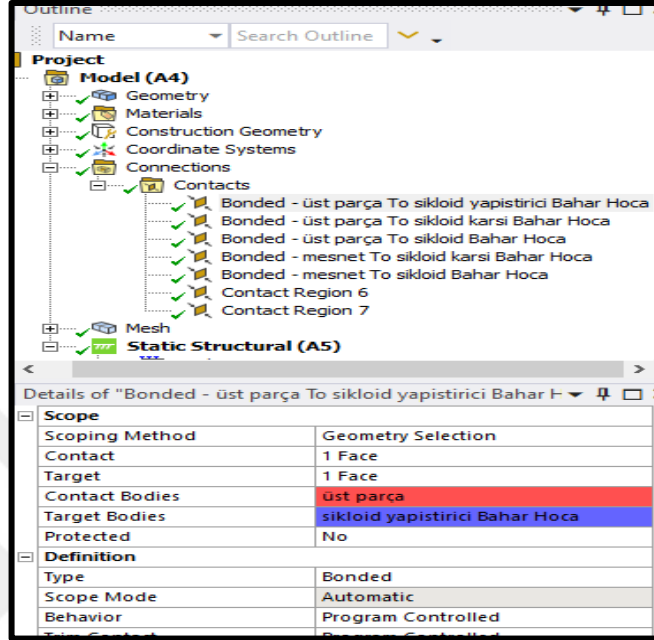
Şekil 4.24: Numune özelliklerinin seçilmesi.

Numune özellikleri belirlendikten sonra insert bölmesinden construction geometry den path seçilmiştir. Path type den istenilen kenar seçilmiştir. Bu şekilde numunelerin diğer kenarları içinde path tanımlanmıştır (Şekil 4.25).



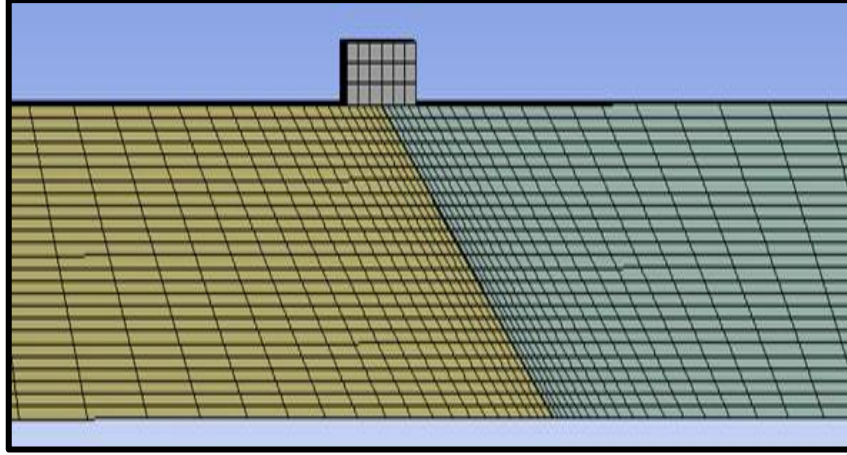
Şekil 4.25: Path tanımlanması.

Path tanımlandıktan sonra connections menüsünden temas halinde olan yapıştırıcıyla parçalar arasındaki yüzeylere contact region bölgesinden contact verilmiştir. 7 adet contact bölgesi belirlenmiştir (Şekil 4.26).



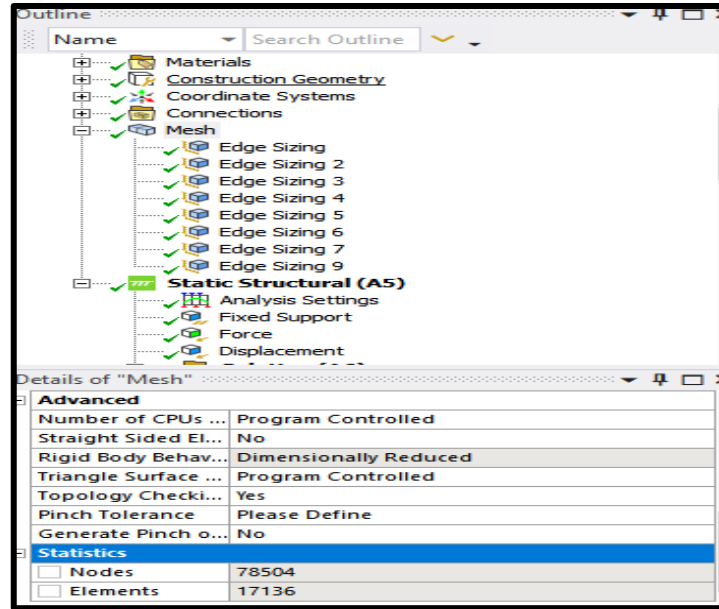
Şekil 4.26: Contacts bölgeleri.

Contacts işleminden sonra malzemelere analiz yapabilmek amacıyla sonlu elemanlar ağının oluşturulması gerekir. Sonlu elemanlar ağının oluşturulması için mesh menüsü kullanılmıştır. Mesh kalitesi açısından uygun mesh türü belirlenmesi amacıyla farklı mesh çeşitleri denenerek uygun olan mesh belirlenmiştir. Kriter olarak mesh quality nin 1'e yakın değeri optimum değer olarak seçilmiş ve bu değer dikkate alınarak en uygun meshin edge sizing olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.27).



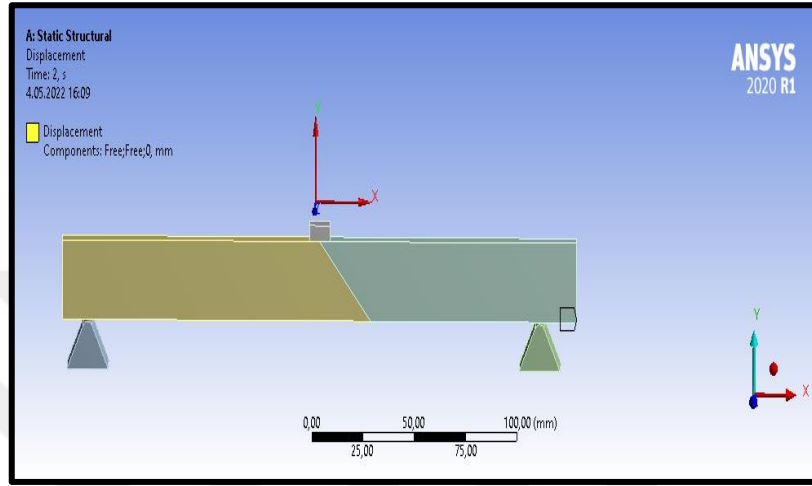
Şekil 4.27: 45 derece eğri yüzeyli numune ANSYS mesh modeli.

Mesh menüsünden modellerin nokta sayısı ve eleman sayılarına ulaşılır. Üç nokta eğme analizi için sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeylere sahip modellerde mesh sayıları sırasıyla; 78.504, 89.008, 89.008, 77.191'dir. Eleman sayıları ise sırasıyla; 17.136, 19.536, 19.536, 16.836 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.28).



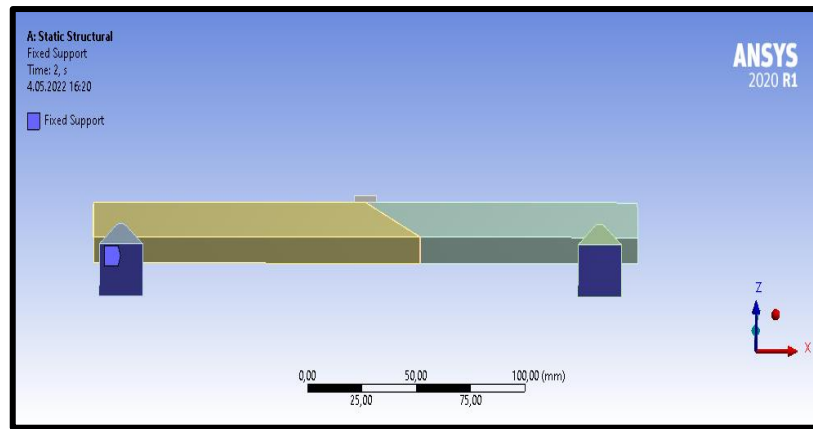
Şekil 4.28: Sikloid eğri yüzey nokta ve eleman sayısı.

Mesh işleminden sonra üç nokta eğme analizi yapılabilmesi için sınır şartlarının tanımlanması gerekir. Sınır şartları tanımlanırken, numunelerin iki yüzüne displacement uygulayıp x ve y yönünde serbest bırakılmış, z yönünde hareketine izin verilmemiştir (Şekil 4.29).



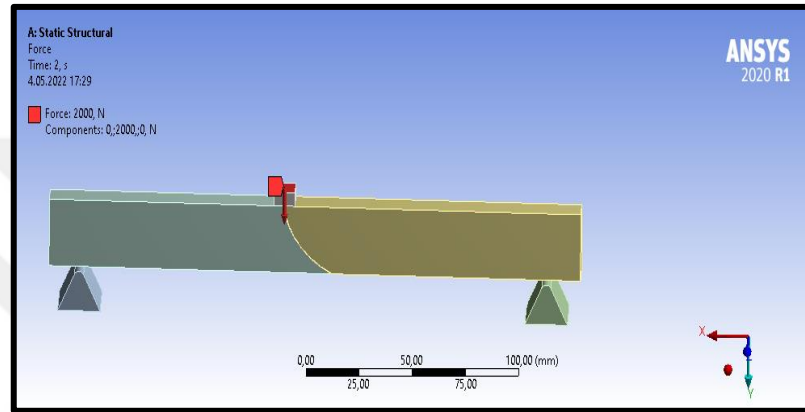
Şekil 4.29: 45 derece eğri yüzeyli numuneye displacement uygulanması.

Üç nokta eğme analizinin yapılabilmesi için numuneye 2 mesnetten fixed support uygulanıp sabitlenmiştir (Şekil 4.30).



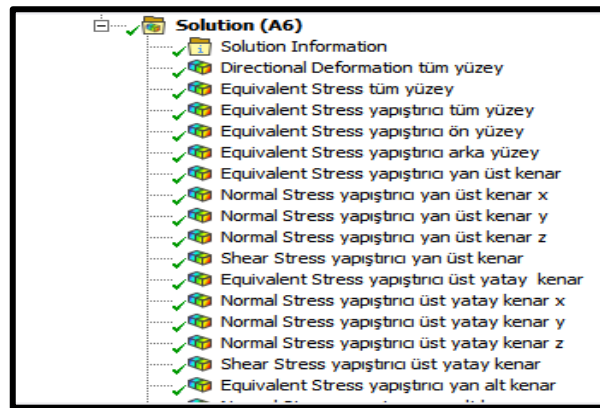
Şekil 4.30: 45 derece eğri yüzeyli numunenin iki mesnetten sabitlenmesi.

Displacement ve fixed support verildikten sonra üç nokta eğme analizi yapılabilmesi için numuneye üst parçadan kuvvet uygulanmıştır. Yapıştırıcının akma gerilmesi 16,5 MPa' dır. Numunelerin hasara uğrayabilmesi için 16,5 MPa değeri sınır olarak kabul edilmiş bu değerin üzerine çıkabilmek için sikloid eğri yüzeyli numuneye 2000 N kuvvet kademeli (step) olarak uygulanmıştır (Şekil 4.31). Yapılan analizlerde episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeylerin 16,5 MPa'nın üzerinde gerilme değeri oluşturabilmeleri için sırasıyla; 3.000 N, 2.000 N ve 2.000 N olarak step (adım) şeklinde kuvvetler uygulanmıştır.



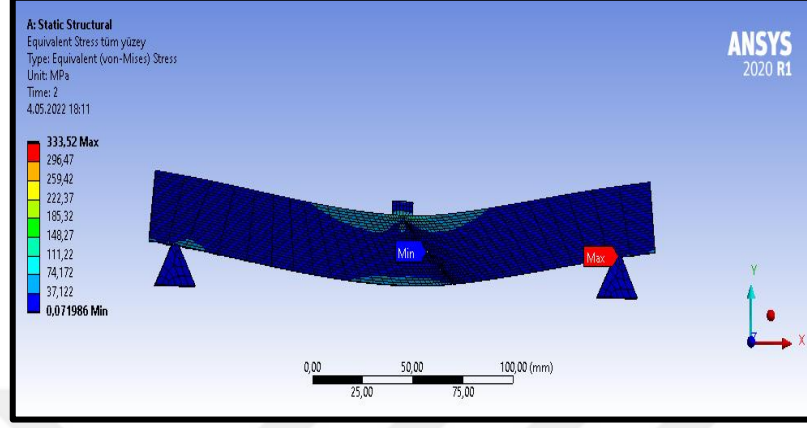
Şekil 4.31: Sikloid eğri yüzeyli numuneye kuvvet uygulanması.

Kuvvet uygulandıktan sonra ANSYS programında solution menüsünden çözüm yaptırılmıştır. Çözüm esnasında von mises gerilmeleri, normal gerilmeler; x, y, z yönünde, kayma gerilmeleri ve maksimum deplasmanlar çözdürülerek verilere ulaşılmıştır (Şekil 4.32).



Şekil 4.32: Solution (çözüm) menüsü.

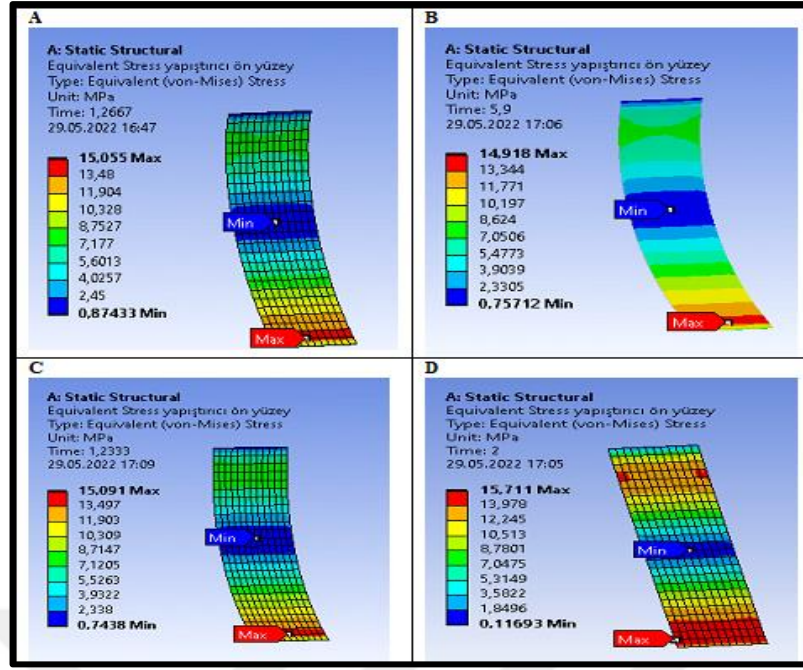
Numunenin tamamı için gerilme analizi yapıp çözdürülmüştür. 45 derece eğri yüzeyli numune için tüm yüzeyde maksimum Von-mises gerilmesi yapıştırıcının arka yüzey alt bölgesinde belirlenmiştir (Şekil 4.33).



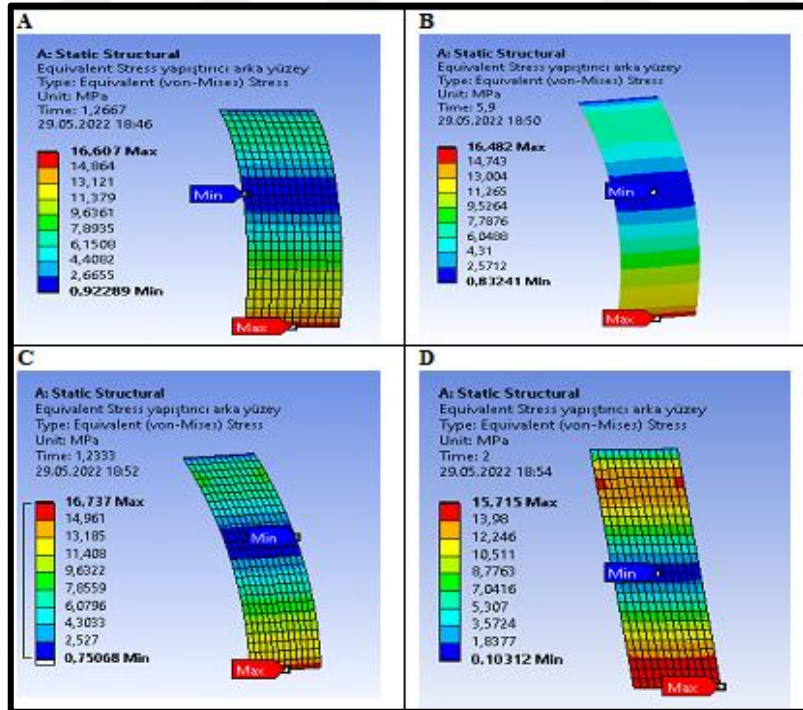
Şekil 4.33: 45 derece eğri yüzey için tüm yüzey von mises gerilme analizi.

Ayrıca tüm numuneler için yapıştırıcının ön ve arka yüzeyinde von mises gerilmeleri incelenmiştir. Yapıştırıcı ön yüzey ve arka yüzeyde von mises gerilmeleri incelenmiştir. Yapıştırıcı ön yüzey için maksimum gerilme alt kısımda oluşmuştur (Şekil 4.34). Yapıştırıcı arka yüzeyde de maksimum gerilme alt kısmında oluşmuştur (Şekil 4.35).





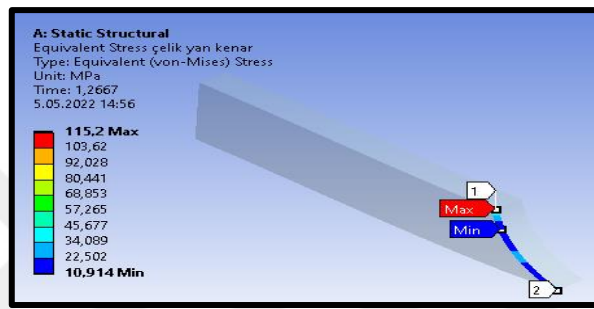
Şekil 4.34: Yapıştırıcı ön yüzey von mises gerilme analizi.



Şekil 4.35: Yapıştırıcı arka yüzey von mises gerilme analizi.

Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunelerde von mises gerilmeleri kıyaslandığında maksimum gerilmelerin yapıştırıcı arka yüzey alt bölgesinde oluştuğu, 45 derece yüzeye sahip numunede ise alt bölgenin tam alt kısmında oluştuğu görülmüştür.

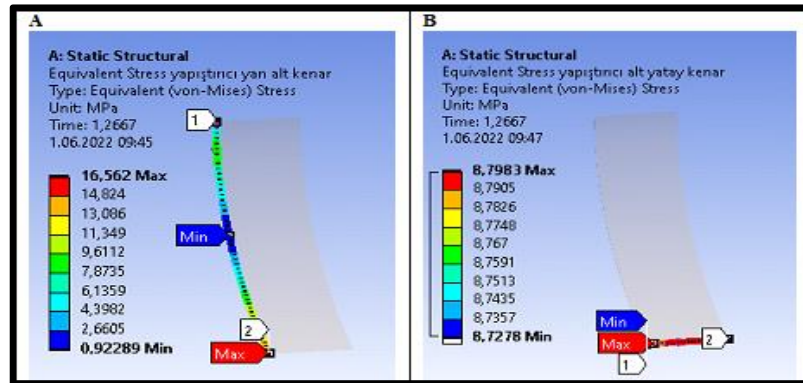
Yapıştırıcı üzerindeki gerilme analizleri ve yüklerin maksimum dayanımlarının tespiti yapıldıktan sonra numunelerin çelik yüzeylerinde de von mises gerilme analizleri yapılmıştır. Buna bağlı olarak yapıştırıcı akma gerilmesinin maksimum olduğunda çelik numunenin yan kenar (Şekil 4.36), üst yatay kenar ve alt yatay kenarda von mises gerilme analizleri incelenmiştir.



Şekil 4.36: Sikloid çelik yan kenar von mises gerilme analizi.

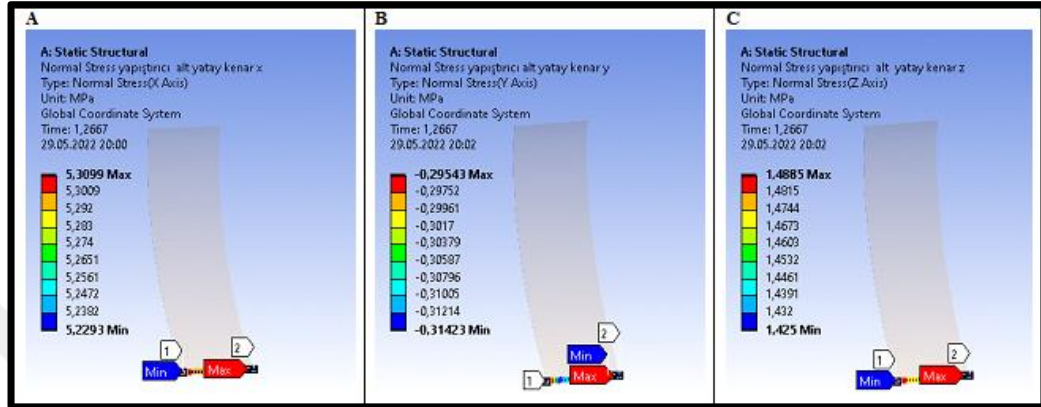
Çelik kenarlar için yapılan gerilme analizleri neticesinde gerilme değerlerinin akma gerilmesinin altında çıktığından çelik yönünden herhangi bir hasar oluşma durumunun olmadığı belirlenmiştir. Bu sebeple analizlerde çelik yüzey dikkate alınmamıştır.

Yapıştırıcı kenarları üzerindeki gerilme dağılımları tespit edilmiştir. Yapıştırıcı yan alt kenar ve alt yatay kenar için von mises gerilme dağılımları tespit edilmiştir (Şekil 4.37).



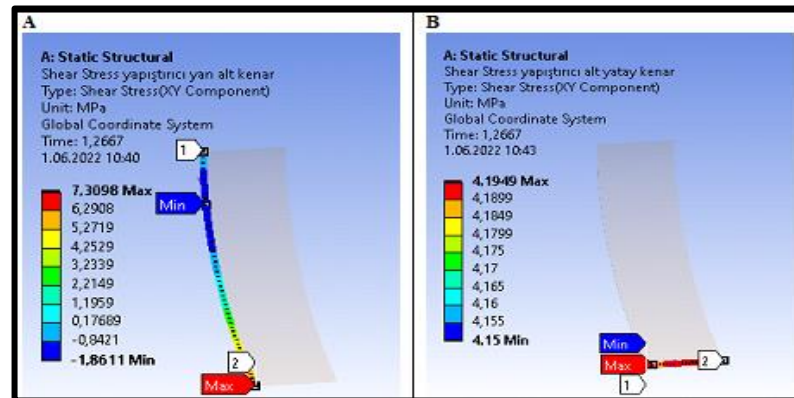
Şekil 4.37: Yapıştırıcı kenarları von mises gerilme dağılımları.

Yapıştırıcı alt yatay kenar boyunca normal gerilme değişimlerinin gözlenmesi amacıyla x, y ve z eksenlerindeki normal gerilmeleri karşılaştırılmıştır. X eksenı boyunca maksimum normal gerilme, y eksenı boyunca maksimum gerilme, z eksenı boyunca maksimum gerilmeler belirlenmiştir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38: Yapıştırıcı alt kenar x, y ve z yönlerindeki normal gerilme dağılımları.

Yapıştırıcı normal gerilme dağılımları belirlendikten sonra kayma gerilmesi dağılımları belirlenmiştir. Yapıştırıcı yan alt kenar ve alt yatay kenar boyunca kayma gerilmesi dağılımları belirlenmiştir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39: Yapıştırıcı kenarları boyunca kayma gerilmesi dağılımları.

### 4.3 Deneysel Çalışma

Analiz çalışmalarının desteklenmesi için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Solidworks programında modellenen numuneler St 52 çeliği (Şekil 4.43) kullanılarak CNC tel erezyon tezgahında imal edilmiş, yapıştırıcı türü olarak 3M markasına ait DP 8405 (Şekil 4.42) kullanılarak numuneler yapıştırılmıştır. Yapıştırıcının mekanik özelliklerini tespit edebilmek için, levha halinde üretilen yapıştırıcılar 140 mm genişlik, 5 mm kalınlık ve 15 mm boy standardına göre kesilerek hazırlanmıştır (Şekil 4.40). Hazırlanan numuneler Shimadzu marka test cihazına bağlanarak çekme deneyi 5 mm/dk'lık çekme hızında uygulanmıştır (Şekil 4.41).



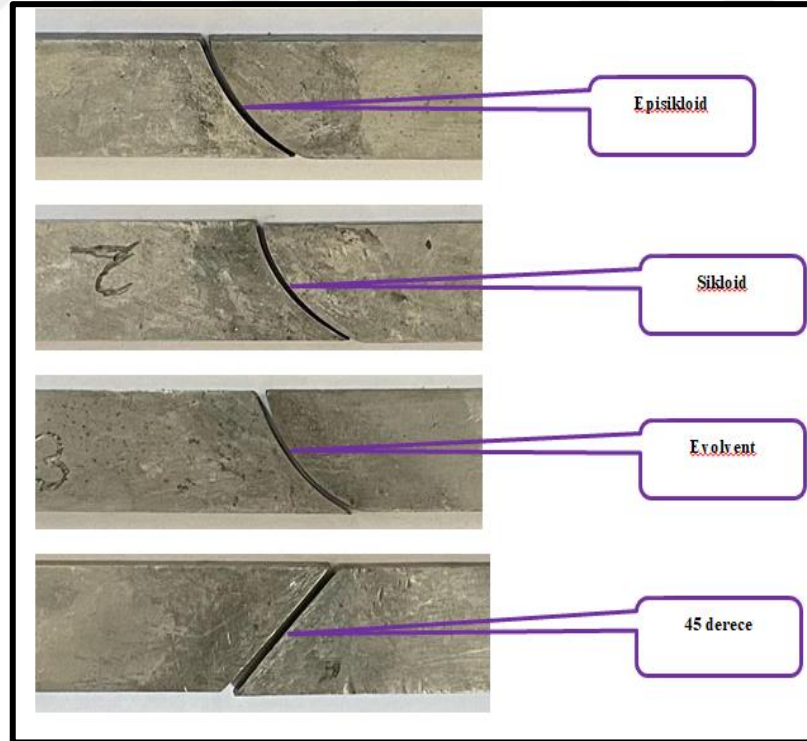
Şekil 4.40: Yapıştırıcı bulk numunesi.



Şekil 4.41: Yapıştırıcı bulk numuneye çekme deneyinin yapıldığı Shimadzu marka cihaz.



Şekil 4.42: 3M marka DP 8405 numaralı epoksi yapıştırıcı.

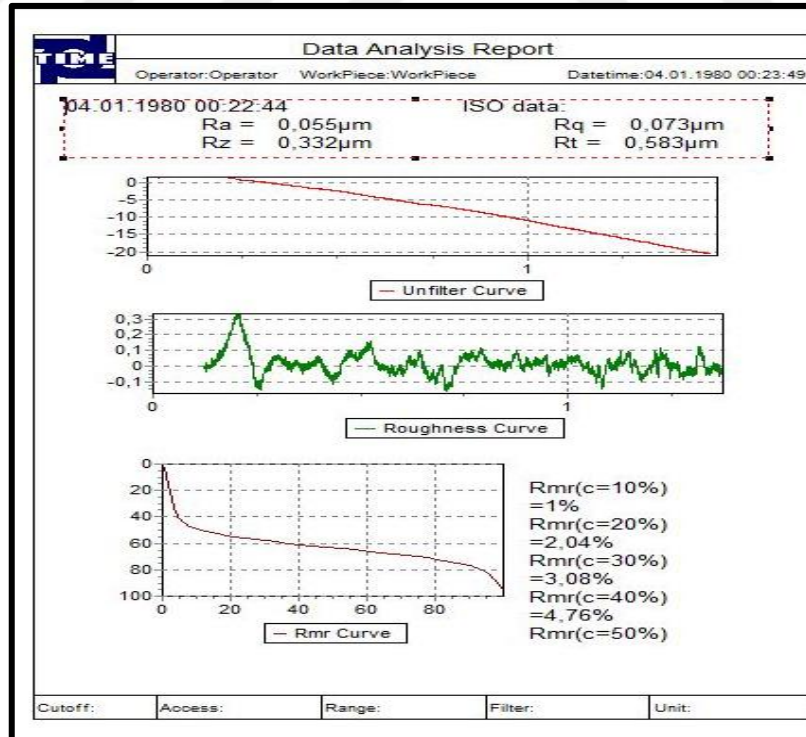


Şekil 4.43: St 52 yapı çeliği numuneleri.

Tel erzyonla üretilen numuneler yapıştırılmadan önce yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Numunelerin yüzey pürüzlülüğü  $0.055\mu\text{m}$  (Şekil 4.45) olarak ölçülmüştür (Şekil 4.44).

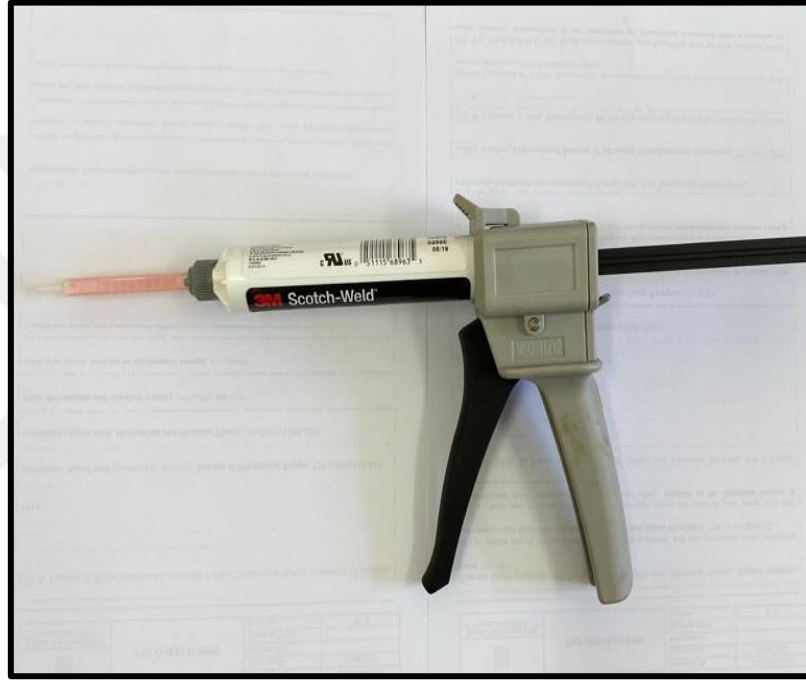


Şekil 4.44: Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.

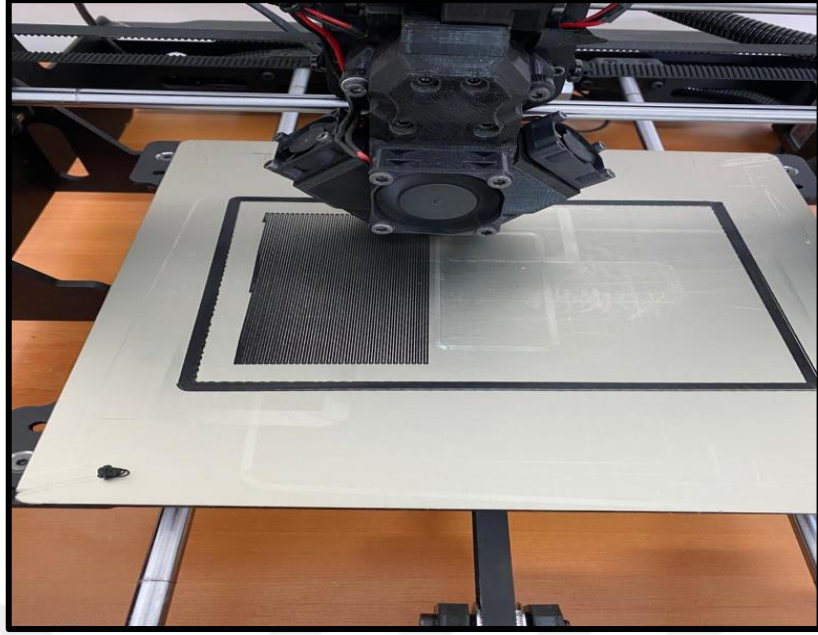


Şekil 4.45: Yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Çelik numuneler DP 8405 numaralı yapıştırıcı başlığına nozul takılıp epoksi tabanca yardımıyla yapıştırılmıştır (Şekil 4.46). 3d yazıcı yardımıyla yapıştırma işleminin yapıldığı kalıp üretilmiştir (Şekil 4.47). Burada numuneler yapıştırılmıştır. Yapıştırılan numuneler (Şekil 4.48) kürlenmesi için 24 saat bekletilmiştir (Şekil 4.49). Yapıştırılan çelik numuneler daha sonra 100°C de fırında 1 saat bekletilerek tamamen kürlenmeleri sağlanmıştır (Şekil 4.50). Fırınlanan numuneler 24 saat sonra Shimadzu marka cihazda çekme testine tabi tutulmuştur (Şekil 4.51). Her bir numune için 3 tekrar yapılmıştır.



**Şekil 4.46:** Yapıştırıcı ve tabancası.

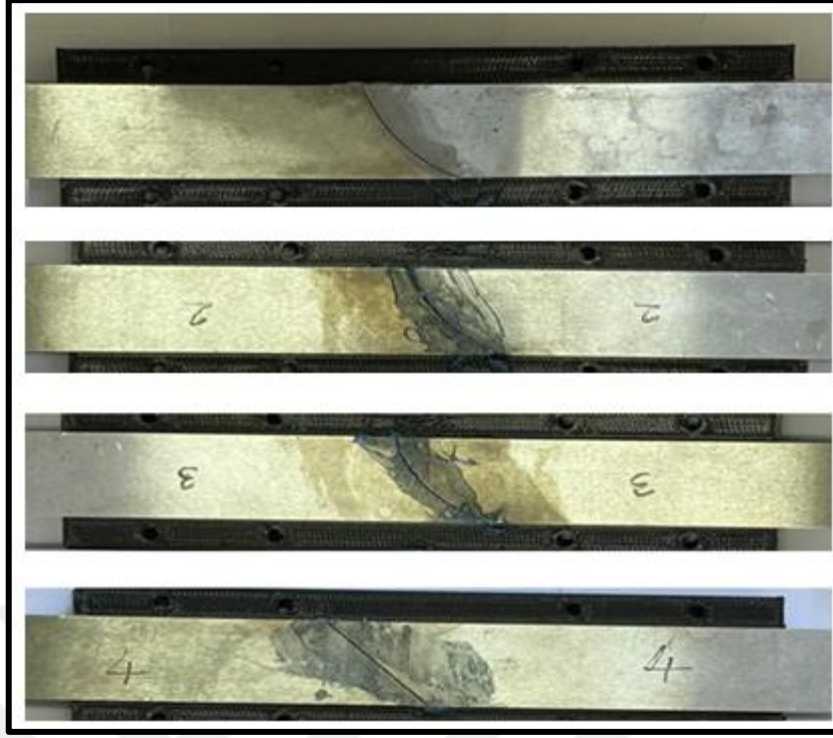


**Şekil 4.47:** Numuneler için kalıp üretimi.



**Şekil 4.48:** Çelik numunelerin yapıştırılması.





Şekil 4.49: Yapıştırıcı işleminin yapıldığı kalıp.



Şekil 4.50: Kürlenme fırını.



**Şekil 4.51:** Çekme deneyi.

Çekme deneyinden sonra numunelere üç nokta eğme deneyi uygulanmıştır. Eğme deneyi için öncelikle numuneler yapıştırılıp 24 saat kürlenmesi için bekletilmiştir. Yapıştırılan numuneler 100°C de fırında 1 saat bekletilerek tamamen kürlenmeleri sağlanmıştır (Şekil 4.50). Fırınlanan numuneler 24 saat sonra Shimadzu marka cihazda üç nokta eğme testine tabi tutulmuştur (Şekil 4.52). Bu işlem 3 set halinde numunelere uygulanmıştır.

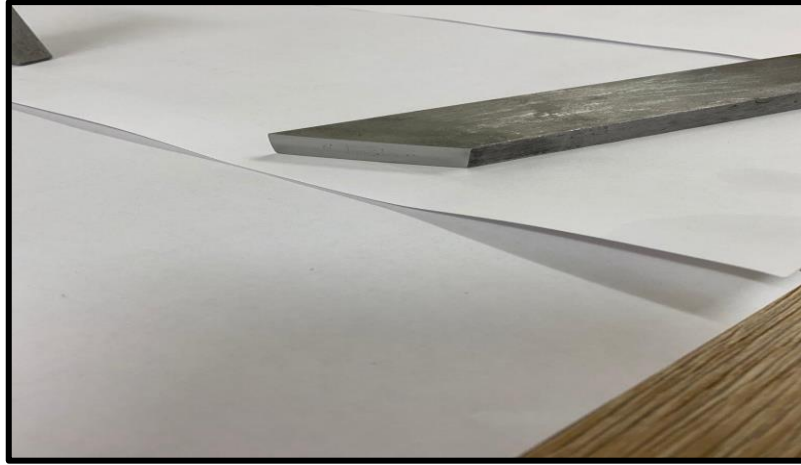


**Şekil 4.52:** Üç nokta eğme deneyi.

Çekme ve üç nokta eğme deneylerinden sonra yüzey kalitesinin yapıştırma performansına etkisini incelemek amacıyla numunelerin yüzeylerine parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma işlemi uygulanırken metkonun 3 mikron pastası kullanılarak yüzeylere parlatma işlemi uygulanmıştır (Şekil 4.53). Yüzeyi parlatılan numunelerden biri Şekil 4.54' de gösterilmiştir.

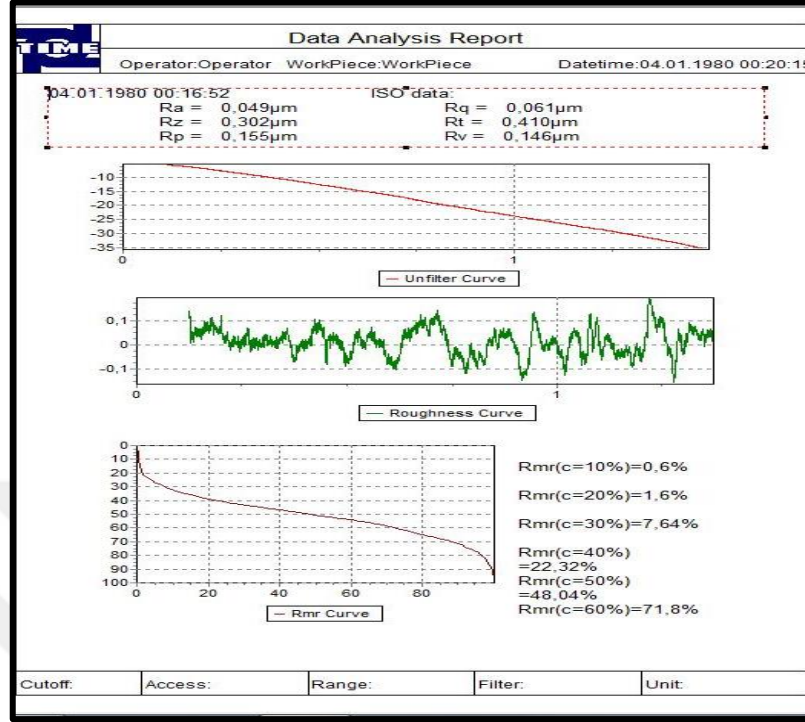


**Şekil 4.53:** Yüzey parlatma işlemi.



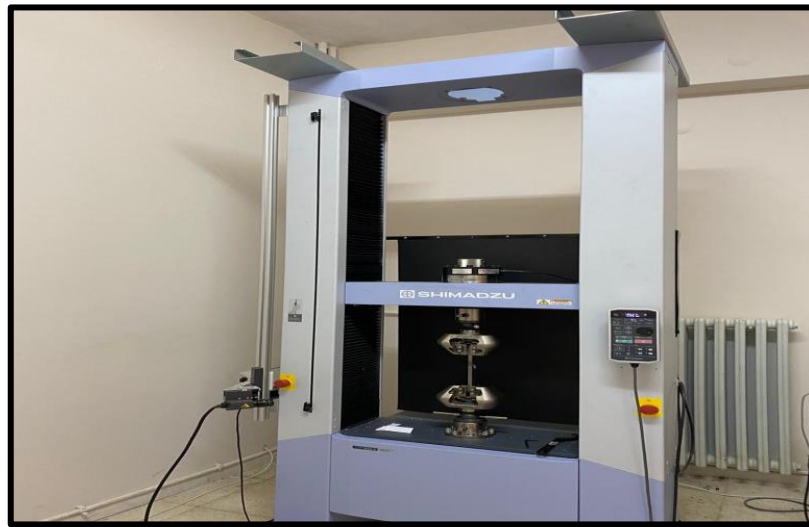
**Şekil 4.54:** Yüzey parlatma işlemi yapılan numune.

Yüzeyler parlatıldıktan sonra yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Ra değeri 0,049  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür (Şekil 4.55).



Şekil 4.55: Yüzey parlatma işleminden sonra yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Yüzey parlatma işleminden sonra 45 derece eğri yüzeyli numuneye tekrar çekme testi 3 set şeklinde uygulanmıştır (Şekil 4.56).



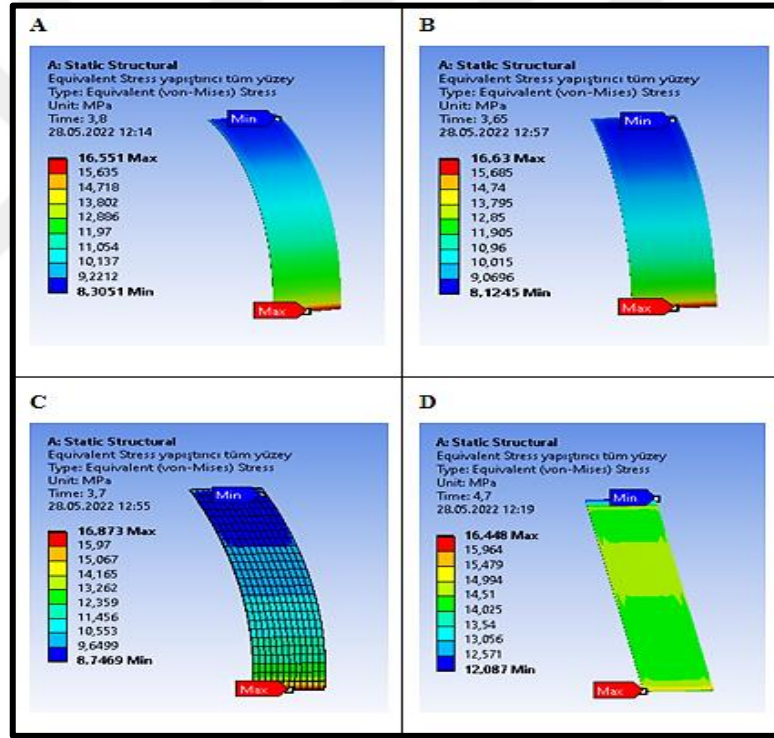
Şekil 4.56: Yüzey parlatma işleminden sonra çekme deneyi uygulaması.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

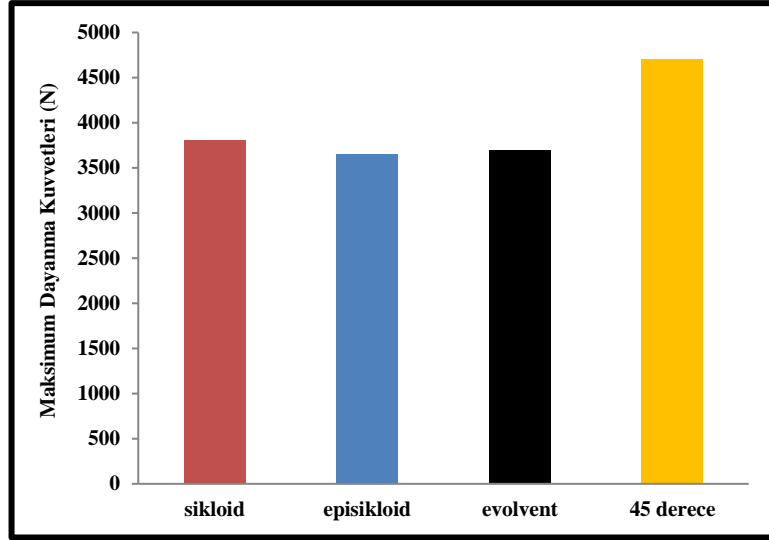
Bu bölümde analiz ve deneysel çalışmalardan elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

### 5.1 Çekme Analizi Sonuçları

Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunelerde maksimum von mises gerilmeleri kıyaslandığında gerilmelerin yapıştırıcı arka yüzey alt bölgesinde oluştuğu, 45 derece ise tam alt kısımda oluştuğu görülmüştür (Şekil 5.1). Akma kriteri göz önüne alındığında maksimum dayanma kuvvetlerinin sikloid yüzeyde 3.800 N, episikloid yüzeyde 3.650 N, evolvent yüzeyde 3.700 N ve 45 derece eğri yüzeyde ise 4.700 N olarak belirlenmiştir (Şekil 5.2).

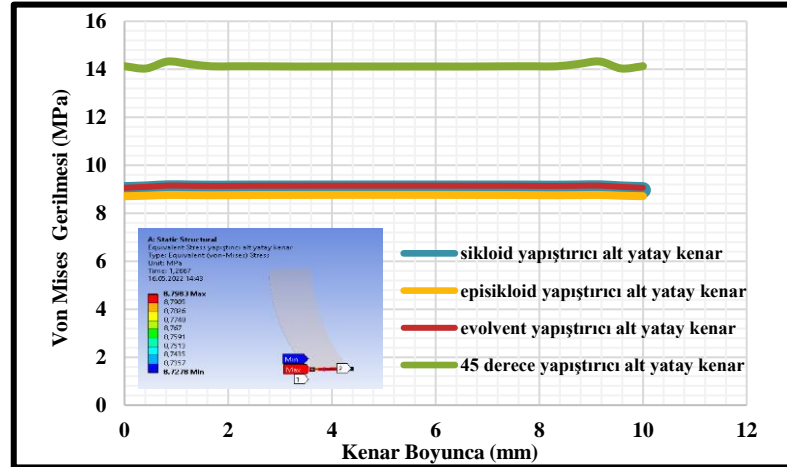


Şekil 5.1: Yapıştırıcı tüm yüzey von mises gerilme analizi.



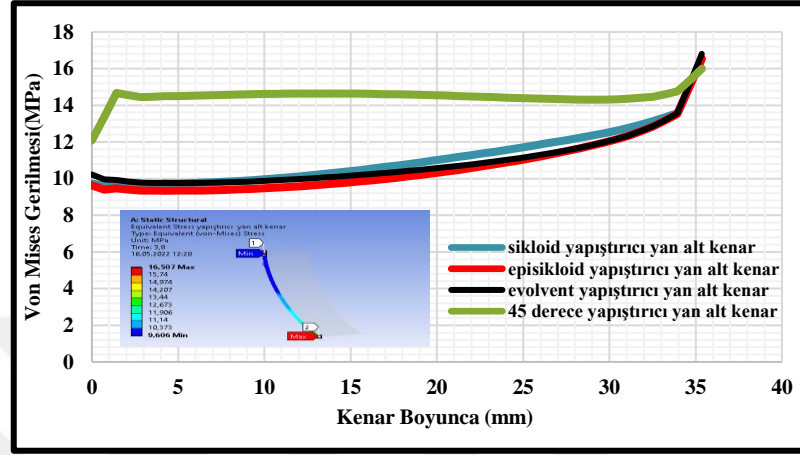
Şekil 5.2: Yapıştırıcı maksimum dayanım kuvvetleri grafiği.

Yapıştırıcı alt yatay kenar için x eksenı boyunca uygulanan kuvvet altında von mises gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Kenar boyunca gerilmelerin değişmediği maksimum gerilmenin ise 45 derece yüzeyde olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.3).



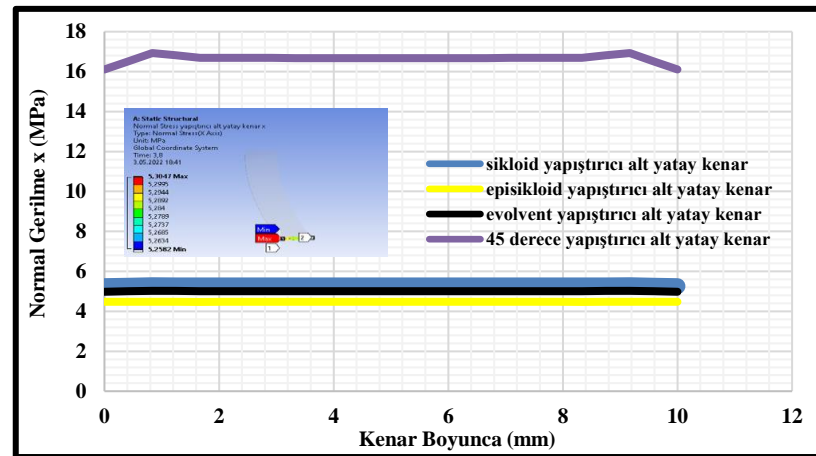
Şekil 5.3: Yapıştırıcı alt yatay kenar boyunca von mises gerilme analizi.

Yapıştırıcı yan alt kenar için x eksenı boyunca uygulanan kuvvet altında von mises gerilmeleri eğri yüzeyler için kıyaslanmıştır. Sikloid, episikloid ve evolvent eğri yüzeylerde gerilmenin arttığı, 45 derecede ise önce artıp sonra sabit şekilde devam ettiği en son yükseldiği belirlenmiştir. Maksimum gerilmenin evolvent yüzeyde olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: Yapıştırıcı yan alt kenar boyunca von mises gerilme grafiği.

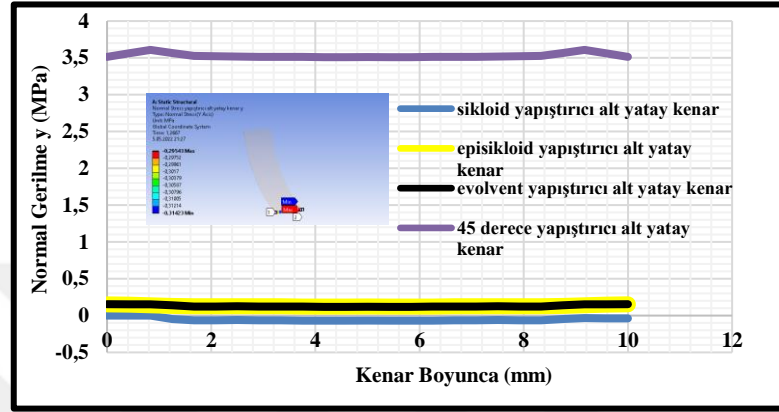
Yapıştırıcı alt yatay kenar için uygulanan kuvvet altında x eksenindeki normal gerilme değerleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Sikloid, episikloid ve evolvent yüzeylerde kenar boyunca değişmediği, 45 derece yüzeyde başlangıçta yükseldiği daha sonra sabit olduğu uç noktada ise başlangıç değerine ulaştığı belirlenmiştir. X eksenindeki maksimum normal gerilme 45 derece eğri yüzeyde tespit edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: Yapıştırıcı alt yatay kenar x eksenindeki normal gerilme grafiği.

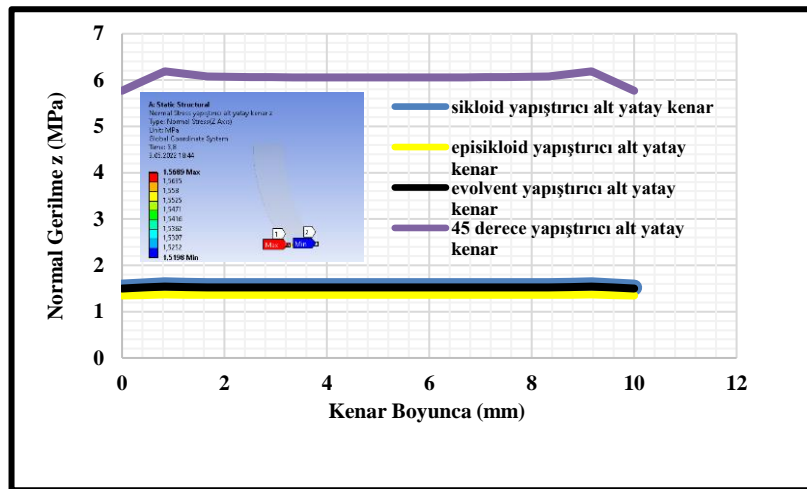


Yapıştırıcı alt yatay kenar için uygulanan kuvvet altında y eksenindeki normal gerilme değerleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Sikloid, episikloid ve evolvent yüzeylerde kenar boyunca değişmediği, 45 derece yüzeyde başlangıçta yükseldiği daha sonra düştüğü, kenarın ilerleyen kısımlarında sabit olduğu uç noktada ise başlangıç değerine ulaştığı belirlenmiştir. Y eksenindeki maksimum normal gerilme 45 derece eğri yüzeyde tespit edilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6: Yapıştırıcı alt kenar y eksenindeki normal gerilme grafiği.

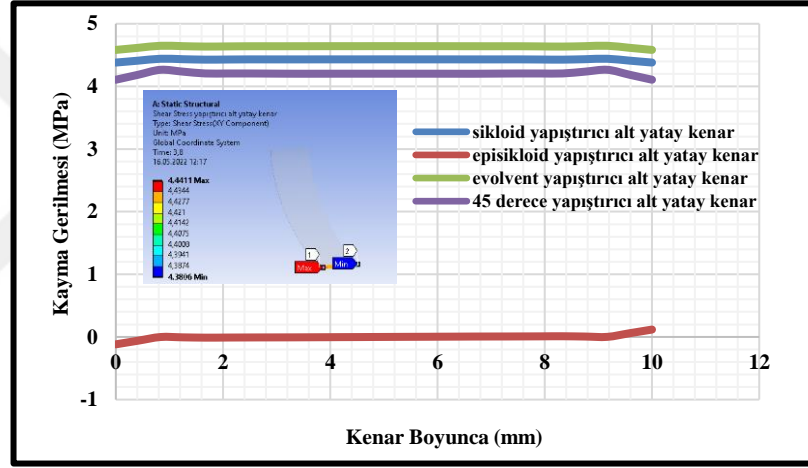
Yapıştırıcı alt yatay kenar için uygulanan kuvvet altında z eksenindeki normal gerilme değerleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Sikloid, episikloid ve evolvent yüzeylerde kenar boyunca değişmediği, 45 derece yüzeyde başlangıçta yükseldiği daha sonra sabit olduğu uç noktada ise başlangıç değerine ulaştığı belirlenmiştir. Z eksenindeki maksimum normal gerilme 45 derece eğri yüzeyde tespit edilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7: Yapıştırıcı alt yatay kenar z eksenindeki normal gerilme grafiği.

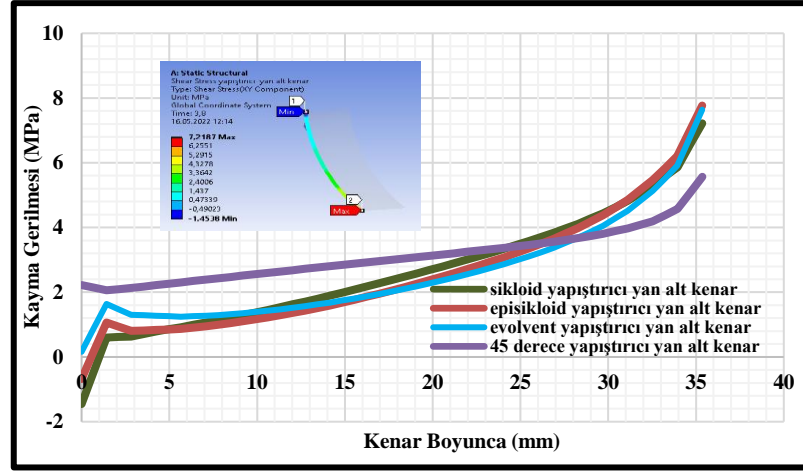
Alt yatay kenar boyunca x, y ve z eksenlerindeki normal gerilmeler kıyaslandığında y ve z eksenlerindeki gerilme değerlerinin düşük olduğu, maksimum gerilmelerin x ekseninde olduğu görülmüştür. Eğri yüzeylerin yatay eksenle yaptığı açılar azaldıkça normal gerilmelerin azaldığı tespit edilmiştir. Bu sebeple maksimum normal gerilmeler 45 derece eğri yüzeyde görülmüştür.

Yapıştırıcı alt yatay kenar için x eksenini boyunca uygulanan kuvvet altında kayma gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Sikloid ve evolvent yüzeyde kenar boyunca gerilmelerin sabit kaldığı, episikloid yüzeyde önce yükseldiği sonra sabit kaldığı uç noktada ise yükseldiği, 45 derece yüzeyde ise önce yükseldiği sonra sabit kaldığı uç noktada ise başlangıç değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Maksimum kayma gerilmesinin evolvent yüzeyde oluştuğu görülmüştür (Şekil 5.8).



Şekil 5.8: Yapıştırıcı alt yatay kenar kayma gerilmesi grafiği.

Yapıştırıcı yan alt kenar için x eksenini boyunca uygulanan kuvvet altında kayma gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Kenar boyunca gerilmenin yükseldiği, maksimum kayma gerilmesinin episikloid yüzeyde oluştuğu görülmüştür (Şekil 5.9).

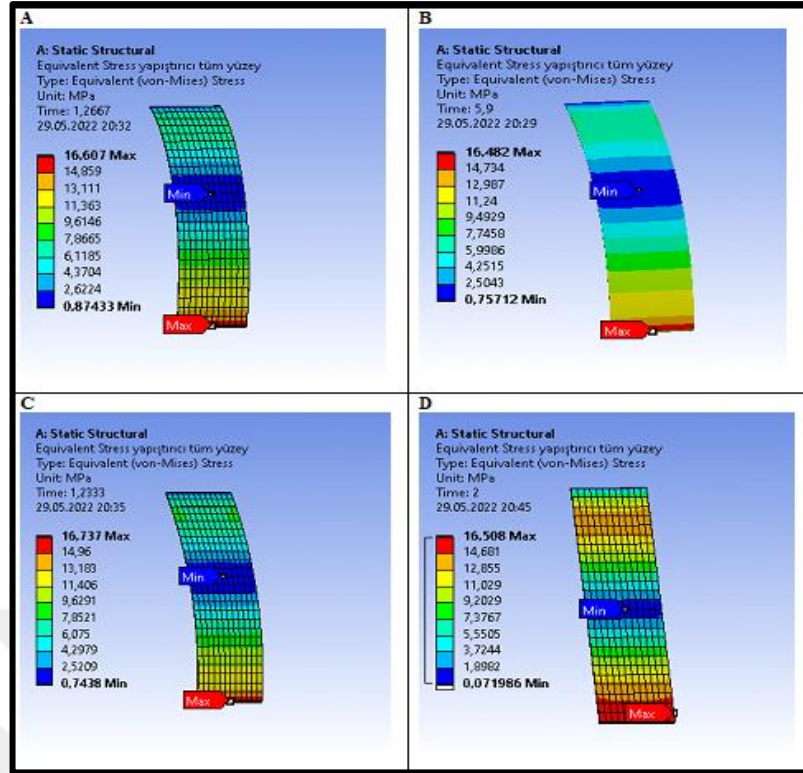


**Şekil 5.9:** Yapıştırıcı yan alt kenar kayma gerilmesi grafiği.

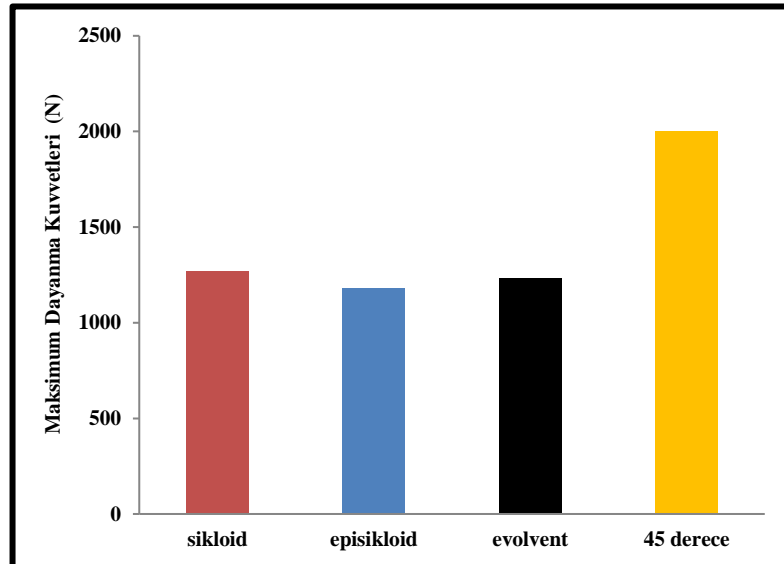
Eğri yüzeylerin yatay eksenle yaptığı açılar azaldıkça normal gerilmelerin azaldığı tespit edilmiştir. 45 derece eğri yüzeyde görülen kayma gerilmesi, sikloid, episikloid, evolvent yüzeyle karşılaştırıldığında daha düşük olduğundan dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Özellikle eğri yüzeylerde gerilme dağılımı yüzeylerin alt kısmında yoğunlaşmıştır. Eğri yüzeylerin alt kısmının x eksenine ile yapmış olduğu açı tüm yüzeyle kıyaslandığında maksimum olduğundan bu bölgede oluşan kayma gerilmeleri tüm yüzeyle kıyaslandığında maksimum çıkmaktadır. Yine bu bölgede eşdeğer gerilme de maksimum çıkmaktadır.

## 5.2 Üç Nokta Eğme Analizi Sonuçları

Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunelerde von mises gerilmeleri kıyaslandığında maksimum gerilmelerin yapıştırıcı arka yüzey alt bölgesinde oluştuğu, 45 derecede ise tam alt kısmında oluştuğu görülmüştür (Şekil 5.10). Akma kriteri göz önüne alındığında maksimum dayanma kuvvetlerinin sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeylerde sırasıyla; 1.266 N, 1.180 N, 1.233 N ve 2.000 N olarak belirlenmiştir (Şekil 5.11).

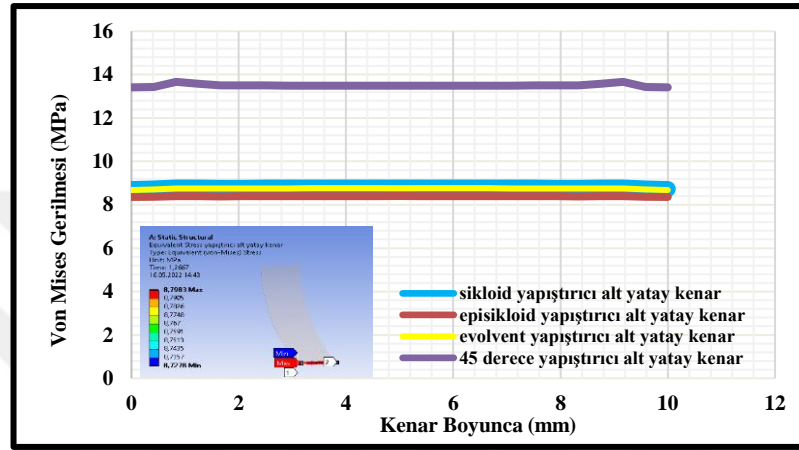


Şekil 5.10: Yapıştırıcı tüm yüzey von mises gerilme analizi.



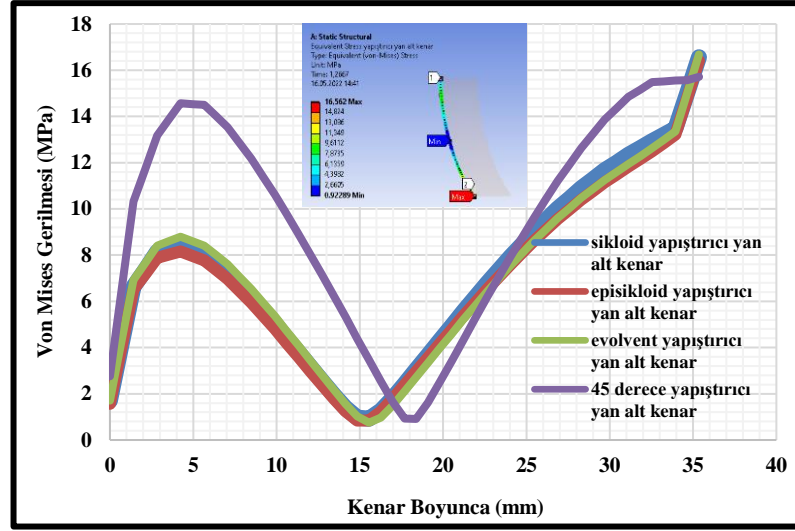
Şekil 5.11: Yapıştırıcı maksimum dayanım kuvvetleri grafiği.

Yapıştırıcı alt yatay kenar için y eksenini boyunca uygulanan kuvvet altında von mises gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Sikloid, episikloid, evolvent yüzeylerde kenar boyunca gerilmelerin değişmediği, 45 derece yüzeyde önce sabit kaldığı, sonra yükseldiği tekrar sabit kalıp başlangıç değerine ulaştığı görülmüştür. Maksimum gerilmenin ise 45 derece yüzeyde olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.12).



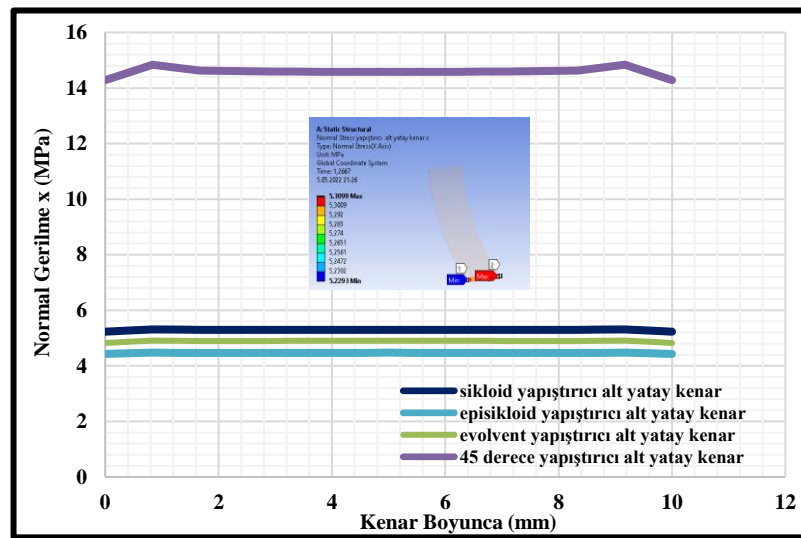
Şekil 5.12: Yapıştırıcı alt yatay kenar boyunca von mises gerilme grafiği.

Yapıştırıcı yan alt kenar için y eksenini boyunca uygulanan kuvvet altında von mises gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Yüzeyler boyunca gerilmelerin önce arttığı, sonra azaldığı, uç noktada tekrar yükseldiği görülmüştür. Maksimum gerilme sikloid yüzeyde görülmüştür (Şekil 5.13).



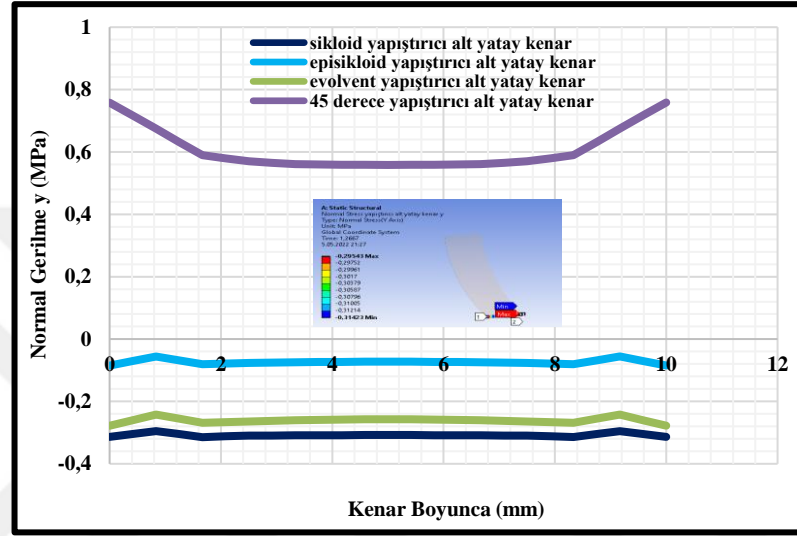
Şekil 5.13: Yapıştırıcı yan alt kenar boyunca von mises gerilme grafiği.

Yapıştırıcı alt yatay kenar için uygulanan kuvvet altında x eksenindeki normal gerilme değerleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Sikloid, episikloid ve evolvent yüzeylerde kenar boyunca gerilmelerin değişmediği, 45 derece yüzeyde başlangıçta yükseldiği daha sonra sabit olduğu uç noktada ise başlangıç değerine ulaştığı belirlenmiştir. X eksenindeki maksimum normal gerilmenin 45 derece eğri yüzeyde tespit edilmiştir (Şekil 5.14).



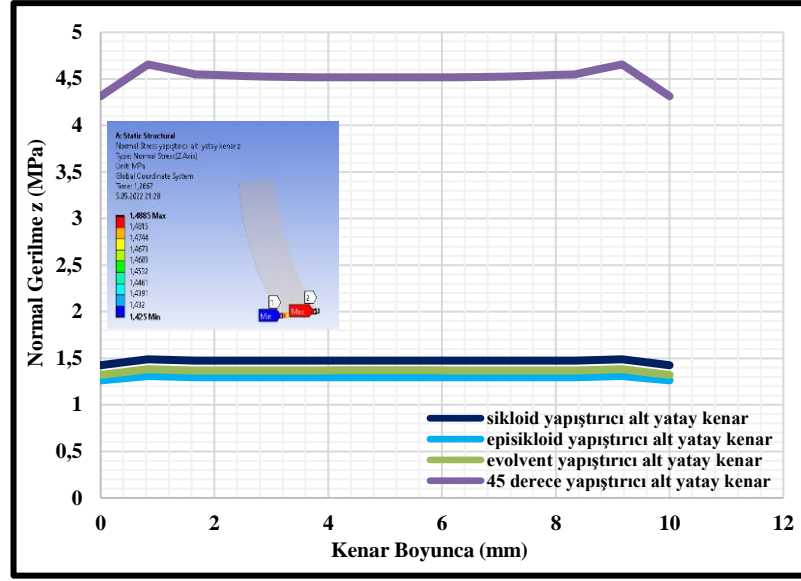
Şekil 5.14: Yapıştırıcı alt yatay kenar x eksenindeki normal gerilme grafiği.

Yapıştırıcı alt yatay kenar için uygulanan kuvvet altında y eksenindeki normal gerilme değerleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Sikloid, episikloid ve evolvent yüzeylerde kenar boyunca gerilmelerin önce arttığı, sonra sabit kaldığı uç noktada başlangıç değerine ulaştığı, 45 derece yüzeyde başlangıçta azaldığı, daha sonra sabit olduğu, uç noktada ise başlangıç değerine ulaştığı belirlenmiştir. Y eksenindeki maksimum normal gerilmenin 45 derece eğri yüzeyde tespit edilmiştir (Şekil 5.15).



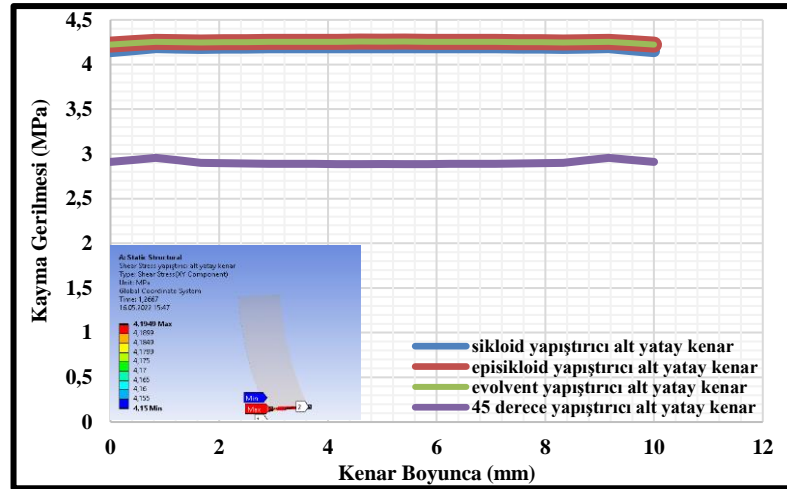
Şekil 5.15: Yapıştırıcı alt yatay kenar y eksenindeki normal gerilme grafiği.

Yapıştırıcı alt yatay kenar için uygulanan kuvvet altında z eksenindeki normal gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Kenarlar boyunca gerilmenin önce yükseldiği, sonra sabit kaldığı uç noktada ise tekrar başlangıç değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Z eksenindeki maksimum normal gerilmenin 45 derece eğri yüzeyde tespit edilmiştir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16: Yapıştırıcı alt yatay kenar z eksenindeki normal gerilme grafiği.

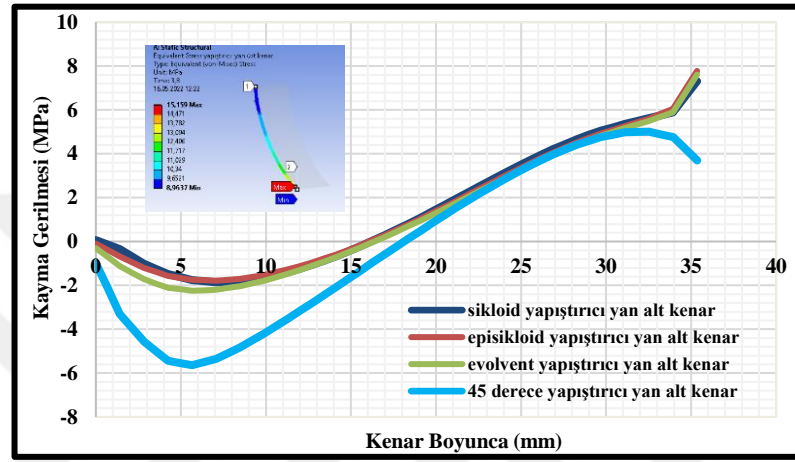
Alt yatay kenar boyunca x, y ve z eksenlerindeki normal gerilmeler kıyaslandığında y ve z eksenlerindeki gerilme değerlerinin düşük olduğu, maksimum gerilmelerin x ekseninde olduğu görülmüştür. Yapıştırıcı alt yatay kenar için y eksenini boyunca uygulanan kuvvet altında kayma gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Sikloid, episikloid ve evolvent yüzeylerde gerilmelerin kenar boyunca değişmediği, 45 derece yüzeyde başlangıçta yükseldiği daha sonra sabit olduğu uç noktada ise başlangıç değerine ulaştığı belirlenmiştir. Maksimum kayma gerilmesinin episikloid eğri yüzeyde tespit edilmiştir (Şekil 5.17).



Şekil 5.17: Yapıştırıcı alt yatay kenar kayma gerilmesi grafiği.



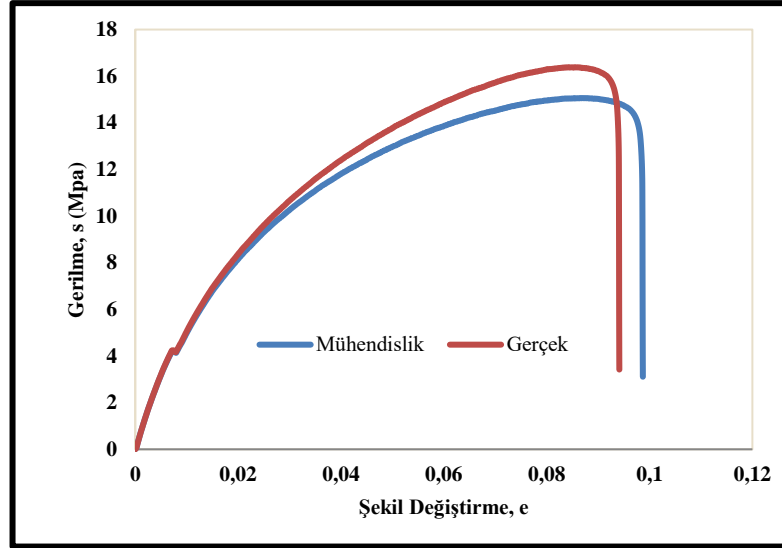
Yapıştırıcı yan alt kenar için y eksenini boyunca uygulanan kuvvet altında kayma gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Sikloid, episikloid ve evolvent yüzeyler boyunca gerilmelerin önce azaldığı, sonra arttığı, uç noktada tekrar yükseldiği, 45 derece yüzeyde ise önce azaldığı sonra arttığı uç noktada tekrar azaldığı görülmüştür. Maksimum kayma gerilmesinin episikloid eğri yüzeyde tespit edilmiştir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18: Yapıştırıcı yan alt kenar kayma gerilmesi grafiği.

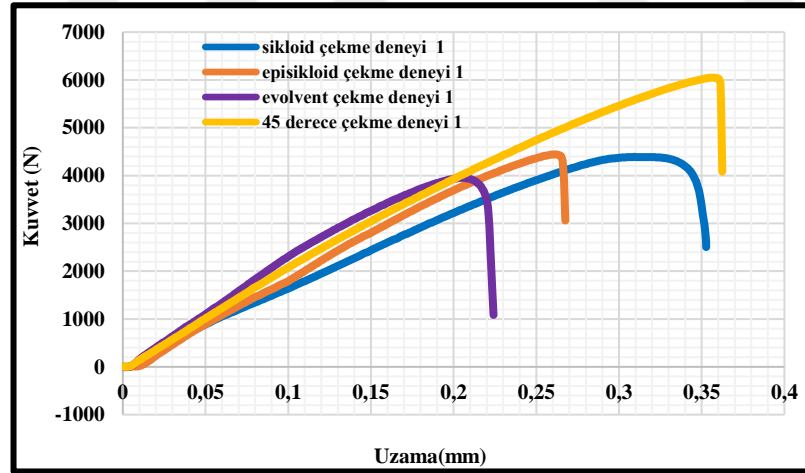
### 5.3 Deney Sonuçları

Yapıştırıcıya çekme deneyi deneyi uygulandığında kuvvet uzama sonuçlarından gerilme şekil değiştirme grafiği elde edilmiştir (Şekil 5.19). Analizlerde kullanılan yapıştırıcı mekanik özellikleri (Çizelge 4.2) bu verilerden elde edilmiştir.



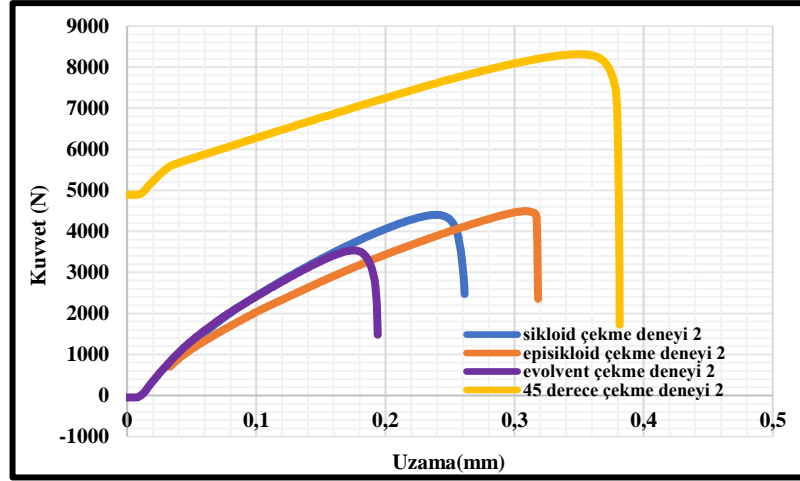
Şekil 5.19: Çekme deneyi gerilme şekil değiştirme grafiği.

Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunelere uygulanan çekme deney sonuçları 1. sette sırasıyla; 4390,08 N, 4442,98 N, 3952,28 N ve 6047,79 N olarak belirlenmiştir (Şekil 5.20).



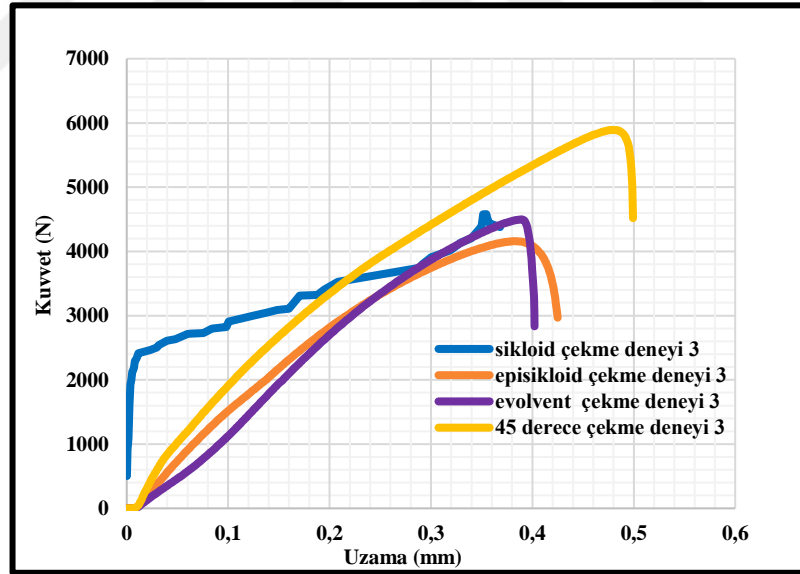
Şekil 5.20: Çekme deneyi kuvvet uzama grafiği.

Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunelere uygulanan çekme deney 2. set sonuçları sırasıyla; 4399,92 N, 4490,98 N, 3536,11 N ve 4891,90 N olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.21).



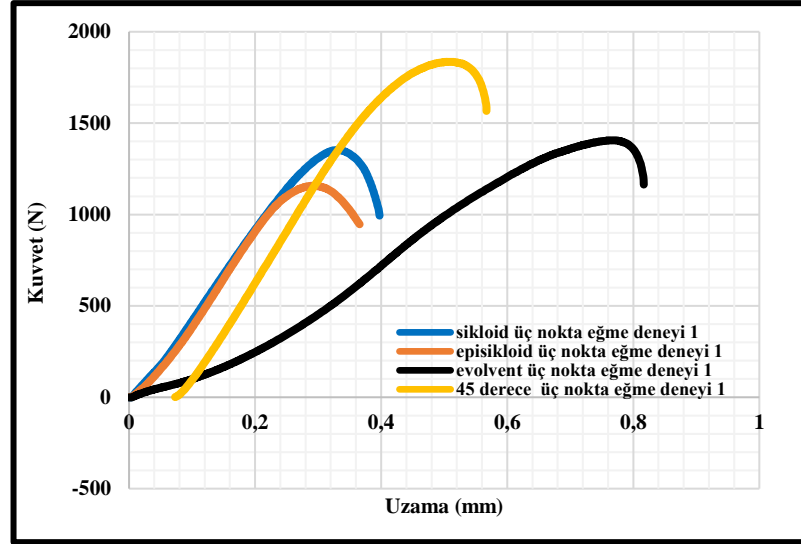
Şekil 5.21: Çekme deneyi kuvvet uzama grafiği.

Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunlere uygulanan çekme deney 3. set sonuçları ise sırasıyla; 4579,54 N, 4158,89 N, 4498,13 N ve 5891,21 N' dur (Şekil 5.22).



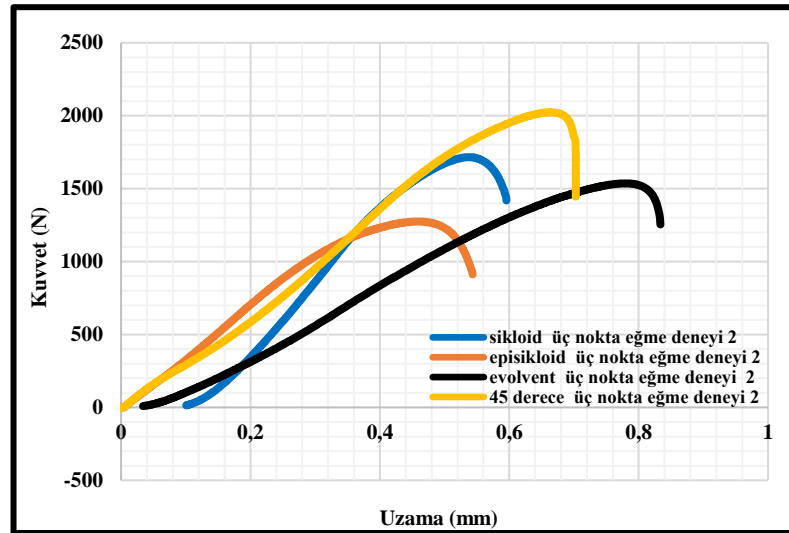
Şekil 5.22: Çekme deneyi kuvvet uzama grafiği.

Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeye sahip numunelere uygulanan üç nokta eğme sonuçları 1. sette; 1353,35 N, 1156,44 N, 1405,48 N ve 1835,77 N olarak belirlenmiştir (Şekil 5.23).



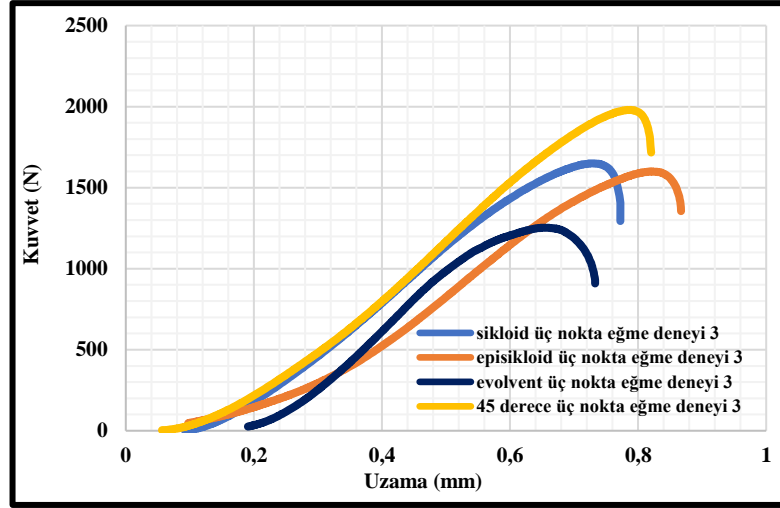
Şekil 5.23: Üç nokta eğme deneyi kuvvet uzama grafiği.

Sikloid, episkloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeye sahip numunelere uygulanan üç nokta eğme 2. set sonuçları sırasıyla; 1715,84 N, 1273,97 N, 1536,19 N ve 2023,74 N olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.24).



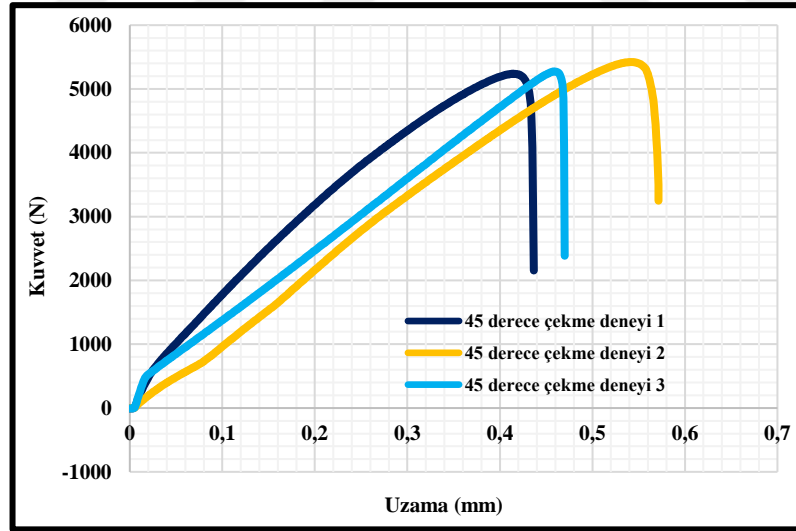
Şekil 5.24: Üç nokta eğme deneyi kuvvet uzama grafiği.

Sikloid, episkloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeye sahip numunelere uygulanan üç nokta eğme 3. set sonuçları ise sırasıyla; 1649,48 N, 1599,48 N, 1252,92 N ve 1978,92 N'dur (Şekil 5.25).



Şekil 5.25: Üç nokta eğme deneyi kuvvet uzama grafiği.

Numune yüzeyleri parlatıldıktan sonra 45 derece eğri yüzeyli numuneye 3 kez çekme deneyi uygulanmıştır. Sonuçlar ise sırasıyla; 5239,07 N, 5422,23 N ve 5274,74 N olarak ölçülmüştür (Şekil 5.26).



Şekil 5.26: Çekme deneyi kuvvet uzama grafiği.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, farklı yüzey geometrilerine sahip çelik numunelerin dayanıklılığını tespit edebilmek amacıyla deneysel ve nümerik çalışmalar gerçekleştirildi. Çelik türü olarak St 52 yapı çeliği, yapıştırıcı olarak 3M markasına ait DP 8405 numaralı epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırılan numunelere çekme ve üç nokta eğme deneyleri yapılmıştır. Nümerik çalışmalarda da numunelere çekme ve üç nokta eğme analizleri uygulanmıştır. Nümerik ve deneysel sonuçlar maddeler halinde sıralanmıştır.

- Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunelerde çekme analizinde maksimum dayanma kuvvetleri sırasıyla; 3.800 N, 3.650 N, 3.700 N ve 4.700 N olarak tespit edilmiştir. Maksimum dayanma kuvveti 45 derece eğri yüzeyde oluşmakla beraber yapıştırıcı arka yüzey tam alt kısmında oluşmuştur.
- Yapıştırıcı alt yatay kenar için çekme kuvveti etkisinde von mises gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslandığında maksimum gerilmenin 45 derece yüzeyde olduğu tespit edilmiştir.
- Yapıştırıcı yan alt kenar için çekme kuvveti etkisinde von mises gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslandığında maksimum gerilmenin evolvent yüzeyde olduğu belirlenmiştir.
- Yapıştırıcı alt yatay kenar çekme kuvveti altında x, y ve z eksenlerindeki normal gerilme değerleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. X, y ve z eksenlerindeki maksimum normal gerilmelerin 45 derece eğri yüzeyde olduğu belirlenmiştir.
- Yapıştırıcı alt yatay kenar için çekme kuvveti altında kayma gerilme değerleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Maksimum kayma gerilmesinin evolvent yüzeyde olduğu görülmüştür.
- Yapıştırıcı yan alt kenar için çekme kuvveti altında kayma gerilme değerleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslandığında maksimum gerilmenin episikloid yüzeyde olduğu görülmüştür.
- Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunelerde üç nokta eğme analizinde maksimum dayanma kuvvetleri sırasıyla; 1.266 N, 1.180 N, 1.233 N ve 2.000 N olarak tespit edilmiştir. Maksimum dayanma kuvveti 45 derece eğri yüzeyde oluşmakla beraber yapıştırıcı arka yüzey tam alt kısmında oluşmuştur.

- Yapıştırıcı alt yatay kenar için üç nokta eğme kuvveti etkisinde von mises gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslandığında maksimum gerilmenin 45 derece yüzeyde olduğu belirlenmiştir.
- Yapıştırıcı yan alt kenar için üç nokta eğme kuvveti etkisinde von mises gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Maksimum gerilmenin sikloid yüzeyde olduğu görülmüştür.
- Yapıştırıcı alt yatay kenar üç nokta eğme kuvveti altında x, y ve z eksenlerindeki normal gerilme değerleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. X, y ve z eksenlerindeki maksimum normal gerilmelerin 45 derece eğri yüzeyde olduğu belirlenmiştir.
- Yapıştırıcı alt yatay kenar için üç nokta eğme kuvveti etkisinde kayma gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler için kıyaslanmıştır. Maksimum kayma gerilmesinin episikloid eğri yüzeyde olduğu tespit edilmiştir.
- Yapıştırıcı yan alt kenar için üç nokta eğme kuvveti etkisinde kayma gerilmeleri sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece yüzeyler kıyaslandığında, maksimum gerilmenin episikloid eğri yüzeyde olduğu belirlenmiştir.
- Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunelere uygulanan çekme 1. deney sonuçları sırasıyla; 4390,08 N, 4442,98 N, 3952,28 N ve 6047,79 N olarak belirlenmiştir. 2. deney sonuçları sırasıyla; 4399,92 N, 4490,98 N, 3536,11 N ve 4891,90 N olarak tespit edilmiştir. 3. deney sonuçları sırasıyla; 4579,54 N, 4158,89 N, 4498,13 N ve 5891,21 N' dur. Çekme deney sonuçları kıyaslandığında maksimum dayanıma sahip olan yüzeyin 45 derece eğri yüzey olduğu tespit edilmiştir.
- Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeyli numunelere uygulanan üç nokta eğme 1. deney sonuçları sırasıyla; 1353,35 N, 1156,44 N, 1405,48 N ve 1835,77 N olarak belirlenmiştir. 2. deney sonuçları sırasıyla; 1715,84 N, 1273,97 N, 1536,19 N ve 2023,74 N olarak tespit edilmiştir. 3. deney sonuçları sırasıyla 1649,48 N, 1599,48 N, 1252,92 N ve 1978,92 N' dur. Üç nokta eğme deney sonuçları kıyaslandığında maksimum dayanıma sahip olan yüzeyin 45 derece eğri yüzey olduğu tespit edilmiştir.
- Numune yüzeyleri parlatıldıktan sonra 45 derece eğri yüzeyli numuneye uygulanan çekme deneyi sonuçları ise sırasıyla; 5239,07 N, 5422,23 N ve 5274,74 N olarak belirlenmiştir.
- Nümerik ve deneysel çalışmaları sonucunda 45 derece eğri yüzeye sahip numunenin maksimum çekme ve eğme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Solmaz, M.Y., Turgut, A.,** (2009). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Basit Bindirme Bağlantılarında Serbest Uç Açısı ve Bindirme Mesafesinin Bağlantı Mukavemeti Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(2), 173-182.
- [2] **Özenç, M.,** (2007). Yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [3] **Saraç, İ.,** (2018). Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında Epoksi Yapıştırıcı İçerisinde Nanopartikül Kullanılmasının Bağlantının Statik ve Yorulma Mukavemetine Etkisinin Araştırılması (Doktora Tezi). Batman Üniversitesi, Batman.
- [4] **Morrisey, M.A. & Johnson, W.R.,** (1985). Douglas Aircraft Company Design Handbook, Adhesive and Cements, California.
- [5] **Özel, K.,** (2008). Alüminyum – Bakır Boruların Yapıştırma Yöntemi ile Birleştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [6] **Solmaz, M.Y.,** (2008).Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [7] **Temiz, S.,** (2003). Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisinin İncelenmesi (Doktora Tezi). Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- [8] **Published by Loctite European Group,** (1998). Loctite Worldwide Design Handbook Germany.
- [9] **Adin, H.,** (2007). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Ters Z Tipi Kompozit Malzeme bağlantılarının Mekanik Analizi (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [10] **Birecikli, B.,** (2016). Çift Zigzag Tip Yapıştırma Bağlantılarının Tasarımı ve Mekanik Analizi (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [11] **Şekercioğlu, T., Özenç, M.,** (2012). Metallerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi, Mühendis ve Makina- Cilt: 53 Sayı: 627 Sayfa 43-50.
- [12] **Ekrem, M.,** (2015). Karbon Nanotüp ve Polivinil Alkol Nanoelyafla Güçlendirilmiş Epoksi Yapıştırıcıların Alüminyum Bağlantılar Üzerindeki Kırılma Davranışları (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [13] **Aydın, İ., Çolakoğlu, G., Akbulut, T.,** (2001). Ağaç Malzemenin Yapıştırılmasında Adhezyon Teorisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Cilt:51 Sayı:2.
- [14] **Aslan, A.,** (2018). Korozif Ortamın Yapıştırıcı ve Yapıştırıcı Bağlantıları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.



- [15] **Aydın, M.D.**, (2003). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tek Tesirli Bindirme Bağlantısının Mekanik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik İncelenmesi (Doktora Tezi). Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- [16] **İşcan, B.**, (2007). Yapıştırıcı Malzeme ile Birleştirilmiş Z Tipi Bağlantıların Mekanik Analizi (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [17] **Turan, K., Barut, S.**, (2021). Fiber Takviyeli Yapıştırıcıların Kullanıldığı Tek Tesirli Yapışma Bağlantılarında Hasar Analizi, DÜMF Mühendislik Dergisi, 12:2 (2021): pp. 257-262.
- [18] **Aydın, S., Solmaz, M. Y., & Turgut, A.**, (2011). Epoksi ve Akrilik Bazlı Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elâzığ-Turkey.
- [19] **Aydın, M. D., Temiz, Ş., & Özel, A.**, (2004). Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlendiği Deneysel Yöntemler, Mühendis ve Makina- Cilt: 45 Sayı: 536.
- [20] **Karakaya, Ş., Soykasap, Ö.**, (2008). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tek Bindirmeli Dokümalı Kompozit Yapıların Eğilme Hasarı, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2008 (2), 43-52.
- [21] **Aydın, İ., Çolakoğlu, G., & Akbulut, T.**, (2001). Ağaç Malzemenin Yapıştırılmasında Adhezyon Teorisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt:51, Sayı: 2.
- [22] **Budakçı, M., Akkuş, M.**, (2011). Bazı Ahşap Esaslı Levhalarda Kaplama Yapışma Direncinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, Politeknik Dergisi, Cilt :14, Sayı:1, S. 63-71.
- [23] **Arsoy, R., Üçgül, İ.**, (2015). Tekstil Malzemelerinin Yapıştırılma Teorisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, Cilt :5, Sayı:2, Sayfa: 1-18.
- [24] **Şık, A.**, (2006). Yapı Çeliğinin (St52-3) MIG/MAG Kaynağında Gaz Karışımlarının Çekme Dayanımı Özelliklerine Etkisi, Trakya Univ J Sci, 7(1): 9-15.
- [25] **Çitil, Ş.**, (2018). Eğrisel Yüzeyle Yapıştırma Bağlantılarında Malzemenin Yapıştırıcı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 9(1): 225-234.
- [26] **Çitil, Ş., Bozkurt, İ.**, (2017). Eğrisel Yüzeyle Boru Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (2017) 63-72
- [27] **Saraç, İ.**, (2020). Basit Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarında Bindirme Bölgesi Uç Açısı Değişiminin Bağlantı Mukavemetine Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt: 25, Sayı: 1.
- [28] **Akpınar, S.**, (2016). Alüminyum Oksit ve Titanyum Dioksit Partikül Takviyeli Yapıştırıcılarla Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 5, Sayı: 2, 244-252.

[29] **Kırkayak, L.**, (2019). Yapıştırma Bağlantılı Kompozitlerde Yapıştırma Geometrisinin Gerilme Dağılımına Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(1), 27-33, 2019

[30] **Çakır, M.V., Kınay, D.**, (2016). Cam Elyaf Kompozitlerin Alüminyum Plaka ile Yapıştırılması ve Yapışmanın Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(ÖS 1), ss: ÖS 99-ÖS 108.

[31] **Aydın, S., Fertelli, A.**, (2018). Nanopartikül ve Yüzey Pürüzlülüğünün Yapışma Mukavemetine Etkilerinin İncelenmesi, Published in 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 09-11 November 2018, Alanya – Antalya – Turkey.

[32] **İşcan, B., Adin, H., & Turgut, A.**, (2012). Bazı Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24 (2): 119-126.

[33] **Akpınar, S., Aydın, M.D.**, (2012). Yapıştırıcıyla Birleştirilmiş T-Bağlantı Tipinin İki ve Üç Boyutlu Gerilme Analizi. EÜFBED- Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt-Sayı: 5-2, 229-241.

[34] **Aydın, M.D., Akpınar, S., Özel, A., & Erdoğan, S.**, (2015). Kayma Yüküne Maruz Yapıştırma Bağlantılarından Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Mühendis ve Makina, Cilt: 56, Sayı: 668, ss. 48-55.

[35] **Solmaz, M.Y., Yıldırım, S.**, (2018). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Dalgalı Bağlantı (Wavy-lap) Performanslarının Uç Açısına Bağlı Olarak Araştırılması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 30 (1): 287-294.

[36] **Ayaz, Y., Temiz, Ş.**, (2012). Çift Takviyeli Yamaları Gömülü Yapıştırma Bağlantılarının Eğilme Altında Analizi, EÜFBED- Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt-Sayı: 5-2, 165-172.

[37] **Şahan, M. F.**, (2018). Hasar Gören Galvanizli Boruların Epoksi Esaslı Yapıştırıcı ile Tamiratında Boru Yama Geometrisi ile Boru Patlama Basıncı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 7, Sayı: 2, 899-908.

[38] **Turan, K., Kaman, M.O.**, (2010). Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında İlerlemeli Hasar Analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 16, Sayı: 3, 315-323.

[39] **Çitil, Ş., Bozkurt, İ.**, (2019). Çekme Yüküne Maruz Alın-Eğrisel ve Düz Bindirme Bağlantısının Kohezif Bölge Modeli Kullanılarak Karşılaştırılması, Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11: 78-85.

[40] **Çitil, Ş.**, (2017). Hasarlı Boruların Tamirinde Yama Malzemesinin Yapıştırıcı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(4), 422-426.

- [41] **Aydın, S.**, (2019). Karbon Nanopartiküllerin Epoksi Yapıştırıcılarda Etkilerinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), ss. 143-154.
- [42] **Saraç, İ., Adin, H., & Temiz, Ş.**, (2016). Experimental Determination of The Mechanical Properties of Adhesive Joints Bonded Epoxy Adhesive Included Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticle, European Journal of Technic EJT, Vol: 6, Number: 2.
- [43] **Çitil, Ş., Temiz, Ş., Altun, H., & Özel, A.**, (2011). Determination of Mechanical Properties of Double-Strap Adhesive Joints with an Embedded Patch, Journal of Adhesion Science and Technology, 25 (2011), 2555-2567.
- [44] **Aydın, M. D., Özel, A., & Temiz, Ş.**, (2005). The Effect of Adherend Thickness on The Failure of Adhesively- Bonded Single-Lap Joints, J. Adhesion Sci. Technol, Vol 19, No 8, pp 705-718.
- [45] **Adin, H., İşcan, B., & Turgut, A.**, (2010). Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Bulk Numuneler Yardımıyla Belirlenmesi, e- Journal of New World Sciences Academy, Volume 5, Number 3, Article Number 1A0101.
- [46] **Adams, R. D., Peppiatt, N. D.**, (1974). Stress Analysis of Adhesive – Bonded Lap Joints, Journal of Strain Analysis, Vol: 9, No: 3.
- [47] **Solmaz, M, Y., Kocabaş, İ., & Gür, M.**, (2018). Effect of Riveting on The Joint Strength of Adhesively Bonded Double Lap Joints, Anadolu University Journal Of Science And Technology A, Applied Sciences And Engineering, Volume 19, Number 1, Page 1-9.
- [48] **Gürsel, A.**, (2019). Kompleks Yapılar ve Koşullar İçin Yapıştırma Tasarımının Temelleri, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt: 8, Sayı: 1.
- [49] **Wahab, Abdel, M. M.**, (2012). Fatigue in Adhesively Bonded Joints: A Review, International Scholarly Research Network ISRN Materials Science, Volume 2012, Article ID 746308, Pages 25.
- [50] **Ayaz, Y., Çitil, Ş., & Şahan, M. F.**, (2016). Repair of Small Damages in Steel Pipes with Composite Patches, Mat.-wiss.u. Werkstofftech, 47, No 5-6.
- [51] **Kaya, T., Aras, M., & Çalışkan, Ö.**, (2017). Güçlendirilen Beton Kirişlerin Eğilme Dayanımlarına Yapıştırıcının Etkisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:4, Sayı:2.
- [ 52] **Adin, H., Altun, Ş., & Yaşar, F.**, (2011). Onarımda Kullanılan Darbe Dayanımlı İki Bileşenli Yapıştırıcılar, 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs 2011, Elazığ -Turkey.
- [53] **Çitil, Ş., Temiz, Ş., & Özel, A.**, (2012). Çekmeye Maruz Ara Boşluklu Çift Takviyeli Yapıştırma Bağlantılarında Gerilme Analizi, EÜFBED- Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt- Sayı: 5-2, 173-190.

- [54] **Demirbaş, M. D., Apalak, M. K.,** (2021). Fonksiyonel Olarak Kademelendirilmiş Modüllü Yapıştırıcı Bağlantıların Isıl Gerilme Analizi, *Politeknik Dergisi*, 21(2): 445-456.
- [55] **Aydın, S.,** (2021). Nanopartiküllerin metal yapıştırıcılar üzerindeki etkilerinin araştırılması, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36:3, 1289-1301.
- [56] **Saraç, İ.,** (2021). Boru Yapıştırma Bağlantılarında Farklı Tasarım Parametrelerinin Yapıştırıcı Tabakasında Gerilme Dağılımına Etkisinin Sayısal Olarak Araştırılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt: 26, Sayı: 1.
- [57] **Erzincanlı, İ., Benli, S.,** (2022). Yapıştırma ve Çift Pim Bağlantılı Tabakalı Kompozit Plakalarda Pimler Arası Mesafe Değişiminin Gerilmelere Etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt: 27, Sayı: 1.
- [58] **İmak, A., Turgut, A.,** (2021). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Çevresel Yapışkan Yüzeyle Halka Kesitli Bağlantıların Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12:3, pp: 515-522.
- [59] **Çetin, M. E.,** (2021). Increasing Low-Velocity Impact Strength of Glass Fiber Sandwich Composites with Nanoparticle Reinforced Adhesive, *Gazi University Journal of Science*, 9(3): 492-504.
- [60] **Gürsel, A., Yıldız, S.,** (2021). Yapıştırıcı Birleştirmelerde Bağlantı Mukavemetini Etkileyen Faktörler: Yüzey Morfolojisi ve Yüzey Enerjisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9 (2021), 987-996.
- [61] **Benli, S., Erzincanlı, İ.,** (2021). Çift Pimli ve Yapıştırılmalı Kompozit Plakalarda Farklı Yapıştırıcı Türleriyle Gerilme Analizi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1): 575-589.
- [62] **Saraç, İ.,** (2020). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Mil-Göbek Bağlantılarında Lineer-Elastik Gerilme Analizi ve Göbek Kenar Geometrisinin Dayanıma Etkisinin Araştırılması, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt :7, No:3.
- [63] **İmak, A., Turgut, A.,** (2020). Farklı Yapıştırıcılarla Birleştirilen Halka Kesitli Transmisyon Çeliklerinin Mekanik Davranışlarının Araştırılması, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, vol: 4, issue: 1.
- [64] **Ayaz, Y.,** (2018). Yüksek Basınç Altındaki Borularda Küçük Hasarların Yapıştırma Bağlantıları ile Tamiri, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9:1 (2018): 337-349.
- [65] **Saraç, İ.,** (2021).Yapıştırma Bağlantılarında Kohezif Bölge Modeli Uygulayarak ve Uygulamadan Modelleme Yapılmasının Gerilme Dağılımına Etkisinin Araştırılması, *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2021) 457-468.
- [66] **Sülü, İ. Y.,** (2018). Çekme Yüğü Altında Gömülü Tek Tesirli Yama ile Yapıştırılarak Birleştirilmiş Kompozit Parçaların Gerilme Analizi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2) 284-295.

[67] **Gültekin, K., Yazıcı, M. E.,** (2022). Fonksiyonelleştirilmiş Bor Nanopartiküllerinin Yapıştırıcıyla Birleştirilmiş Tek Tesirli Kompozit Bağlantılar Üzerinde Etkisi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37:1 (2022), 175-191.

[68] **Sülü, İ. Y.,** (2020). Çekme Yüğü Altında Gömülü Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Kompozit Parçaların Doğrusal Olmayan Analizi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1): 465-476.

[69] **Uzun, M. Çetin, M. S.,** (2020). Sikloid, Episikloid, Evolvent Eğri Yüzeyle Parçaların Modellenmesi Ve Frezelenmesinde Optimum İşleme Parametrelerinin Belirlenmesi, Mühendislik Çalışmaları, İksad Yayınevi, pp:72-89.



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Bahar Akçadağ

**Lisans:** İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

**Yüksek Lisans:** İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

### **Yayın Listesi:**

- Mahir UZUN, Bahar AKÇADAĞ, Bonding Curved Geometry Surfaces and Research of Mechanical Characteristics, International ICONTECH SYMPOSIUM-4 on Innovative Surveys in Positive Sciences 18-19 July 2021/Adana, Turkey, (Tam Metin Bildiri / Sözlü Sunum).
- Mahir UZUN, Bahar AKÇADAĞ, (2022). Sikloid, Episikloid, Evolvent, 45° Eğri Yüzeylerin Yapıştırılması Ve Mekanik Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Araştırılması, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2):990-1002. (Makale).