

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FARKLI YAPIŞTIRICILAR İLE TAMİR EDİLMİŞ HASARLI İZOTROPİK  
BORULARDA YAPIŞTIRICILARIN PERFORMANSLARININ  
İNCELENMESİ**

**ZEYNAL TUZCU**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADYAMAN, 2018**

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

**FARKLI YAPIŞTIRICILAR İLE TAMİR EDİLMİŞ HASARLI  
İZOTROPİK BORULARDA YAPIŞTIRICILARIN  
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

**Zeynal TUZCU**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Bu Tez 22/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN**  
**Danışman**

**Yrd. Doç. Dr. Şerif ÇİTİL**  
**Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Yaşar AYZ**  
**Üye**

**Prof. Dr. Refet KARADAĞ**  
**Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir

## **DESTEKLER**

Bu tez çalışması Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından MÜFYL/2015-0002 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## **BEYAN**

“Farklı Yapıştırıcılar ile Tamir Edilmiş Hasarlı İzotropik Borularda Yapıştırıcıların Performanslarının İncelenmesi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Zeynal TUZCU

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

# FARKLI YAPIŞTIRICILAR İLE TAMİR EDİLMİŞ HASARLI İZOTROPİK BORULARDA YAPIŞTIRICILARIN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

**Zeynal TUZCU**

Adıyaman Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN  
Yıl : 2018, Sayfa sayısı: 57

Jüri : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN  
Yrd. Doç. Dr. Şerif ÇİTİL  
Yrd. Doç. Dr. Yaşar AYZ

Petrol, doğalgaz ve tesisat sistemlerinde kullanılan borularda imalat kusurları ve dış yüklerin etkisi sonucu boru iç ve dış yüzeylerinde çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlaklar sıcaklık ve basıncın değişmesi sonucunda büyüyerek borunun belli bir süre sonra hasara uğramasına sebebiyet vermektedir. Hasara uğramış borunun tamiri veya yenilenmesi ciddi boyutlarda maliyet, zaman ve işçilik gerektirmektedir. Yapıştırma bağlantıları günümüzde tamir ve birleştirme amaçlı olarak endüstrinin her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıştırıcıların hafiflik, titreşim yalıtımı ve korozyon direnci gibi avantajları nedeniyle boruların birleştirilmesi ve onarım işlemlerinde yaygınlığı artmıştır. Bu çalışmanın amacı iç basınca maruz kalmış hasarlı çelik boruların tamirinde epoksi esaslı DP410 ve akrilik esaslı DP810 yapıştırıcıların performanslarının karşılaştırılması ve uygun yama açıları ile bindirme uzunluklarının tespit edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda 33.7 mm dış çap ve 26.9 mm iç çapa sahip galvanizli çelik borular ele alınmış ve bu borular üzerine 17 mm boyunda ve 2 mm genişliğinde kanal açılarak çatlak oluşturulmuştur. Borularda oluşturulan çatlaklar 90°, 120°, 150° açılarda 30, 40, 50 mm boyunda çelik yamalar kullanılarak 0.2 mm kalınlığında yapıştırıcı tabakası oluşturularak tamir edilmiştir. Tamir edilmiş borulara iç basınç uygulanarak hasar anındaki değerler tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında her iki yapıştırıcı ile tamir edilmiş boruların modellenmesi ve nümerik çözümleri için ANSYS 15 paket programı kullanılmıştır. Oluşturulan modellere iç basınç uygulanmış ve nümerik olarak çözümlenmiştir. Nümerik analizler sonucunda elde edilen veriler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapıştırıcı; Boru; Çatlak; Gerilme analizi; Sonlu elemanlar

## ABSTRACT

### MSc Thesis

# INVESTIGATION OF PERFORMANCES OF ADHESIVES IN IZOTROPIC PIPES REPAIRED DIFFERENT ADHESIVES

**Zeynal TUZCU**

Adiyaman University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN  
Year : 2018 , Number of pages: 57

Jury : Asst. Prof. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN  
Asst. Prof. Dr. Şerif ÇİTİL  
Asst. Prof. Dr. Yaşar AYZAZ

Cracks are formed on the inner and outer surfaces of the pipes, which are affected by manufacturing defects and external loads in pipes used in oil, natural gas and plumbing systems. These cracks grow as a result of changes in temperature and pressure, causing damage to the pipe after a certain period of time. The repair and renovation of the damaged pipeline requires considerable cost, time and workmanship. Adhesive connections are now widely used in all areas of the industry for repair and assembly purposes. Due to the advantages such as lightness, vibration isolation and corrosion resistance in the repair of pipe damages, repairs are made using adhesives. The purpose of this work is to compare the performances of epoxy-based DP410 and acrylic-based DP810 adhesives in repairing damaged steel pipes exposed to internal pressures and to determine the length of overlap with appropriate patch angles. For this purpose, galvanized steel pipes with an outside diameter of 33.7 mm and internal diameter of 26.9 mm were handled and cracks were formed on these pipes by opening a channel of 17 mm length and 2 mm width. The cracks formed in the pipelines were repaired by forming a 0.2 mm thick adhesive layer using steel patches of lengths of 30, 40, 50 mm at 90°, 120°, 150° opening. Damaged values were determined by applying internal pressure to the repaired pipes. In this thesis study, ANSYS 15 package program was used for modeling and numerical solutions of pipes repaired with both adhesives. Internal pressure was applied to the generated models and numerically analyzed. The numerical results obtained were compared with the experimental results.

**Key Words** : Adhesive; Pipe; Crack; Stress Analysis; Finite elements

## **TEŞEKKÜR**

Tez çalışmamın gerçekleştirilmesinde bana her konuda yardımcı olan, önerileri ile beni yönlendiren, deneylerin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesinde desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN'a teşekkür ederim. Ayrıca deneysel çalışmalarda yanımda olan değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Şerif ÇİTİL'e teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
RESİMLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	7
3.1. Yapıştırıcılar.....	7
3.1.1. Yapıştırıcıları Etkili Bir Şekilde Kullanabilmek İçin Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler.....	9
3.1.2. Yapıştırıcı Bağlantılarında Karşılaşılan Gerilmeler.....	10
3.1.3. Yama Bindirme Uzunluğu.....	11
3.1.4. Yapıştırıcıların Avantajları.....	13
3.1.5. Yapıştırıcıların Dezavantajları.....	13
3.2. Materyal.....	14
3.2.1. Boru Malzemesi.....	14
3.2.2. Yama.....	14
3.2.3. Yapıştırıcı.....	16
3.3. Deneysel Yöntem.....	20
3.3.1. Yapıştırma İşlemi.....	21
3.3.2. Yüzey Hazırlama.....	22
3.4. Nümerik Analiz.....	23
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	26
4.1. Nümerik analizler.....	29
4.1.1. Nümerik Analizler Yardımıyla Bindirme Uzunluğunun Etkisinin Araştırılması.....	30
4.1.2. Nümerik Analizler Yardımıyla Yama Bindirme Açısının Etkisinin Araştırılması.....	41
5. SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR.....	54
KİŞİSEL BİLGİLER.....	57



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Galvanizli boru (ST37), Yapıştırıcı (DP410-DP810) ve yama malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri .....	20
Çizelge 4.1 Deneysel ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması.....	26
Çizelge 4.2 Hasarın yapıştırıcıda gerçekleştiği andaki nümerik iç basınç (MPa).....	27

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Yapıştırma ek yerindeki kuvvetler [20].	8
Şekil 3.2 Yük tipleri ve bindirme bölgesindeki gerilme dağılımları (a) Çekme, (b) Basma, (c) Kayma, (d) Soyulma, (e) Ayrılma [21].	11
Şekil 3.3 Galvanizli borunun parametrik ölçüleri	14
Şekil 3.4 Yamanın geometrik parametreleri	15
Şekil 3.5 Galvanizli çelik boru ve yama gerilme/ şekil değiştirme eğrisi.	16
Şekil 3.6 Bulk numune geometrisi (mm)	17
Şekil 3.7 Yapıştırıcı gerilme/ şekil değiştirme eğrisi, a) DP410, b) DP810	19
Şekil 3.8 Deney düzeneği üç boyutlu görüntüsü.	20
Şekil 3.9 Üç boyutlu nümerik model	25
Şekil 3.10 Üç boyutlu nümerik modelin kesiti (uygulanan iç basınç ve yapıştırıcı)	25
Şekil 4.1 DP810 Deneysel sonuçların grafikleri a) Bindirme uzunluğuna göre, b) Bindirme açısına göre	27
Şekil 4.2 DP410 Deneysel sonuçların grafikleri a) Bindirme uzunluğuna göre, b) Bindirme açısına göre	28
Şekil 4.3 DP410 ile DP810 Deneysel sonuçların grafiksel karşılaştırılması, a) Bindirme uzunluğuna göre, b) Bindirme açısına göre	29
Şekil 4.4 Kullanılan yapıştırıcının sonlu elemanlardaki üç boyutlu modeli	30
Şekil 4.5 90 <sup>0</sup> bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$	32
Şekil 4.6 120 <sup>0</sup> bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$	33
Şekil 4.7 150 <sup>0</sup> bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$	35
Şekil 4.8 90 <sup>0</sup> bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$	37
Şekil 4.9 120 <sup>0</sup> bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$	38
Şekil 4.10 150 <sup>0</sup> bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$	40
Şekil 4.11 30 mm yama uzunluğu ve 90 <sup>0</sup> 120 <sup>0</sup> , 150 <sup>0</sup> bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$	42
Şekil 4.12 40 mm yama uzunluğu ve 90 <sup>0</sup> 120 <sup>0</sup> , 150 <sup>0</sup> bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme	

	dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$ .....	44
Şekil 4.13	50 mm yama uzunluğu ve $90^0$ , $120^0$ , $150^0$ bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$ .....	45
Şekil 4.14	30 mm yama uzunluğu ve $90^0$ , $120^0$ , $150^0$ bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$ .....	47
Şekil 4.15	40 mm yama uzunluğu ve $90^0$ , $120^0$ , $150^0$ bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$ .....	49
Şekil 4.16	50 mm yama uzunluğu ve $90^0$ , $120^0$ , $150^0$ bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a) $\sigma_{eqv}$ , b) $\sigma_r$ , c) $\sigma_\theta$ , d) $\sigma_z$ .....	50

## RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1 Üzerine çatlak oluşturulmuş galvanizli boru .....	14
Resim 3.2 Yama Numuneleri .....	15
Resim 3.3 Galvanizli sac bulk numuneleri .....	15
Resim 3.4 Bulk numuneleri a) DP810 b) DP410 .....	18
Resim 3.5 Çekme test cihazı a) Cihazın görüntüsü b) Numunenin yerleştirilmiş hali .....	18
Resim 3.6 Deney düzeneği a) Montajlanmış b) Hidrolik pompa.....	21
Resim 3.7 Deney numunelerinin elde edilişi; a) Boruların kalıba yerleştirilmesi b) Kalbının prese yerleştirilmesi c) Yapıştırıcının ısı altında kürleşmesi d)Patlatmaya hazır numuneler.....	22

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\sigma_{eqv}$	: Eksenel gerilme
$\sigma_r$	: Radyal gerilme
$\sigma_z$	: Teğetsel gerilme
$p$	: Basınç
$E$	: Elastisite modülü
$d$	: Deplasman, yer değiştirme
$F$	: Kuvvet

### Kisaltmalar

ANSI	: American National Standards Institute
ASTM	: American Society for Testing and Materials

## 1. GİRİŞ

Boru hatları sıvı ve gazların uzun mesafelere ekonomik olarak taşınabilmesi amacıyla inşa edilirler. Boru hatları ile taşınan maddeler; ham petrol, benzin, mazot veya jet yakıtı gibi işlenmiş petrol ürünleri, doğal gaz, karbondioksit, sıvı içinde konsantre katı maddeler ve sulardır. Boru hattı endüstrisi başlangıçta A.B.D. çıkan petrolün nakliyesi amacıyla 1800'lü yılların sonunda geliştirilmiştir. Günümüzde ise boru hatlarının büyük çoğunluğu doğal gaz nakliyesi için inşa edilmektedir. Borular, petrol arama, rafinerasyon teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak gelişmiş ve 1850' lerden sonra çelik borular kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda metalürjik gelişmeler sonucunda, et kalınlığı ince fakat yüksek mukavemetli malzemeden mamul 20" ve daha büyük çaplı boru hatları döşenmeye başlanmıştır. Günümüzde çapı 60"e kadar çıkabilen ve uzun mesafelere sıvı ve gaz nakledebilen boru hatları inşa edilmektedir. Borular, belirlenen basınç sınıflarında üretilir ve birçok mühendislik alanında kullanılırlar. Malzemeler ne kadar dikkatli ve kontrollü üretilirse üretilsinler her malzeme de değişik doğrultularda ve çeşitli boyutlarda mikro çatlaklar bulunur. Yük altında bu mikro çatlakların ucunda yüksek gerilmeler oluşur, bu yüksek gerilmeler dolayısıyla mevcut mikro çatlaklar ilerler ve birleşerek malzemenin hasara uğramasına neden olurlar. Malzeme içindeki çatlaklar, süreksizlikler ve malzeme hataları sonucu oluşan mikro çatlaklar malzeme içinde genellikle hapsedilmiş durumdadır. Ancak uygulanan gerilmenin büyüklüğüne, parçanın geometrisine, malzemenin kırılma tokluk derecesine ve çatlağın boyuna bağlı olarak bu çatlaklar ilerleyerek parçanın hasara uğramasına neden olabilmektedir [1]. Boru hatlarındaki sıcaklık değişimi, basınç değişiklikleri, korozyon, titreşimler, dış yükler, kötü boru üretim tekniği ve yapısı, insan hatası, borularda çatlak ilerlemesine ve hasarlara neden olmaktadır. Bunlarla birlikte bakım ve servis işlemleri sırasında da hasarlar oluşabilmektedir. Bu hasarlar nedeniyle boru mukavemetinde azalmalar ortaya çıkar ve bu hasarlar iç basınç altında büyüyerek sistemin durmasına sebep olurlar. Malzemenin tamir edilmesi ya da değiştirilmesi konusunda bir karar verilir. Hasar boyutu onarılabilecek oranda ise tamiri yapılır, hasarın tamir edilemeyeceği durumlarda malzeme yenisi ile değiştirilir. Hasar gören malzeme tamir edilebilir

durumda ise tamir şekli belirlenir. Hasarlı boruların tamiratında, parçanın maksimum taşıma yüküne dayanması için eski dayanımının yeniden sağlanması gerekmektedir. Tamiratın yama ile yapılması durumunda yamanın çatlak boyunca yükü taşıması, hasarlı bölgenin eski dayanımını ve rijitliğini yeniden sağlaması gerekmektedir.

Hasarlı boru hatlarının onarımı için pek çok onarım yöntemi kullanılmaktadır. Cıvatalı kelepçe ve kaynak gibi yöntemlerin kullanımı oldukça yaygındır. Kaynakla yapılan tamiratlarda pek çok olumsuzluğa rastlanmaktadır. İnsan gücü, zaman ve malzeme kaybı gibi faktörler ve kaynakla yapılan tamirat sonucu malzemede oluşan olumsuz etkiler dikkate alınarak kaynağa alternatif olacak şekilde pek çok yeni yöntem ortaya konmuştur. Bu alternatif yöntemlerden birisi de yama bağlantısının yapısal yapıştırıcılar ile gerçekleştirilmesidir. Boru tesisatlarında meydana gelen hasarların hızlı bir şekilde minimum işçilik, zaman ve malzeme kaybı ile borunun hasarlı olan bölgesinin yamayla yapıştırılarak onarılması esasına dayanan bu yöntem günlük hayatta çok pratik bir yöntem olup kullanımı her geçen gün artmaktadır. Boru hatlarında tamiratyapılan bölgedeki çatlak, yama ve yapıştırıcı üzerinde oluşan gerilme dağılımının ve seviyelerinin bilinmesi yapıştırma bağlantısının istenen dayanıma ulaşması açısından çok önemlidir. Bir bağlantının basınç taşıma kapasitesi ele alındığında bölgedeki en zayıf noktanın belirleyici olduğu açıktır. Bu durum dikkate alındığında yama yapıştırma bağlantılarında yama geometrisinin ve yapıştırıcının özellikleri dikkate alınarak bölgede oluşacak gerilme dağılımının ve boru basınç mukavemetinin tahmin edilmesinin önemi ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı iç basınca maruz kalmış hasarlı çelik boruların tamirinde epoksi esaslı DP410 ve akrilik esaslı DP810 yapıştırıcıların performanslarının karşılaştırılması ve uygun yama açıları ile bindirme uzunluklarının tespit edilmesidir. Bu tez çalışmasında her iki yapıştırıcı ile tamir edilmiş boruların modellenmesi ve nümerik çözümleri için ANSYS 15 paket programı kullanılmıştır. Oluşturulan modellere iç basınç uygulanmış ve nümerik olarak çözümlenmiştir. Nümerik analizler sonucunda elde edilen veriler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bu tez ile farklı özellikte yapıştırıcılar kullanılarak tamir edilen borularda iç basınç altında, gerilme analizi yapılarak epoksi ve akrilik esaslı yapıştırıcıların, yama bindirme açılarının ve yama bindirme uzunluklarının boru mukavemeti üzerindeki

etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmanın endüstriye ve literatürde bulunan açıklara katkısının olacağı çok açıktır.



**2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Yapıştırma endüstriyel bir birleştirme yöntemi olarak kullanılmaya başlandıktan beri, başarılı bir yapıştırma için en önemli parametreleri bulmak amacıyla birçok araştırma, geliştirme ve mühendislik çalışması yapılmıştır. Yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların analitik analizinin ilk girişimleri Volkersen [2] tarafından 1938 yılında yapılmıştır. Volkersen [2] çalışmasında, tek bindirme bağlantısında yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmesi dağılımını, yapıştırılan iki malzemenin çok direngen olduğunu ve çekme yükü altında deforme olduğunu, yükmeden dolayı eğilmediğini kabul ederek analiz yapmıştır. Ayrıca, yapıştırıcının lineer elastik bir katı olduğu ve yalnızca kayma gerilmelerinden dolayı deforme olduğunu kabul etmiştir. Volkersen [2] yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmelerinin bindirme hattının her iki ucunda en yüksek değeri aldığını göstermiştir. Goland ve Reissner [3] tarafından geliştirilen klasik yapıştırma modelinde ise genel olarak yapıştırıcının gerilme analizi çalışılmıştır. Yapıştırıcı tabakasından oluşan çekme gerilmelerini dikkate alarak tek bindirme bağlantısını çalışmışlardır. Bu teoride, yapıştırıcı kalınlığı boyunca kayma ve soyulma gerilmesi sabit kabul edilmiş boyca deformasyon ve yapıştırıcının poisson oranı ihmal edilmiştir. Goland ve Reissner [3] de yapıştırıcının ve yapıştırılan malzemelerin lineer elastik bir malzeme gibi davrandıklarını kabul etmişlerdir. Yapıştırma bağlantılarının yaygın bir kullanım alanı (havacılık-uzay, sanayi, otomotiv ve inşaat sektörleri, elektrik-elektronik, deniz taşıtları, bio-medikal alan vb.) bulunmasına karşın, yapısal yapıştırıcının mekanik özelliklerinin belirlenmesi, güvenilirliği ve tekrarlana bilirliginde yaşanan zorluklar, bu teknolojinin benimsenmesinde güçlüklerle karşılaşılmasına sebep olmaktadır. Bu durum araştırmacıları, bindirme amaçlarına uygun mekanik özelliklerinin belirlenmesine yöneltmiştir. Yapıştırıcılar ve yapıştırılan malzemelerin mekanik özellikleri arasındaki farklar yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme ara yüzeylerinde artık gerilme oluşumuna neden olur. Ara yüzeydeki iç gerilmeler yapıştırma bağlantısının performansı üzerinde farklı etkiler oluşturabilmektedir. Bu etkiler ara yüzeyde oluşan gerilmelerin karakterine bağlıdır ve bağlantının performansı üzerinde büyük etkisi vardır [4]. Crocombe ve ark.[5], yapıştırıcı tabakasındaki kayma ve soyulma gerilmelerini

diferansiyel denklemlerle elde ettikleri sonuçları sonlu elemanlar yöntemi kullanarak elde ettikleri sonuçlarla kıyaslamışlardır. Sonraki çalışmalarında sonlu farklar ve sonlu elemanlar çözüm tekniklerini kullanarak yapıştırma bağlantıları üzerinde elasto-plastik gerilme analizi yapmışlardır. Liu ve Wang [6] kompozit bir levhanın yapıştırıldığı ve üzerinde dairesel delik açılan bir kompozit levhada hasar analizi yapmış ve çalışmalarında ilerlemeli hasar analizi metodunu kullanmışlardır. Liu ve Wang [6] sayısal hasar yüklerinin tespitinde kompozit levha için Tsai Wu ve Ye delaminasyon teorilerini ve yapıştırıcının hasar kontrolünde ise Maksimum Kayma Gerilmesi Hasar Teorisini kullanmışlardır. Temiz ve ark. [7] bağlantının serbest uçlarında oluşan soyulma gerilmelerini azaltmak için bası artık gerilmeleri kullanarak tek tesirli bindirme bağlantısını irdelemişlerdir. Bindirme bölgesinde bası artık gerilmesi oluşturularak soyulma gerilmelerinin etkisi azaltılmış ve bağlantının yük taşıma kapasitesinde önemli artış sağlamışlardır. Fawzia ve ark. [8] inşaat ve köprü yapılarında çelik malzemeleri güçlendirmek için levhalar üzerine karbon fiber takviyeli plastik kompozit malzemesi ile kaplayarak çelik plakaları çift takviyeli olarak yapıştırmışlar ve bu bağlantılarla ilgili deneysel ve nümerik olarak çalışmalar yapmışlardır. Deneysel ve sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlarda bindirme uzunluklarını arttırdıkça taşınan hasar yükünün arttığını tespit etmişlerdir. Kline [9], yapıştırıcı ile birleştirmelerde yapıştırıcı kalınlığının gerilme dağılımı üzerine etkisini araştırmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı boyunca gerilmelerin değişimi lineer kabul edilerek, kalınlık etkisi ile birlikte yapıştırıcı tabakasındaki bağlantı parametrelerinin etkisini incelemiştir. Kodakoğlu [10] yapıştırıcıların genel özelliklerini ve çekme gerilmesine maruz yapışma birleşmesini analitik ve nümerik olarak incelemiştir. Engin [11] yapıştırıcılar ile birleştirilmiş çift bindirmeli ankastre bağlantıların sonlu elemanlar metodu ile geometrik bakımdan lineer ve lineer olmayan analizini araştırmıştır. Şekercioğlu [12] yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarını çalışmıştır. Çitil ve ark. [13] yapıştırıcı kullanarak tamir edilen çatlaklı çelik boruların mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmanın ilk aşamasında borular üzerinde yapay çatlaklar yaratılmış ve çatlaklı borular farklı örtüşme uzunluklarına sahip galvanizli çelik yamalar kullanılarak tamir edilmiştir. Ardından, tamir edilen borulara iç basınç uygulanarak, yama kalınlığı, bindirme açısı

ve bindirme uzunluğunun mafsal gücüne etkisi incelenmiştir. Sayısal analizler ve deneylerle, yama kalınlığı, bindirme uzunluğu ve bindirme açısının, çatlak üzerinde gerilme analizi yapılarak mukavemet üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Araştırmacılar mühendislik sistemlerinde kullanılan boru sistemlerinde oluşabilecek hasarların nedenleri ve bu hasarlı bölgelerinin tamiratına yönelik pek çok çalışma yapmışlardır. Less [14] gaz dağıtım şebekelerinde ve şehir şebekelerinde korozyonun sebep olduğu boru hatlarında meydana gelen hasarlar sonucunda, ortaya çıkan yüksek maliyetlerden dolayı çelik boru yerine korozyona daha dayanıklı GFRP kompozit boru ve yapıştırma bağlantılarının kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Akyurt ve Türkmen [15] yaptıkları çalışmada boru tesisatlarında sıcaklık ve basınç değişimi sonucunda suyun içerisinde buzun oluşması sonucu iç basıncın arttığını ve borularda patlamalara sebebiyet verdiğini tespit etmişlerdir. Zou ve Taheri'nin [16] borular bağlantıları ile ilgili yapmış olduğu çalışmada boru sistemlerindeki yüklerden biri olan burulma yüküne maruz farklı bağlantı şekilleri üzerinde çalışmışlardır. Yapmış oldukları analiz sonucunda gerilme üzerinde bağlantı şekillerinin ve parametrelerin çok önemli bir etkiye sahip olduklarını gözlemişlerdir. Liu ve ark. [17] yaptıkları çalışmada kaynakla yapılan boru bağlantılarında artık gerilmelerin kaynak bölgesi ve kaynağa yakın bölgelerde oluştuğunu tespit etmişlerdir. Kaynakla yapılan tamir işlemlerinde oluşan bu olumsuz durumlar araştırmacıları farklı materyallere, birleştirme ve tamir tekniklerine sevk etmişlerdir. Kumar [18] yapıştırıcılarla birleştirilmiş bağlantıların dayanımının bağlantı boyunca düzenli bir gerilme dağılımı ve bindirme uçlarındaki gerilme yoğunluğuna bağlı olduğunu gözlemiştir. Matsui [19] kayma gerilmelerine maruz dikdörtgen ve boru bindirme yapıştırma bağlantılarının geometrik ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır

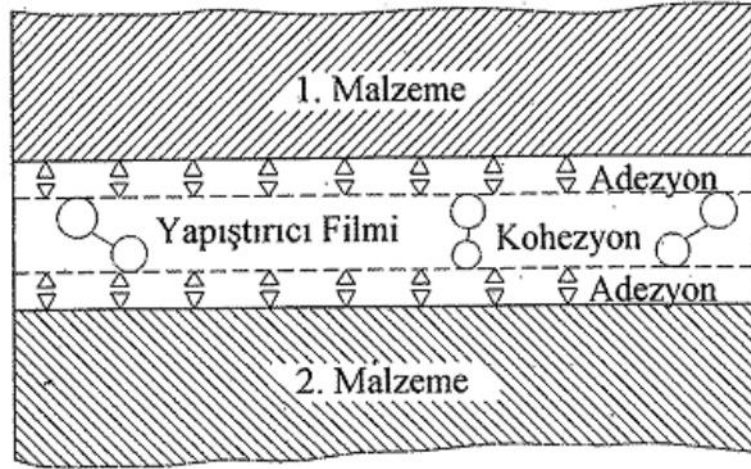
Yapıştırmanın endüstriyel bir birleştirme yöntemi olarak kullanılmaya başladığından bu yana farklı özellikte yapıştırıcılar kullanılarak hasara uğramış boruların yamalar ile yapılan tamiratında yapıştırıcıların performanslarının karşılaştırılmasına yönelik bir çalışmaya yazarın bilgisi dâhilinde rastlanmamıştır.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu çalışmada tamir amaçlı yapıştırma bağlantısının iç basınç altındaki analizi, sonlu elemanlar metodu kullanılarak elde edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi için Engineering Simulation Software yazılımı kullanılmıştır. ANSYS yazılımı ile oluşturulan sistemin iç basınç altında yapılacak analizleri sonucunda elde edilen değerlerin doğrulanması amacıyla doğrulama deneyleri yapılmıştır. Yapıştırıcı olarak nemli ortamlara dayanıklı, oda sıcaklığında kürleşebilen 3M Scotch-Weld firmasının ürettiği epoksi esaslı DP410 ve akrilik esaslı DP810 yapıştırıcılar kullanılmıştır. Boru olarak 33.7 mm dış çap ve 26.9 mm iç çapa sahip dikişli galvanizli çelik boru kullanılmıştır. Boruda çatlakın oluşturulması amacıyla boru üzerine boru eksenine paralel olacak şekilde yarıçapı ( $r$ ) 1 mm, uzunluğu ( $t$ ) 15 mm boyunda ve 2 mm genişliğinde kanal açılmıştır. Bu çatlakların oluşturulması için mikron hassasiyetinde kesim yapabilen CNC (Computer Numerik Control) tezgâhları kullanılmıştır. Oluşturulan bu çatlaklar 2 mm kalınlıkta, 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğuna sahip ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  lik açılara sahip yamalarla, 0.2 mm kalınlığında yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiştir. Tamiri yapılan bu boruların iç basınç altında, gerilme analizi yapılarak yama bindirme açılarının, yama bindirme uzunluklarının ve yapıştırıcıların boru patlama basıncı üzerindeki etkileri araştırılmış ve ortaya konmuştur.

#### **3.1. Yapıştırıcılar**

Yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasında oluşan adhezyon ve yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen kohezyon kuvvetleri sonucunda meydana gelen kimyasal ve fiziksel olaya yapışma olayı denilmektedir. Yapıştırıcı gerek kendi iç mukavemeti (kohezyon direnci) ve gerekse parça yüzeylerine yapışması (adhezyon direnci) ile etkiyen dış kuvvetlerin karşılanmasını sağlar.



Yapıştırma Bağında Yapışma Mekanizması

Şekil 3.1 Yapıştırma ek yerindeki kuvvetler [20]

Yapıştırıcılar yapışmanın özelliğine göre işlev gösterirler. Yapışma, iki farklı maddenin arasındaki intermoleküler güçlerin birbirini çekmesidir. Bu güçler, iki madde birleştirildiğinde ortaya çıkar ve onları ayırmak çaba gerektirir. Yapışma genellikle madde ve yapıştırıcı arasındaki moleküler etkileşimler sayesinde oluşur.

Yapıştırıcılar tutunma ve birleştirme güçlerine bakılarak seçilirler. Yapıştırıcılar genellikle yüksek yapışma gücü ve kesme/kayma mukavemetine sahip materyallerdir. Yapısal yapıştırıcı terimi genellikle bir montajın veya tamirin başarısında kritik öneme sahip yapıştırıcılar için kullanılır. Bu terim yüksek kesme/kayma mukavemetine sahip (1000 psi' den fazla) ve çevresel şartlara dayanıklı yapıştırıcıları tanımlar. Yapısal yapıştırıcılar genellikle kalıcı yapışma sağlarlar; yapıştırılan yüzeyler kolayca ayrılmaz, dolayısıyla ürün demontajı pek mümkün değildir. Yapısal yapıştırıcılar genellikle ana maddesi epoksi ya da poliüretan gibi termoset polimer reçineler olan formülasyonlara sahiptirler.

Yapısal olmayan yapıştırıcılar çok daha düşük mukavemetli ve daha az kalıcıdır. Genellikle geçici yapıştırılmalarda veya hafif parçaların yapıştırılmasında kullanılırlar. Basınca duyarlı film yapıştırıcılar, ahşap yapıştırıcılar, hot melt ve elastomerik yapıştırıcılar yapısal olmayan yapıştırıcılara örnektir. Bu yapıştırıcılar genellikle ana maddesi akrilik, polivinil asetat ya da selüloz polimer gibi termoplastik reçineler olan formülasyonlara sahiptir. Doğal yapıştırıcılar (kazein, nişasta, dekstrin

vb.) bazı çevresel şartlardan kolay etkilendikleri için yapısal olmayan yapıştırıcılar olarak sınıflandırılmaktadırlar.

Yapısal yapıştırıcılar kesme/kayma mukavemetine ve yapışma kuvvetinin yapışma yüzey alanına bölünmesiyle ortaya çıkan değere göre sınıflandırılırlar. Yapısal olmayan yapıştırıcılar ise genellikle soyulma dayanımı veya ayrılmaya neden olacak gerilimin yapışma alanının genişliğine bölünmesine göre sınıflandırılırlar. Yük dayanımları yalnızca yapıştırıcıya değil, aynı zamanda yapıştırılan maddeye, yapıştırma yüzeyinin konstrüksiyonuna, yükleme hızına ve çevresel koşullara da bağlıdır.

### **3.1.1. Yapıştırıcıları Etkili Bir Şekilde Kullanabilmek İçin Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler**

Birleşme kalitesi bazıları karmaşık ve komplike olan birçok faktöre dayanmaktadır. Birleşme ve yapışma gücü yapıştırılan madde kadar yapıştırıcının doğasına da bağlıdır. Ne var ki, yapıştırma teknolojisi uygulaması teknoloji ve tasarım, işlenebilirlik, tamir ve maliyetin dikkatli bir şekilde entegrasyonunu gerektirir. Dayanıklılık da dikkat edilmesi gereken diğer bir faktördür, yapıştırıcı da en az yapıştırıldığı madde kadar uzun ömürlü olmalıdır.

Evensel bir yapıştırıcı yoktur. Yapıştırıcılar genelde özellikli uygulamalar için özel olarak geliştirilir. Bu formülasyonları sunan organizasyonların bazı özelliklere ekstra vurgu yaparak, yapıştırıcının özellikleri arasında adil bir denge oluşturması gerekir. Bir yapıştırıcı seçerken 4 temel faktöre dikkat edilmelidir:

- ✓ Yapıştırılacak madde,
- ✓ Yapıştırıcının dayanımı ve ömrü,
- ✓ Yapıştırılacak yüzeyin konstrüksiyonu,
- ✓ Maliyet (materyaller ve uygulama).

Yapıştırıcı, yapıştırılacak yüzeye uyumlu olmalıdır ve yüzeye sprey şeklinde veya başka bir şekilde eşit olarak sürülmelidir. Yapıştırıcının kendisinin güçlü olmasının yanı sıra, güçlü bir yapıştırma sağlaması için sürüldüğü yüzeye de belli bir oranda yapışması gerekir. Herhangi bir boşluğu, yüzeydeki pürüzü veya yapıştırılan

yüzeyler arasındaki hafif payları doldurabilmesi gerekir. En iyi yapışmayı elde etmek için yapıştırıcının yapışkanlık özelliğinin yanında, yapıştırıcının, yüzeyin ve interfaz bölgesinin birleşme özelliği de dikkate alınmalıdır.

Ortaya çıkan yapışma, yeterli erken yapışma gücüne sahip olmalı ve maruz kalacağı çevre şartlarına dayanıklı olmalıdır. Bu çevre şartları gerilim, nem, sıcaklık, kimyasallar ve aşınma ya da darbenin değişik tiplerini içerebilir.

Yapışacak yüzey genelde yapışma için özellikli olarak dizayn edilmelidir. Yapıştırıcının fiziksel özelliklerinin tümünden yararlanabilmelidir. Yüzeyin dizaynı kolayca üretilebilmeli ve yapıştırıcının nüfuz edebileceği şekilde olmalıdır.

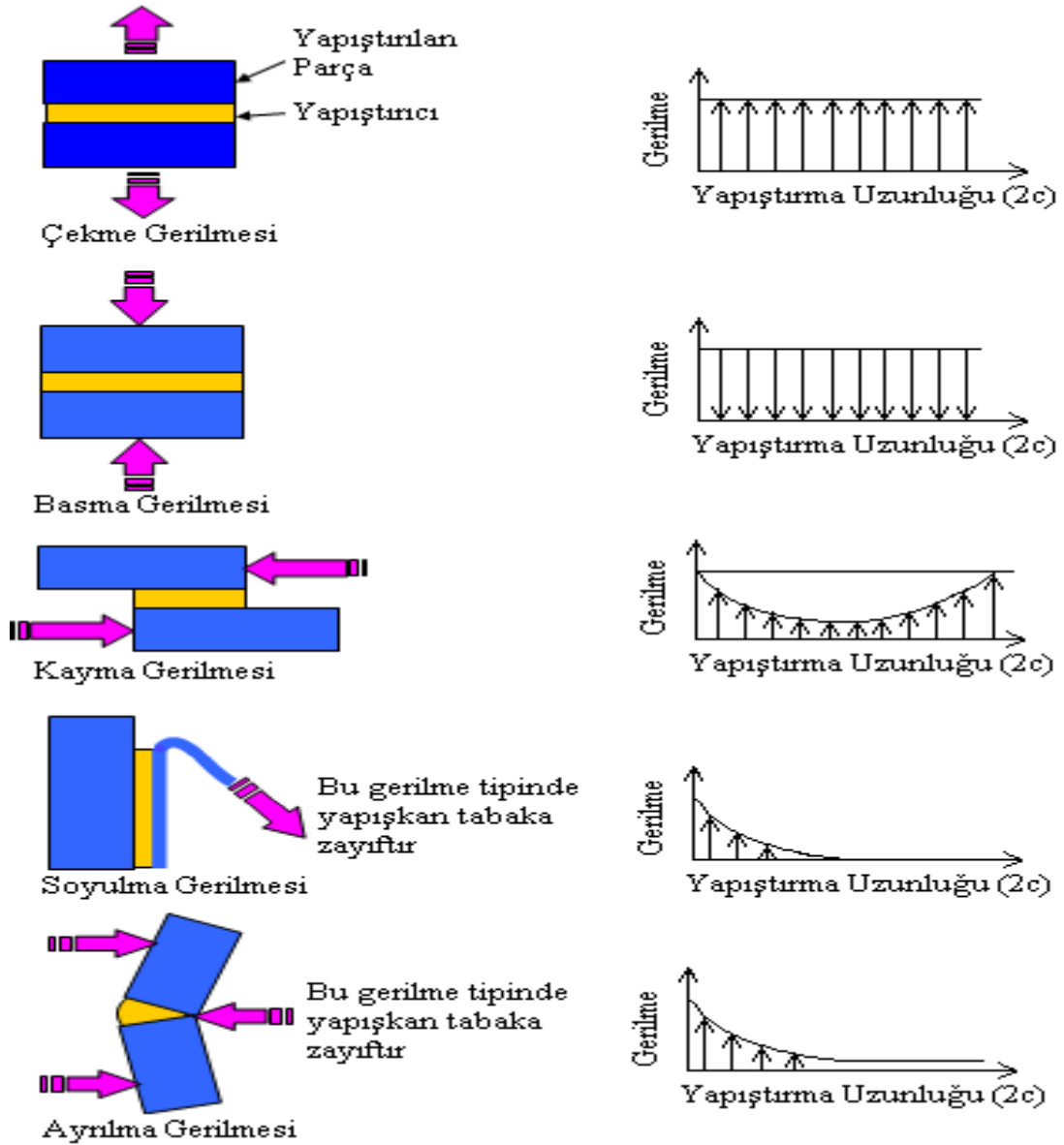
Maliyet endişeleri birçok değişkeni içerir. Yapıştırıcının maliyeti, bağlantı noktasını üretirken gerekli olan uygulamalar (bağlantı noktası üretimi, yüzey hazırlığı, sabitleme, kurluşma, vb.) ve atık maddeler ile uygulama eğitimi, kalite kontrol, gibi güvenilirlikle ilgili maddeleri içerir. İstenilen güç ve performans seviyesinde yapışmanın sağlanmasında, bağlantı noktaları üretimde kullanılacak ekipman ve yöntemler de önemli mali faktörlerdir.

Yapıştırıcılarla gerçekleştirilen bir yapışmanın dayanımını etkileyen bazı parametreler vardır. Bu parametreler: Yapıştırılacak malzemeler, yapıştırıcı, ek yeri bindirme, yük ve çalışma ortamıdır.

### **3.1.2. Yapıştırıcı Bağlantılarında Karşılaşılan Gerilmeler**

Bir yapıştırma bağlantısında etki eden yüklere göre farklı şekilde gerilmeler ortaya çıkar. Gerilmeler SI birim sistemine göre  $N/mm^2$  (MPa) cinsinden ifade edilir. Bu gerilmeler: Çekme, Kesme, Soyulma ve Yarıлма şeklidir. Yalnızca çekme veya yalnızca sıkıştırma yüklerinde, yapışma çizgisinde gerilim dağılımı düzgündür. Dolayısıyla yapışma çizgisinin her noktası aynı yükü taşır ve gerilimi hesaplamak için etki eden kuvvet yapışma alanına bölünür.

Yapıştırma bağlantısıyla oluşturulan bir bağlantının mukavemetinden yüksek verim elde etmek için bağlantıda oluşan gerilmeler göz önünde bulundurulmalıdır. Yapıştırma bağlantılarında meydana gelen temel gerilme çeşitleri ve dağılımları Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2 Yük tipleri ve bindirme bölgesindeki gerilme dağılımları (a) Çekme, (b) Basma, (c) Kayma, (d) Soyulma, (e) Ayrılma [20]

### 3.1.3. Yama Bindirme Uzunluğu

Yama geometrisi ve yama bindirme uzunluğu oluşturulan birleşimin dayanımı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Yeterli olmayan yama bindirme uzunluğu yapıştırıcı tabakasında yüksek kayma gerilmesine neden olur.



Yeterli olmayan bindirme uzunluklu yama kullanılması durumunda, yapıştırıcı tabakada plastik kayma gerilmeleri oluşur. Yama bindirme uzunluğu arttıkça yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmeleri daha geniş alana yayılır. Yama ile levha arasındaki yapışma yüzeyinin orta kısmında kayma gerilmeleri minimum olur. Bunun nedeni yapışma merkezinde levha ve yamanın deplasman uyumsuzluğu minimuma inmektedir. Bu sebepten ötürü yapışma merkezinde elastik kayma gerilmesi, yamanın kenarlarında ise plastik kayma gerilmesi etkili olmaktadır [21].

Yama malzemesinin çekme rijitliği yama bindirmelerinde önemli bir etkidir. Tamir edilecek malzemeye yapıştırılan yama, malzemedeki hasar ilerlemesini azaltmak için hasarlı elemandaki yükü alır ve hasarlı bölgeyi kapatarak takviye sağlar. Yama çekme veya kayma yükü altında kolay kolay hasarlanmamalıdır [21].

Rijitlik oranı, yama rijitliğinin onarılacak elemanın rijitliğine oranına denir. Rijitlik oranının ideal değeri 1'dir. En etkili onarım, yama rijitliğinin onarılacak elemanın rijitliğine eşit olduğu durumdur. Birleşimlerde daha rijit yama kullanılması birleşim dayanımının artması anlamına gelmemektedir. Bunun nedeni yamanın rijitliği ne kadar fazla olursa yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmeleri de o kadar etkili olmaktadır. Ayrıca yama kalınlığının artması, tarafsız eksenin değişmesine ve birleşimde eğilme momentlerinin meydana gelmesine neden olur. Bu sebeplerden dolayı rijitlik oranının 1.0-1.6 arasında belirlenmesi tavsiye edilmektedir [22].

Yama kalınlığının az olduğu onarımlarda çatlak üzerindeki yapıştırıcı tabakasında yüksek gerilme konsantrasyonu oluşmaktadır. Yama kalınlığı artırılarak bu gerilmelerin azaltılması sağlanabilmektedir [23].

Hosseini-Toudeshky ve Mohammadi [24] merkezi çatlaklı 2024-T3 alüminyum alaşımı panellerin tek taraflı tamiratında kullandıkları grafit/epoksi, cam/epoksi ve boron/epoksi kompozit yamaların kalınlığını, panel kalınlığını geçmeyecek ve rijitlik oranı 1,5'ten daha az olacak şekilde belirlemişlerdir. Lee [25] ise ön çatlaklı alüminyum levhaların tek taraflı tamiratında kullandığı tek yönlü grafit/epoksi kompozit yama kalınlığını, rijitlik oranı 1.0 olacak şekilde belirlemiştir.

Yapısal tamirin asıl amacı etki eden yükleri tamamen destekleyebilmek ve meydana gelen gerilmeleri tamir alanı üzerinden iletmektir. Tamirat, hasarlı malzemenin maksimum bindirme yüküne dayanması için malzemenin eski dayanımını

yeniden elde etmelidir. Tamirat yaması çatlak boyunca yükü taşımaları ve hasarlı alanın eski dayanımını ve rijitliğini yeniden elde etmelidir.

### **3.1.4. Yapıştırıcıların Avantajları**

- Uygulanması kolay ve ucuz.
- Bağlanacak malzemede delik, çentik vb. olmadığı için gerilme yığılması olmaz.
- Isıl bir işlem içermediği için artık gerilmeler olmaz.
- Hemen hemen her malzemeye uygulanabilir.
- Çok ince veya kalın parçalara aynı kolaylıkla uygulanabilir.
- Gerilmeler her noktada yaklaşık aynı olduğundan, sürekli mukavemette yorulma hasarı riski düşüktür.
- Aynı zamanda sızdırmazlık sağlar.
- Boşluklar kolayca doldurulduğundan aralık ve galvanik korozyon riski yoktur.
- Yüzeyler arası yapıştırıcı dolacağı için hassas tolerans vermeye gerek kalmaz.
- İyi sönüm ve yalıtım özellikleri vardır.
- Mukavemet/ağırlık oranı son derece uygundur.

### **3.1.5. Yapıştırıcıların Dezavantajları**

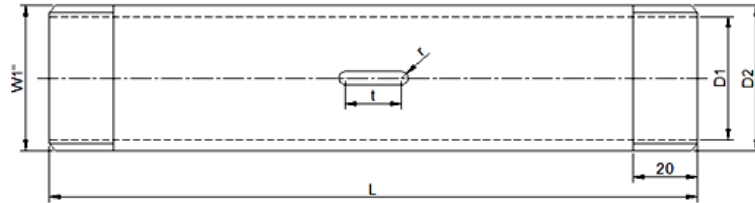
- Çalışma sıcaklığı artarsa (80-120°C) mukavemet düşer. Yeni nesil yapıştırıcılarla sınır çalışma sıcaklığı değeri 450°C' ye kadar çıkmıştır.
- Yüzeyin temizlenmesi özen ve dikkat gerektirir.
- Çekme ve eğilme tipi zorlanmalara karşı mukavemeti iyi değildir.
- Bazı yapıştırıcılarda sertleşme (kür) süresi uzundur.
- Viskoelastik malzemeler olduklarından zaman içinde yaşlanma ve sürünme (creep) olayları gözlenebilir.
- Kritik uygulamalar için çok karmaşık gerilme analizleri yapmak gerekir.
- Tahribatsız muayene ile kontrolü kolay değildir.
- Bağlantının ömrü çevre şartlarından etkilenir.
- Bazı solventlere karşı dayanıksızdır.

**3.2. Materyal****3.2.1. Boru Malzemesi**

Bu çalışmada, şehir su şebekelerinde kullanılan,  $R1=33.7$  mm iç,  $R2=26.9$  mm dış yarıçaplı St 37 galvanizli çelik borular kullanılmıştır. Bu borular üzerine,  $r=1$  mm yarıçaplı ve  $t=17$  mm uzunlukta kanallar açılmış ve her iki tarafın kapatılabilmesi için uç kısımlarına whitworth 1" vidalar açılmıştır (Resim 3.1). Galvanizli borunun parametrik ölçüleri Şekil 3.3'te verilmiştir.



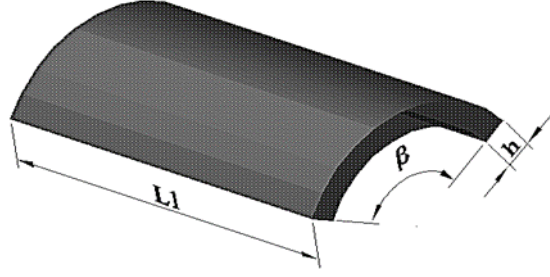
Resim 3.1 Üzerine çatlak oluşturulmuş galvanizli boru



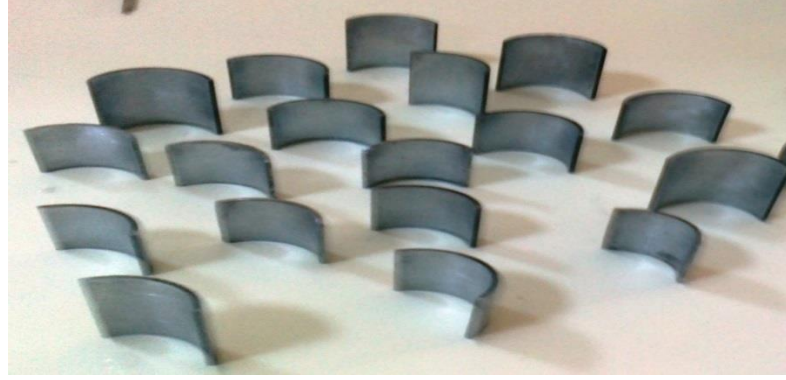
Şekil 3.3 Galvanizli borunun parametrik ölçüleri

**3.2.2. Yama**

Yama malzemesi olarak  $L=30, 40$  ve  $50$  mm bindirme uzunluklarında  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  ve  $150^\circ$  lik ve  $h=2$  mm kalınlığa sahip galvanizli metal plakalar kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Yamanın geometrik parametreleri

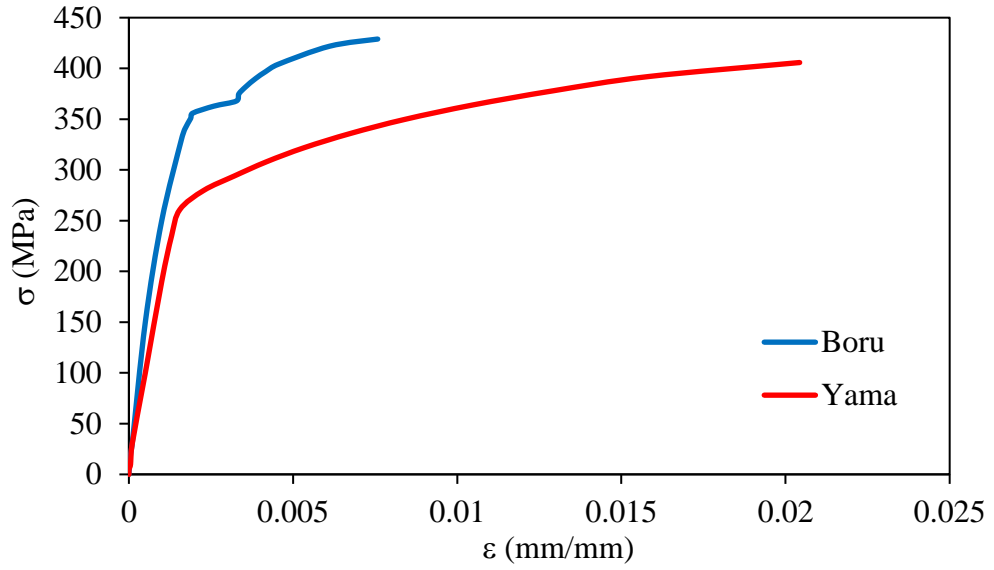


Resim 3.2 Yama Numuneleri

Bu galvanizli metal plakadan çekme numunesi yapılmış (Resim 3.3) ve çekme test cihazında 5 mm/dak çekme hızında testi yapılmış ve elde edilen verilerle gerilme-şekil değiştirme diyagramı elde edilmiştir. (Şekil 3.5)



Resim 3.3 Galvanizli sac bulk numuneleri



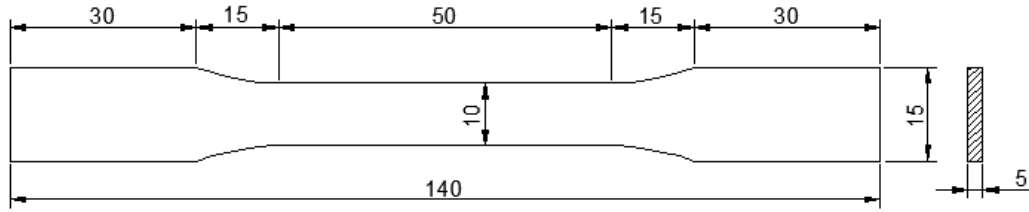
Şekil 3.5 Galvanizli Çelik Boru ve Yama Gerilme/ Şekil değiştirme eğrisi

### 3.2.3. Yapıştırıcı

Yapıştırıcı olarak biri epoksi esaslı diğeri de akrilik esaslı olmak üzere iki farklı tipte yapıştırıcı kullanılmıştır. Epoksi yapıştırıcı olarak 3M Scotch-Weld firmasının ürettiği DP410 yapısal sıvı yapıştırıcı akrilik yapıştırıcı olarak ise yine 3M Scotch-Weld firmasının ürettiği DP810, yapısal sıvı yapıştırıcı kullanılmıştır.

Bir yapıştırıcının mekanik özellikleri tespit edilirken bulk formunda numuneler kullanılır. Yapıştırıcılardan bulk numunelerin hazırlanması, farklı yük şartlarında yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesine imkân sağlamaktadır.

Yapıştırma bağlantısının gerilme analizinde kullanılmak üzere, bulk numuneler için kalıp üretilmiştir. Yapıştırıcıların her birinden de kalıp boyutlarına uygun olarak bulk numuneler Şekil 3.6'da gösterilmiş olan boyutlarda dökülüp hazırlanmıştır. ASTM 'de tanımlanan çekme deneyi uygulanarak gerilme-şekil değiştirme davranışı tespit edilmiştir.



Şekil 3.6 Bulk numune geometrisi (mm)

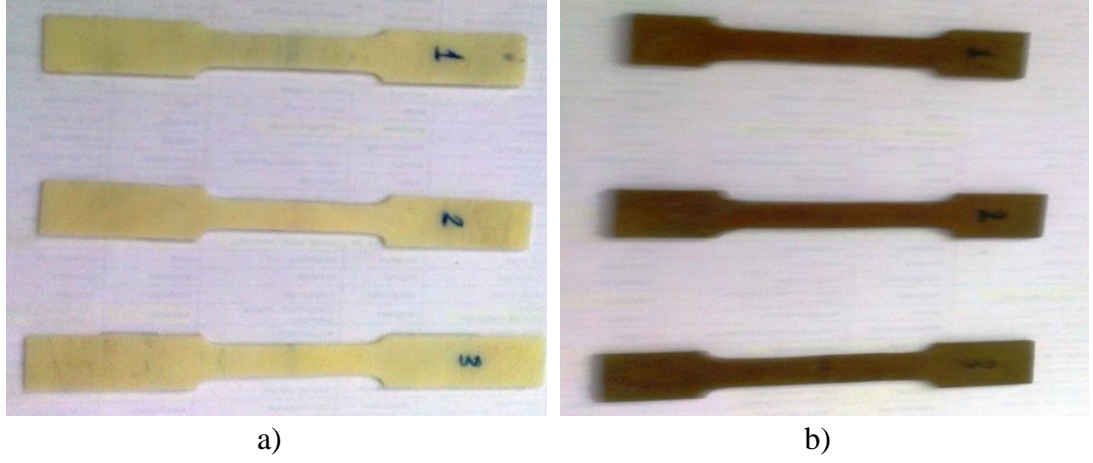
Bulk numuneler hazırlanırken; belirli bir kalınlığa sahip iki levha ve bunlar arasına yapıştırıcı tabakasının kalınlığını ayarlamak amacıyla yerleştirilmiş kalıplar kullanılmıştır. Yapıştırıcı bu kalıplar içerisine dökülmüştür. Kalıp üzerindeki bir levha yardımıyla basınç uygulanıp yapıştırıcı içerisindeki gaz boşlukları ve süreksizlikler giderilmiştir. Kürleşme esnasında meydana gelen ısıyı uzaklaştırmak için kalıbın altında su vb. soğutucular kullanılır ve gerekli kürleşme şartları uygulanarak numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin güvenilirliği, uygulanan kuvvet altında oluşan yer değiştirmelerin doğru tespitine bağlıdır. Uygulanan çekme kuvvetinden dolayı meydana gelen şekil değiştirmeler; şekil değişim oranı ve şiddetine, yapıştırıcının mukavemetine bağlı olduğundan bu tür ölçümlerin yapılmasında güçlüklerle karşılaşılır. Bu güçlüğü aşmak için, numuneyle temas halinde olan (strain gauge) veya temas halinde olmayan (video extensiometre) kullanılarak şekil değiştirmeler tespit edilir.

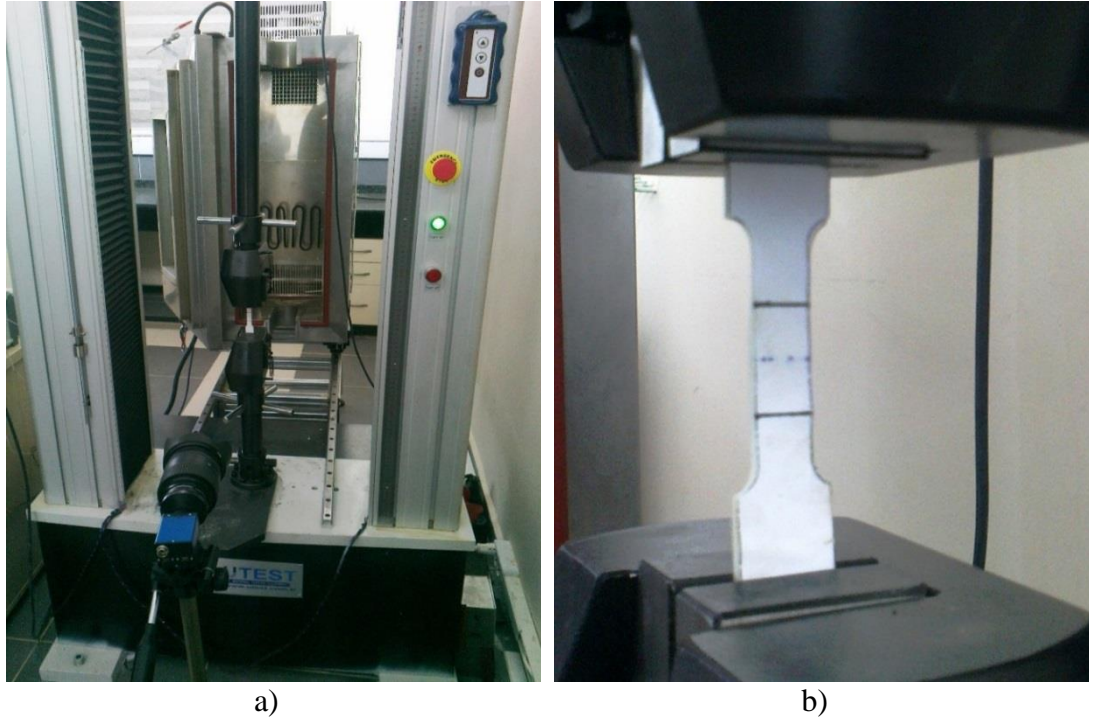
Campilho ve ark. [26] yapıştırıcı malzemelerin bulk numune testlerinde elde edilen değerlerin aritmetik ortalamasının alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Bundan dolayı çalışmamızda her bir yapıştırıcı türü için üçer bulk numune kullanılmış ve ortalama değerleri alınmıştır (Resim 3.4).

Bulk numunelerin çekme deneyleri; bilgisayar kontrollü test cihazında video extensiometre kullanılarak oda sıcaklığında ve 5 mm/dak'lık çene hızında yapılmıştır. Hata oluşumunu engellemek için, numunelerin serbest uçları çekme cihazının çenelerine tutturulurken mümkün olduğunca eşit basınç uygulanmaya çalışılmış ve eksenlemeye dikkat edilmiştir. Yapıştırıcıların elastisite modülü belirlenirken,

numuneler ISO 527-2'de tavsiye edilen 5 mm/dk'lık şekil değiştirme hızıyla yüklenmiştir (Resim 3.5).



Resim 3.4 Bulk numuneleri a) DP810 b) DP410



Resim 3.5 Çekme test cihazı a) Cihazın görüntüsü b) Numunenin yerleştirilmiş hali

Çalışmamızda kullanılan yapıştırıcıların elastisite modülü aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E=(\sigma_2-\sigma_1)/(\epsilon_2-\epsilon_1)$$

$$E=(\sigma_{(ger.ort)2}-\sigma_{(ger.ort)1})/(\epsilon_{(ger.ort)2}-\epsilon_{(ger.ort)1})$$

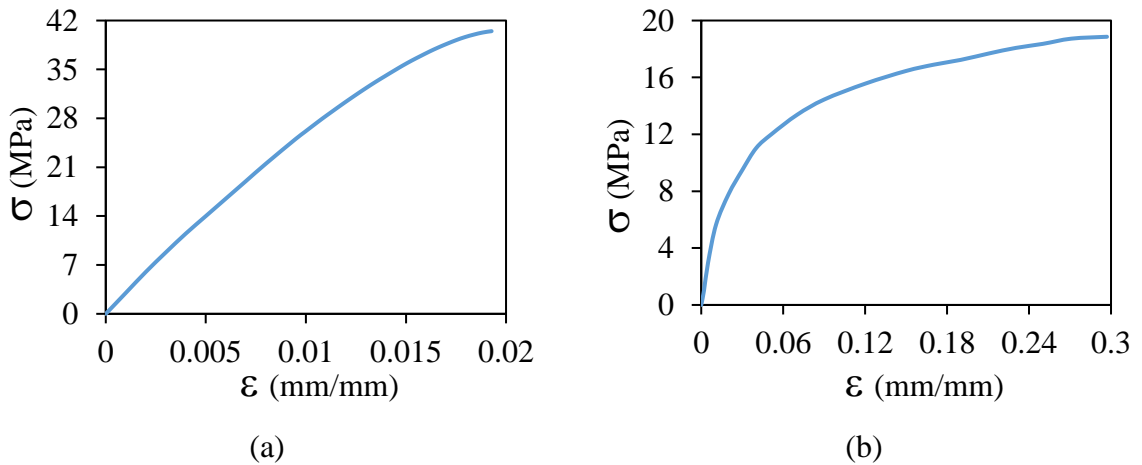
Kopma anına kadar oluşan yük-uzama verilerinden (P-Δl) değerleri elde edilir ve aşağıdaki denklemler yardımıyla da gerilme-şekil değiştirme (σ- ε) diyagramı elde edilebilir.

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\sigma = \frac{P(1 + \epsilon)}{A_0} = \frac{P(1 + \epsilon)}{b \cdot h}$$

Burada  $P$  yükü,  $\Delta l$  toplam uzamayı,  $b$  numune genişliğini,  $h$  numune kalınlığını ifade etmektedir.

Çalışmamızda kullanacağımız DP810 ve DP410 yapıştırıcılarına ait gerilme şekil diyagramları Şekil 3.7'de elde edilmiştir.



Şekil 3.7 Yapıştırıcı Gerilme/ Şekil değiştirme eğrisi, a) DP410, b) DP810



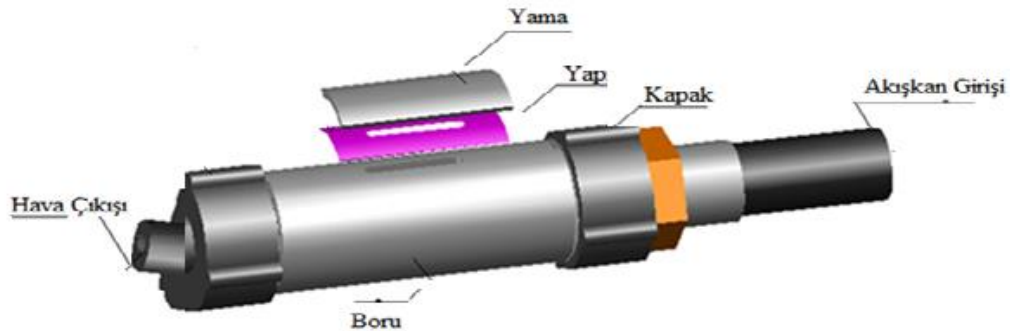
Çizelge 3.1 Galvanizli boru (ST37), Yapıştırıcı (DP410-DP810) ve yama malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

	Galvanizli çelik boru (St37)	Yapıştırıcı (DP410)	Yapıştırıcı (DP810)	Yama (Galvanizli levha)
$E_a$ (MPa)	186450	2639.7	594.8	168190
$\nu_e$	0.29	0.28	0.35	0.29
$\sigma_y$ (MPa)	350	25.01	2.98	260.899
$\sigma_t$ (MPa)	428	40.47	18.86	405.81
$\epsilon_t$ (mm/mm)	0.0075	0.0193	0.297	0.0204

### 3.3. Deneysel Yöntem

Deneylerde çatlak hasarlı borular farklı boyutlarda yamalar kullanılarak, 3M Scotch-Weld firmasının ürettiği iki bileşenli, nemli ortamlara dayanıklı, oda sıcaklığında (24°C) kürleşebilen biri akrilik esaslı DP810 diğeri epoksi esaslı DP410 iki farklı özellikte yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiştir.

Yapılan deneylerde tamir edilmiş borunun içine akışkanın girmesi sağlanmış ve çıkış kapağından boru içerisinde bulunan havanın dışarı atılması sağlanmıştır (Şekil 3.8). Deney numunelerine akışkan basması için bir hidrolik pompa kullanılmıştır (Resim 3.6). Hidrolik pompa yama yapılan bölgede hasar oluşana kadar hidrolik bir iç basınç oluşturmuş ve patlama anındaki değerler hidrolik pompa üzerindeki basınçölçerle ölçülmüştür.



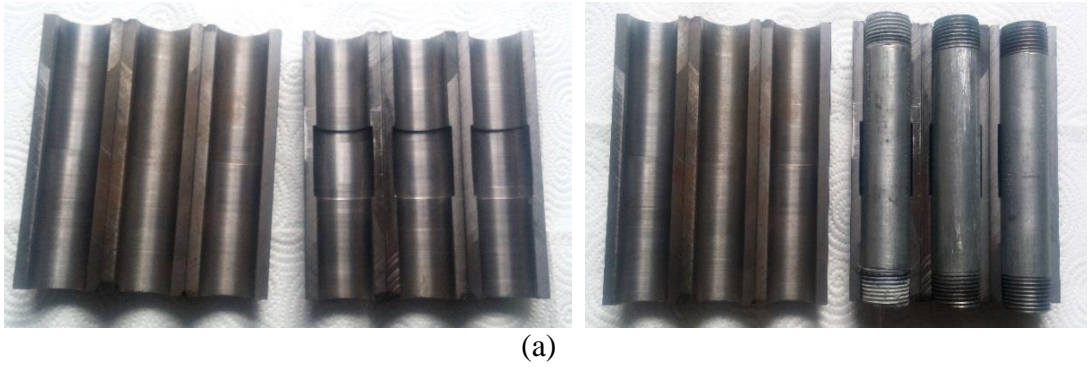
Şekil 3.8 Deney düzeneği üç boyutlu görüntüsü



Resim 3.6 Deney düzeneği a) Montajlanmış b) Hidrolik pompa

### 3.3.1. Yapıştırma İşlemi

Yüzeyi yapıştırma işlemine hazır hale gelen numune parçaları yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm olacak şekilde 1 kat yapıştırıcıyla kaplanarak yama boruya yapıştırıldıktan sonra, yapıştırılan numuneler kalıp içerisine yerleştirilmiştir. Daha sonra kalıp içerisine yerleştirilen numuneler sıcak preste 12 MPa basınç ve 130 °C sıcaklıkta 30 dakika bekletilerek küre tabi tutulmuştur.



(a)



b)



c)



d)

Resim 3.7 Deney numunelerinin elde edilişi; a) boruların kalıba yerleştirilmesi b) kalbının prese yerleştirilmesi c) Yapıştırıcının ısı altında kürleşmesi d)Patlatmaya hazır numuneler.

### 3.3.2. Yüzey Hazırlama

Yüzey hazırlığının temel amacı, bindirme bölgesindeki her türlü kirin (yağ, gres, toz ve diğer kalıntıların) yok edilmesi ve yapıştırma yüzey alanının tam olarak kullanılmasıdır. Yüzey hazırlama yapıştırıcı ile birleştirme işleminde en kritik aşamadır. Mümkün olan en iyi yapışmayı elde etmek için yapıştırılacak yüzeylerden yağ, gres, toz ve diğer kalıntıların temizlenmesi gerekir. Yapıştırılarak yapılan birleşimlerde yapışma dayanımı büyük ölçüde yapıştırılan yüzeylerin kalitesine

bağlıdır. Bu yüzden iyi bir yapıştırma için yüzey hazırlama işlemleri gereklidir. Yüzey hazırlama işlemleri yüzeydeki zayıf tabakaları yok etmek ve yüzeyin ıslanabilirliğini arttırmak için yapılır. İyi bir yüzey hazırlığı yapılmadığı takdirde bağlantı yapıştırıcı-yüzey temas bölgesinden kopacaktır. Doğru yüzey hazırlama yapıldığında yapıştırıcı veya astardan beklenen kuvvet elde edilebilecek ve kopmalar yapıştırıcının kohezyon kuvvetinin aşılması ve yapıştırıcı tabakasının ikiye ayrılması şeklinde olacaktır. Yüzey hazırlama yalnızca yapıştırıcı bağlantısının başlangıçtaki dayanımı için değil aynı zamanda uzun süreli dayanımı için çok önemlidir. Mekanik aşındırma ile malzemelerin yüzeyleri pürüzlü hale getirilir. Böylece malzemelerin yapışma yüzey alanları artar ayrıca yüzeyden kirletici maddeler ve partiküller uzaklaştırılır. Bu kirletici maddeler ya zımpara kâğıdı ile yüzeyi aşındırarak ya da kimyasallarla temizleyerek yüzeyden uzaklaştırılır [27].

#### ***Yüzey Hazırlama İşleminin yapılması***

Yüzey hazırlama işlemi aşağıdaki adımlar takip edilerek yapılmıştır.

1. Yapıştırılacak yüzeyler ince zımpara ile zımparalandı
2. Zımparalanan yüzeyler önce soğuk musluk suyu ve toz deterjan( $C_{12}H_{25}OSO_3Na$ ) kullanılarak temizleme işlemine tabi tutuldu daha sonra tekrar su ile yıkandı.
3. Yapıştırılacak yüzeyler asetonlu bez ile temizlenerek yapıştırmaya hazır hale getirildi.

#### **3.4. Nümerik Analiz**

Nümerik analizler için ANSYS 15 yazılımı kullanılmıştır. ANSYS yazılımında sistem modelinin oluşturulması için sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodu günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak modellenmesinde etkin olarak kullanılan bir metottür. Sonlu Elemanlar Metodu (Finite Element Method) ilk defa uçak gövdelerinin gerilme analizinde kullanılmak üzere geliştirilmiş, daha sonraki yıllar içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise sonlu elemanlar

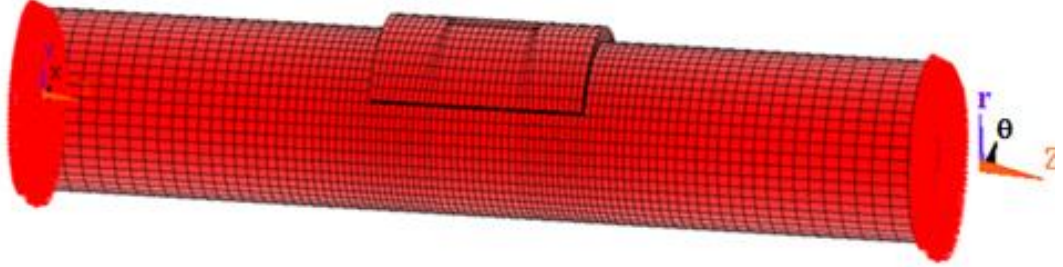
metodu ve çözüm teknikleri hızlı gelişmeler kaydetmiş ve günümüzde birçok pratik problemin çözümü için kullanılan en iyi metodlardan birisi olmuştur.

Sonlu elemanlar metodundaki temel mantık, karmaşık bir problemi basite indirgeyerek modeli oluşturmaktır. Bu metodda çözüm bölgesi, çok sayıda, basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayrılmaktadır. Yani kısacası birbirine çok sayıda düğüm noktalarıyla bağlanmış parçalara ayrılan problemin modellenmesi kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmekte, ancak bu sonucun çözüm için daha fazla çaba harcayarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılması, hatta kesin sonuca ulaşılması mümkün olmaktadır. Sonlu elemanlar metodu, yapısal mekanik problemlerinin yanı sıra, ısı iletimi, akışkanlar mekaniği, elektrik ve manyetik alanlar ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümü için de kullanılmaktadır.

Örneğin yapısal bir analizde sonlu elemanlar metodunun uygulanışı şu şekildedir:

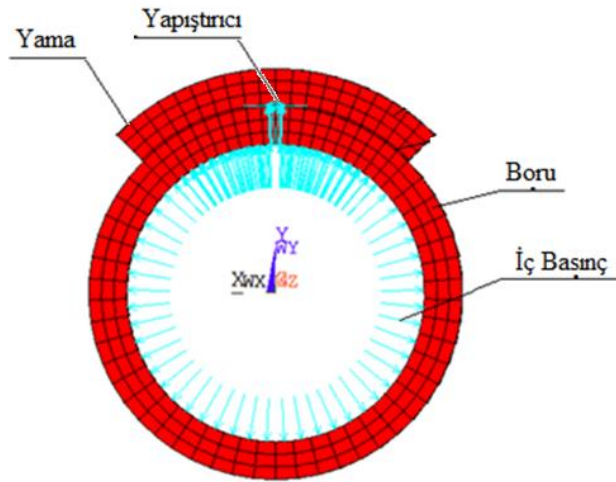
- Yapı parçalara ayrılır. (Düğüm noktaları içeren elemanlarla)
- Her eleman için fiziksel büyüklüklerin davranışları tanımlanır.
- Elemanlar düğüm noktalarından bağlanılarak bütün yapı için yaklaşık bir denklem sistemi oluşturulur.
- Sistem denklemleri uygun bir yöntem kullanılarak düğüm noktalarındaki bilinmeyen değerler için çözülür. (Örneğin yer değiştirme)
- Seçilen elemanların istenilen değerleri hesaplanır. (Örneğin gerilmeler)

Bu çalışmada, ANSYS 15 paket programı kullanılarak lineer olamayan sonlu eleman çözümü yapılmış ve modelin oluşturulması için 20 düğüm noktasına sahip 3D dikdörtgen prizması olan Solid186 elemanı kullanılmıştır. Yapıştırılan boru, yama ve yapıştırıcı malzemesinin mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu tezde akma kriteri olarak Von mises akma kriteri kullanılmıştır. Gerilme dağılımları her yerde detaylı olarak elde edilmesi bakımından kritik bölgeler daha küçük elemanlara bölünmüştür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Üç boyutlu nümerik model

Nümerik çalışmada akışkanın temas ettiği boru iç yüzeyi, yapıştırıcı yüzeyi ve kapak iç yüzeylerine iç basınç oluşturularak (Şekil 3.10) hasar değerleri ve yapıştırıcının gerilme analizi yapılmıştır.



Şekil 3.10 Üç boyutlu nümerik modelin kesiti (uygulanan iç basınç ve yapıştırıcı)

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

İç basınca maruz kalmış hasarlı galvanizli boruların tamirinde epoksi esaslı DP410 ve akrilik esaslı DP810 yapıştırıcıların performanslarının karşılaştırılması ve uygun yama açıları ile bindirme uzunluklarının tespit edilmesi amacıyla 33.7 mm dış çap ve 26.9 mm iç çapa sahip galvanizli çelik borular ele alınmış ve bu borular üzerine 17 mm boyunda ve 2 mm genişliğinde kanal açılarak çatlak oluşturulmuştur. Borularda oluşturulan çatlaklar 90°, 120°, 150° açılarda 30, 40, 50 mm boyunda çelik yamalar kullanılarak 0,2 mm kalınlığında yapıştırıcı tabakası oluşturularak tamir edilmiştir. Tamir edilmiş borulara iç basınç uygulanarak hasar anındaki değerler tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında her iki yapıştırıcı ile tamir edilmiş boruların modellenmesi ve nümerik çözümleri için ANSYS 15 paket programı kullanılmıştır. Oluşturulan modellere iç basınç uygulanmış ve nümerik olarak çözümlenmiştir. Nümerik analizler sonucunda elde edilen veriler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.1). Sayısal yöntemde iç basıncın kademeli olarak artırılması suretiyle hasarın yapıştırıcıda gerçekleştiği andaki iç basınç bulunmuştur.

Çizelge 4.1 Deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

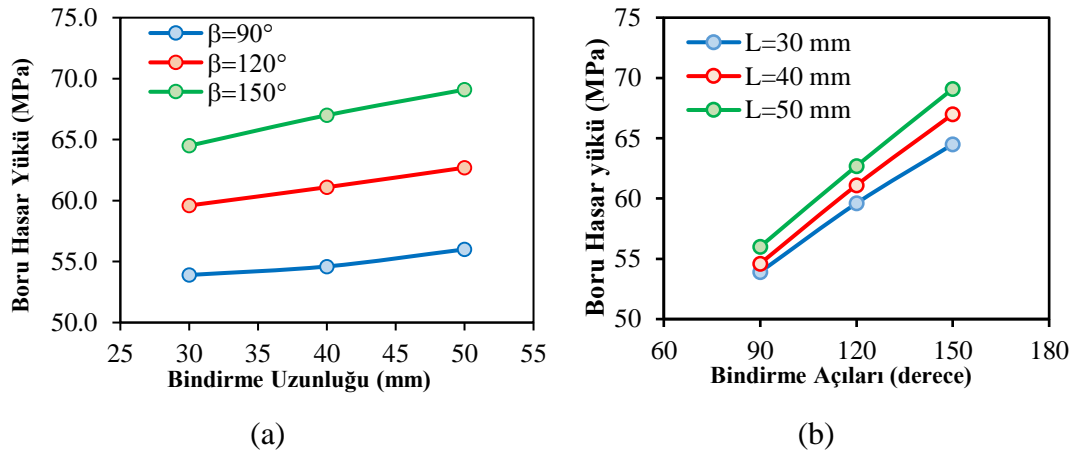
Kullanılan Yapıştırıcı	Yama Açısı	Yama uzunluğu (mm)	Hasar Yüğü (Mpa)		Oran %
			Deneysel	ANSYS	
DP 810	90°	30	50.25	53.9	93.22
		40	51.5	54.6	94.32
	120°	30	57.5	59.6	96.48
		40	60.5	61.1	99.02
DP 410	90°	30	25.5	26.6	95.86
		40	27.5	26.9	102.23
	120°	30	30.5	30.9	98.71
		40	31.0	31.2	99.36

Çizelge 4.2 Hasarın yapıştırıcıda gerçekleştiği andaki nümerik iç basınç (MPa)

Kullanılan Yapıştırıcı	Bindirme Açısı	Yama uzunluğu		
		30 mm	40 mm	50 mm
DP 810	90	53.9	54.6	56.0
	120	59.6	61.1	62.7
	150	64.5	67.0	69.1
DP 410	90	26.6	26.9	27.3
	120	30.9	31.2	31.5
	150	34.3	34.4	34.8

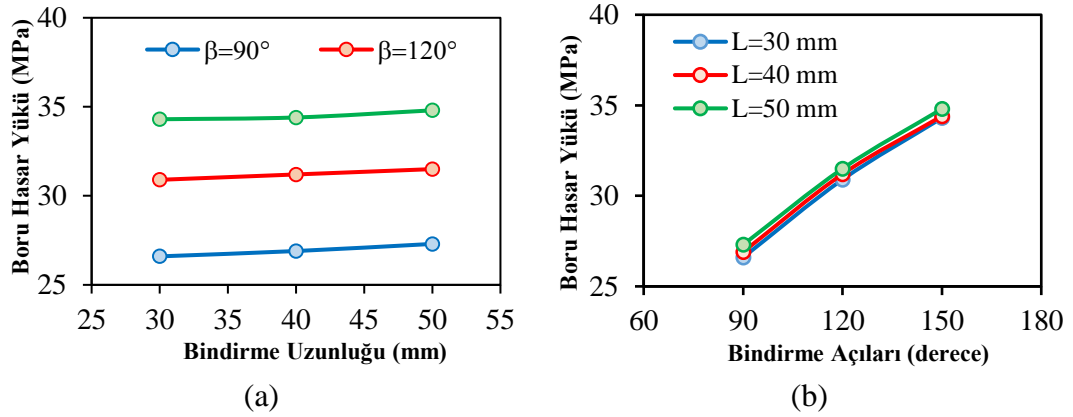
Deneyel ve nümerik (ANSYS yazılımı) sonuçlar kıyaslandığında Çizelge 4.1’de deneyel sonuçlarla nümerik sonuçların en az %93.22 ortalama olarak %97 oranında birbiri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Yama geometrisi ile boru patlama basıncı arasındaki ilişki grafik olarak Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



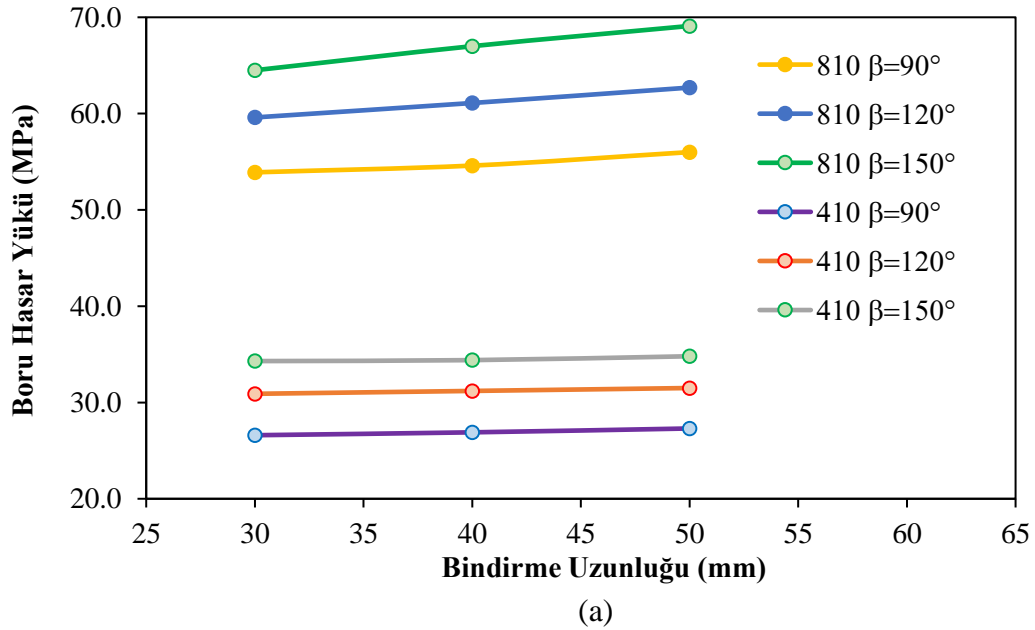
Şekil 4.1 DP810 Deneyel sonuçların grafikleri a) Bindirme uzunluğuna göre, b) Bindirme açısına göre

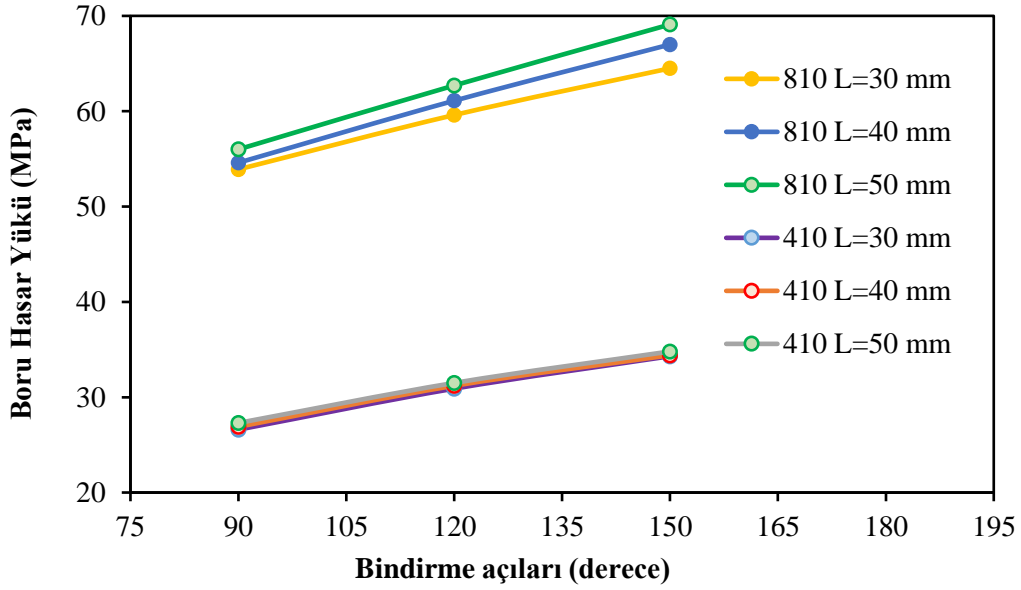




Şekil 4.2 DP410 Deneysel sonuçların grafikleri a) Bindirme uzunluğuna göre, b) Bindirme açısına göre

Grafiklerin incelenmesi sonucunda bindirme uzunluğuna bağlı olarak boru hasar yükünün çok fazla değişmediği fakat bindirme açısının artırılması ile boru hasar yükünde ciddi bir artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu değerlerin bindirme açılarına göre karşılaştırılması Şekil 4.3. a'da bindirme uzunluğuna göre karşılaştırılması ise Şekil 4.3.b'de gösterilmiştir.





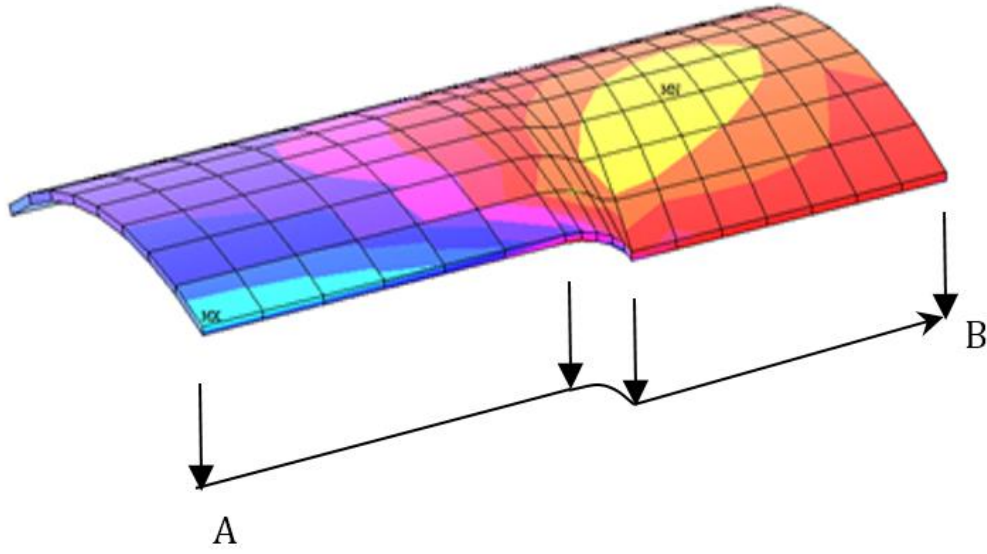
(b)

Şekil 4.3 DP410 ile DP810 Deneysel sonuçların grafiksel karşılaştırılması, a) Bindirme uzunluğuna göre, b) Bindirme açısına göre

Grafiklerde aynı bindirme açıları ve bindirme uzunluklarına göre yapıştırıcılarda oluşan gerilmelerin büyüklükleri incelendiğinde DP810'nun DP410'a göre daha fazla hasar yükü taşıyabildiği görülmüştür. Malzemelerin mekanik verileri ve gerilme-şekil değiştirme grafiği incelendiğinde DP410'nun uzama miktarı düşük olduğundan daha gevrek olduğu anlaşılmıştır.

#### 4.1. Nümerik analizler

Sonlu elemanlar yardımıyla modeli oluşturulan sistemde yama geometrisi ile boru patlama basıncı ilişkisini etkisini incelemek amacıyla 30, 40, 50 mm bindirme uzunlukları ve  $90^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ ,  $150^{\circ}$  yama bindirme açıları dikkate alınarak boru iç yüzeyine etkiyen basınç DP410 için 25 MPa değerine, DP810 için 53 MPa değerine kadar artırılarak nümerik analizler elde edilmiştir. Simetri nedeniyle yapıştırıcının dörtte biri ele alınmıştır. Elde edilen nümerik analizlerin karşılaştırılması amacıyla Şekil 4.4 de görülen A-B hattı boyunca yapıştırıcıda oluşan gerilmelerin grafikleri oluşturulmuştur.

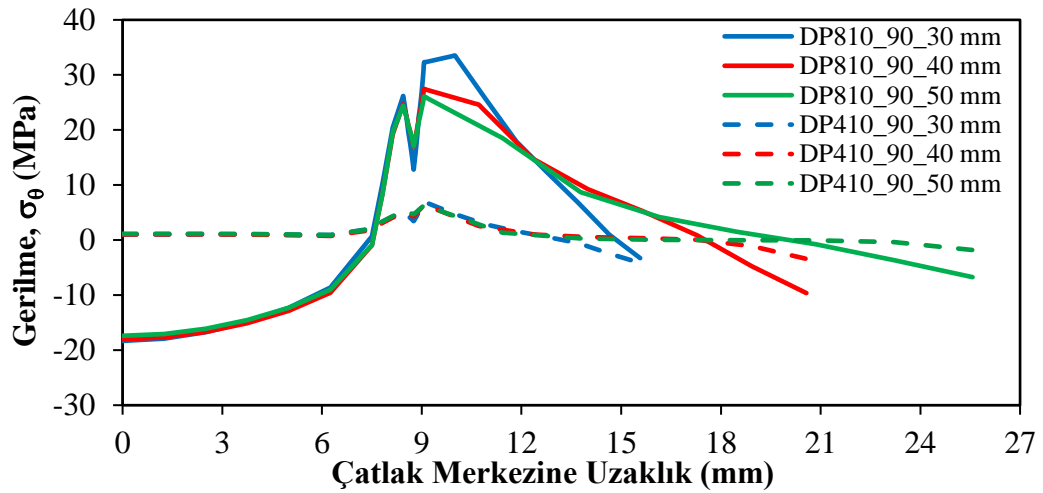
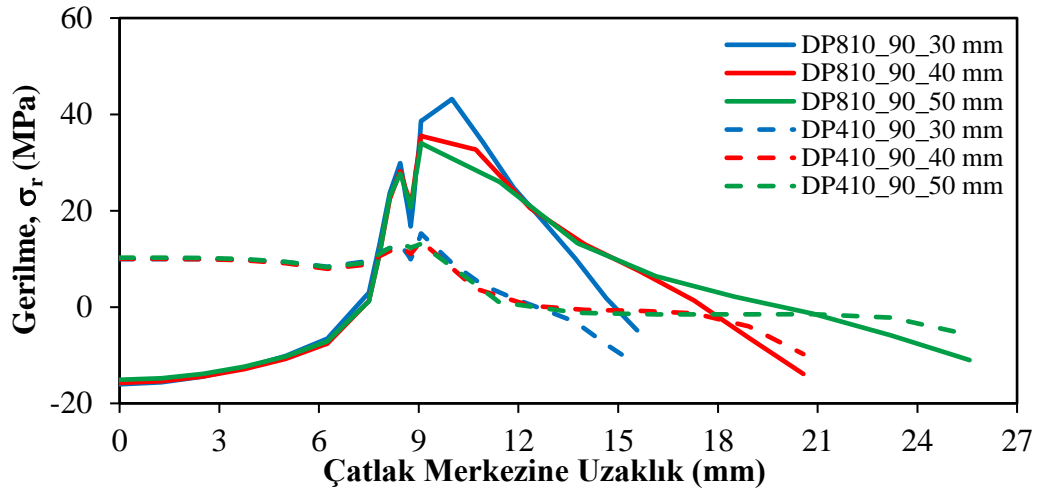
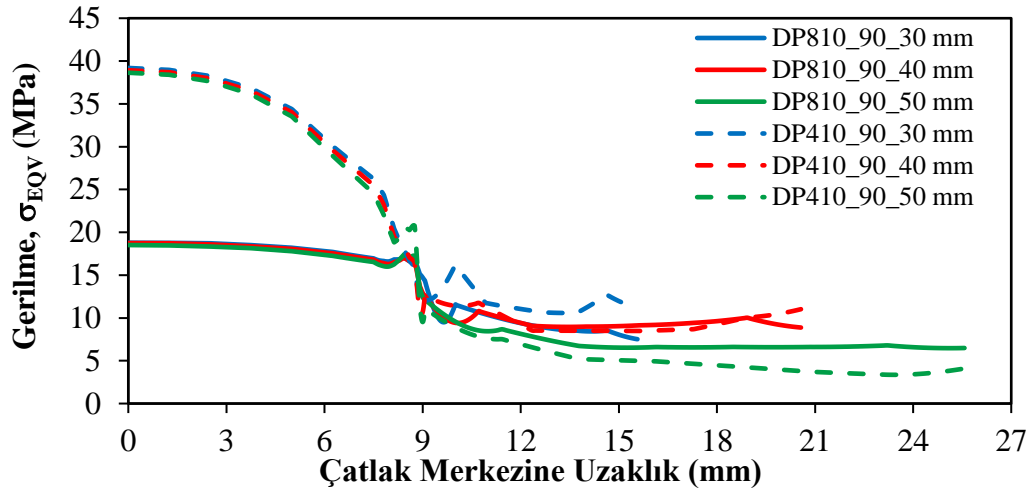


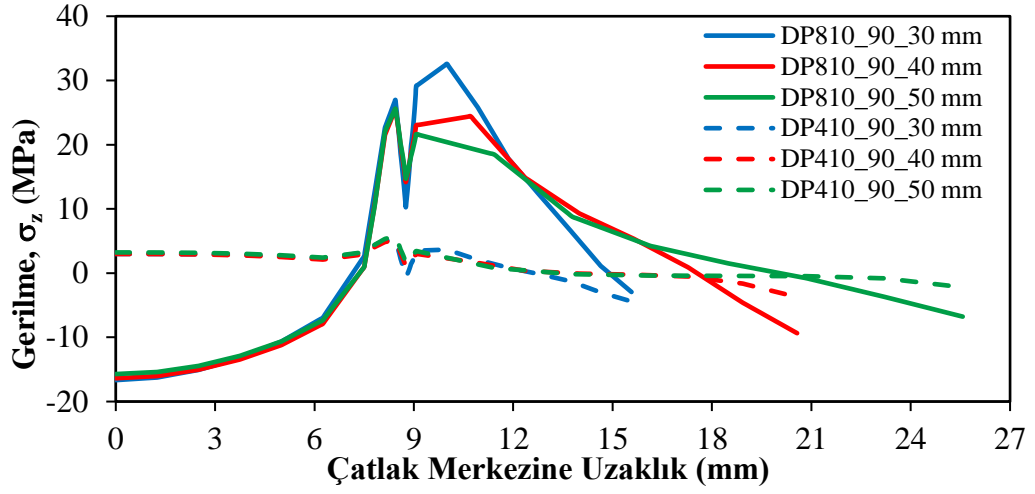
Şekil 4.4 Kullanılan yapıştırıcının Sonlu elemanlardaki üç boyutlu modeli

#### 4.1.1. Nümerik Analizler Yardımıyla Bindirme Uzunluğunun Etkisinin Araştırılması

##### 4.1.1.1. Nümerik Analiz Sonuçları (Boyuna Doğrultuda)

Analizler sonucu  $90^0$  bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda boyuna doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.5'te verilmiştir.

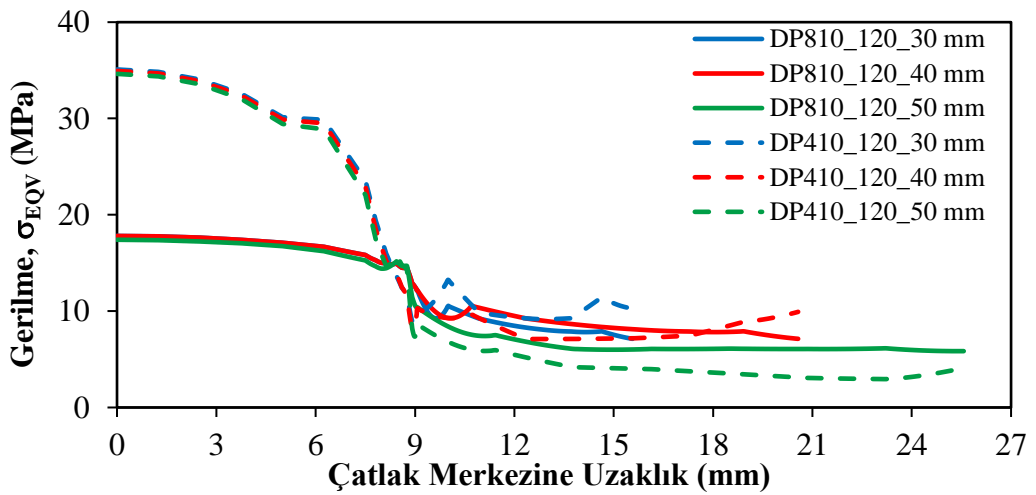




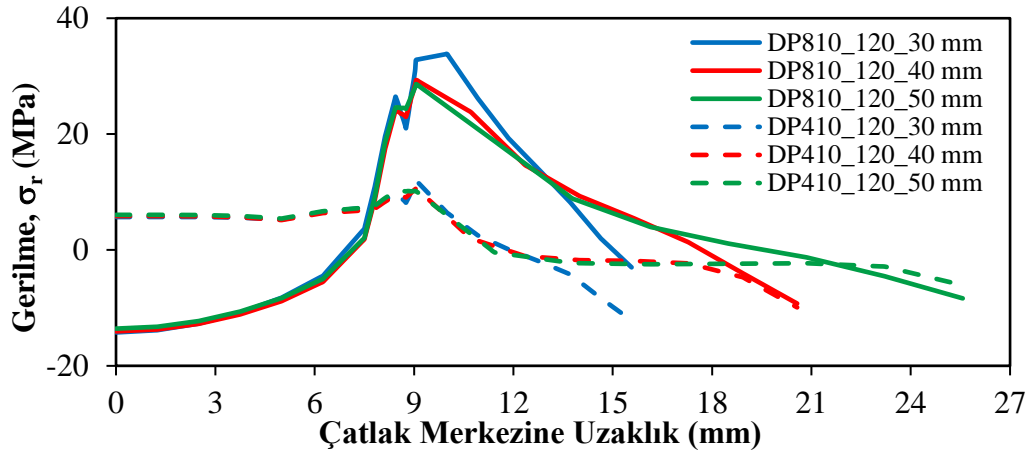
(d)

Şekil 4.5  $90^0$  bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_\theta$ , d)  $\sigma_z$

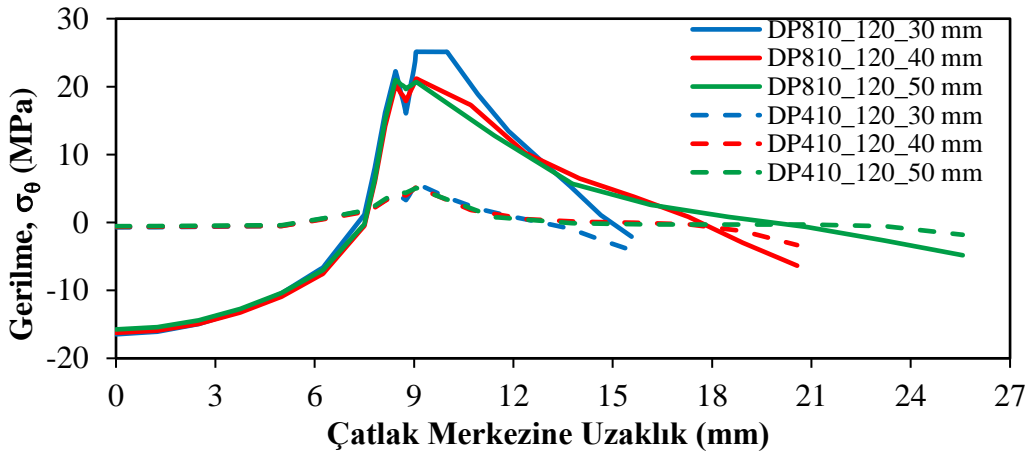
Analizler sonucu  $120^0$  bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda boyuna doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.6'da verilmiştir.



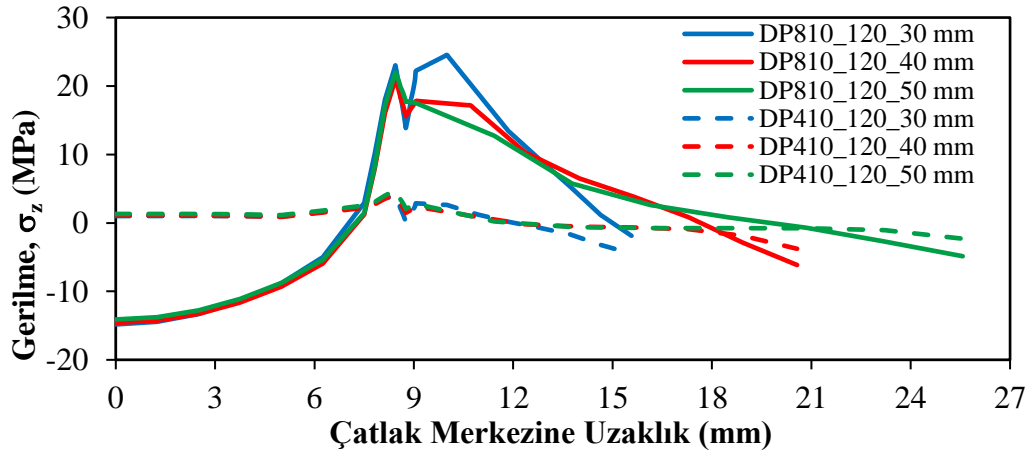
(a)



(b)



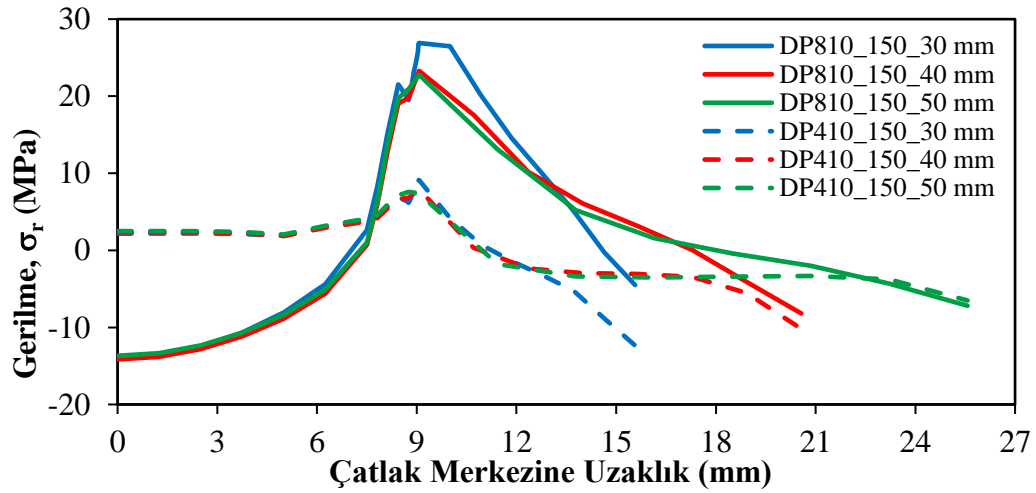
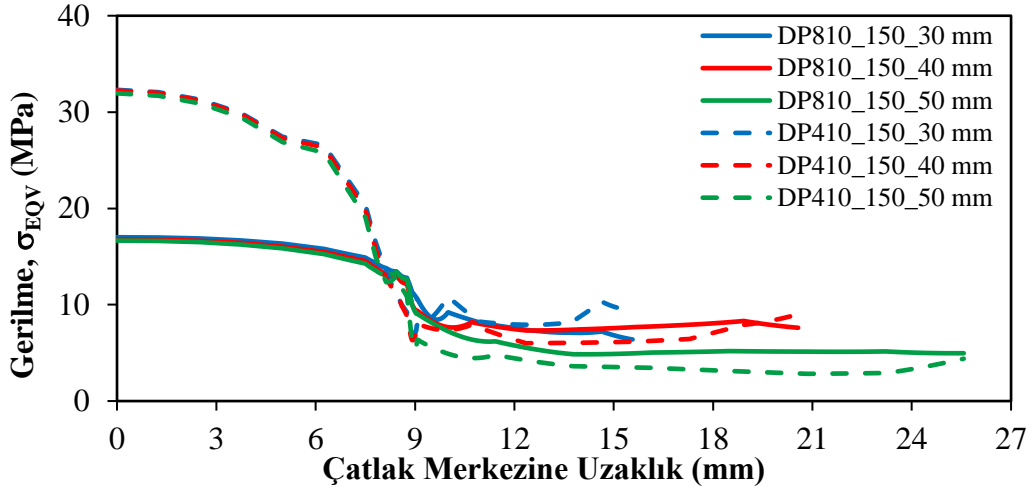
(c)

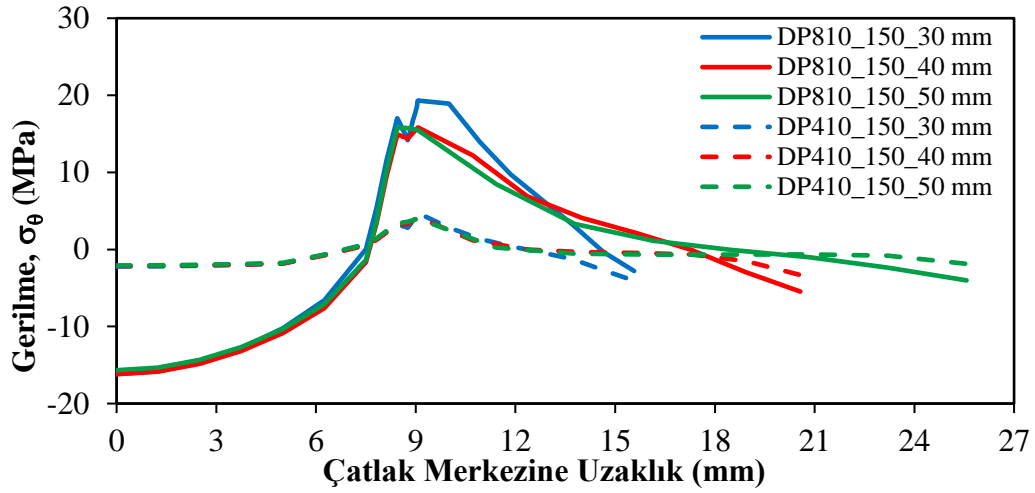


(d)

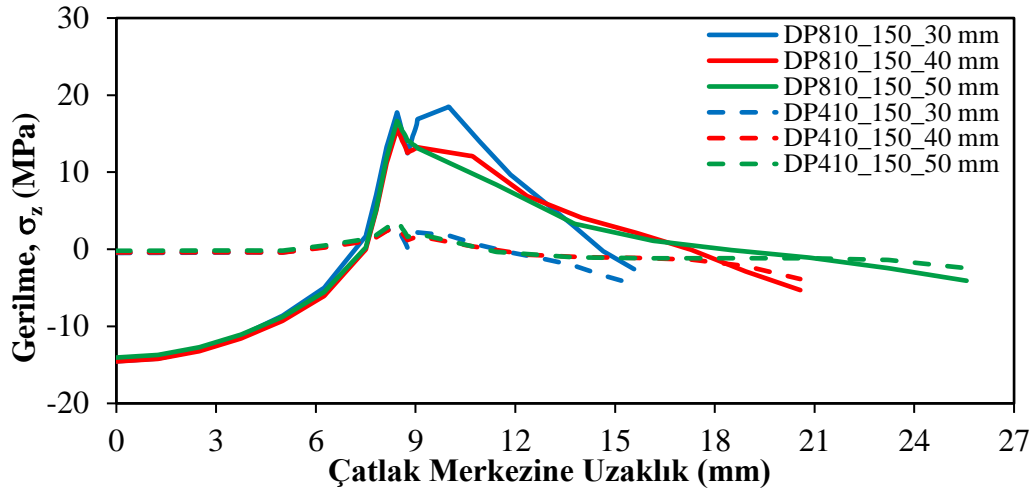
Şekil 4.6 120° bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapııştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_\theta$ , d)  $\sigma_z$

Analizler sonucu  $150^0$  bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda boyuna doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.7’de verilmiştir.





(c)



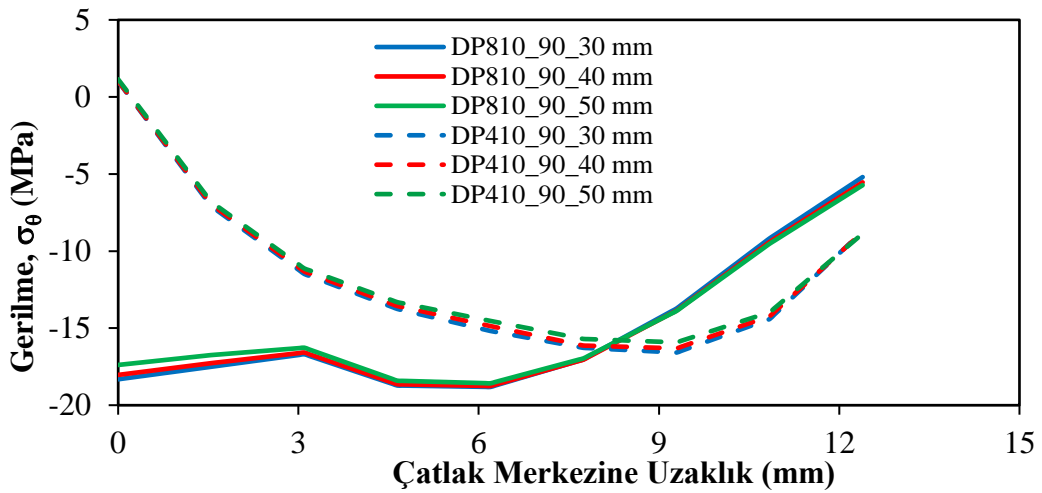
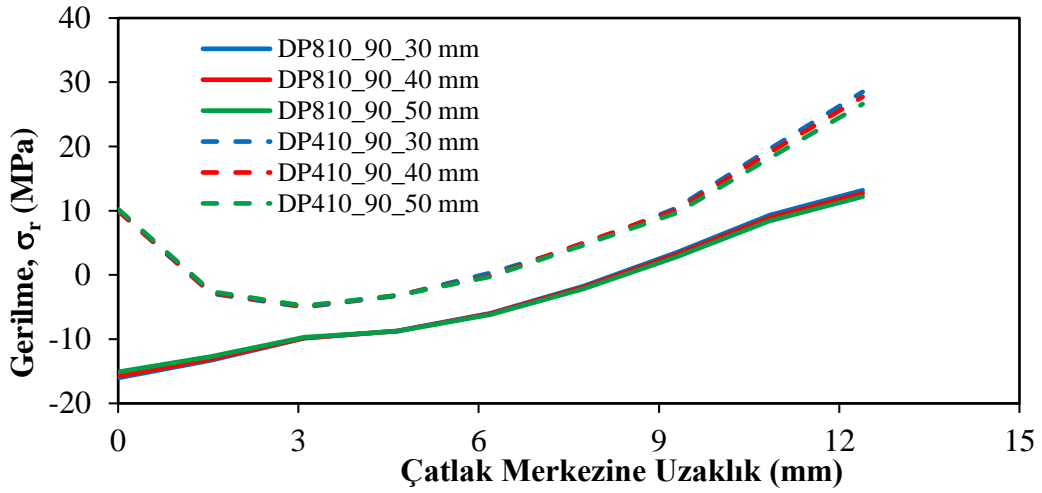
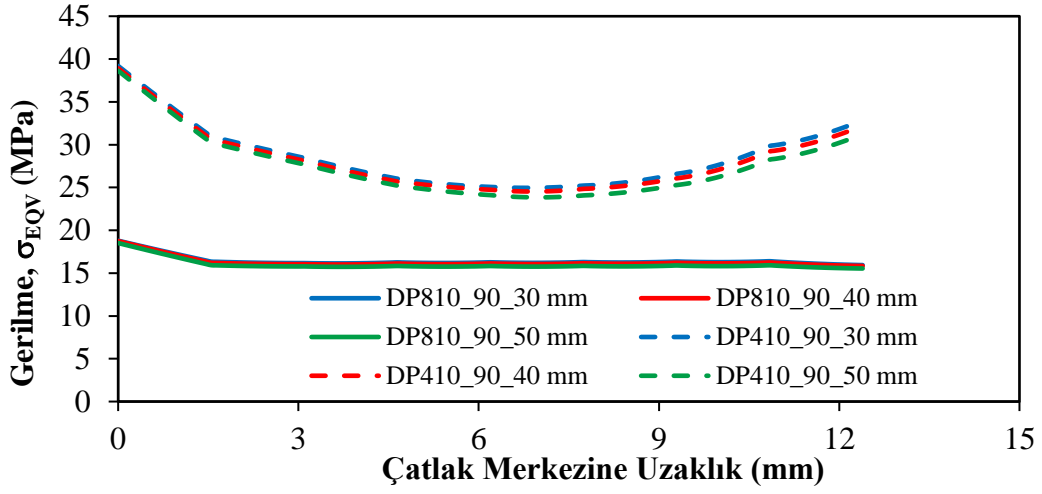
(d)

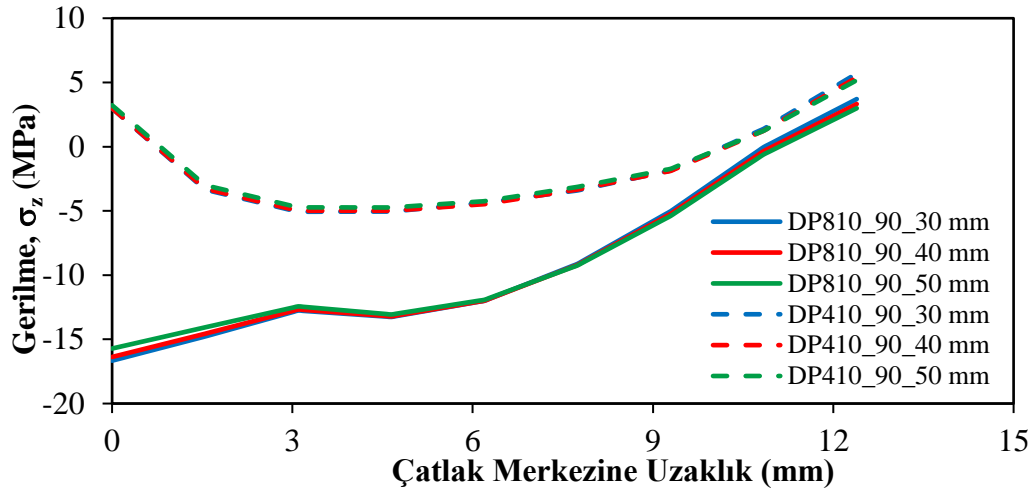
Şekil 4.7  $150^0$  bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_{\theta}$ , d)  $\sigma_z$

#### 4.1.1.2. Nümerik Analiz Sonuçları (Enine Doğrultuda)

Analizler sonucu  $90^0$  bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda enine doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_{\theta}$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.8'de verilmiştir.



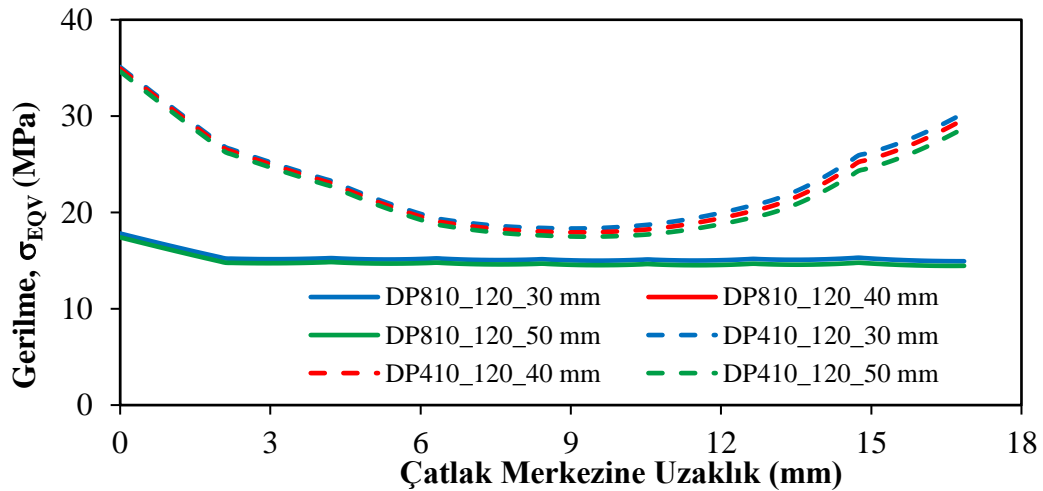




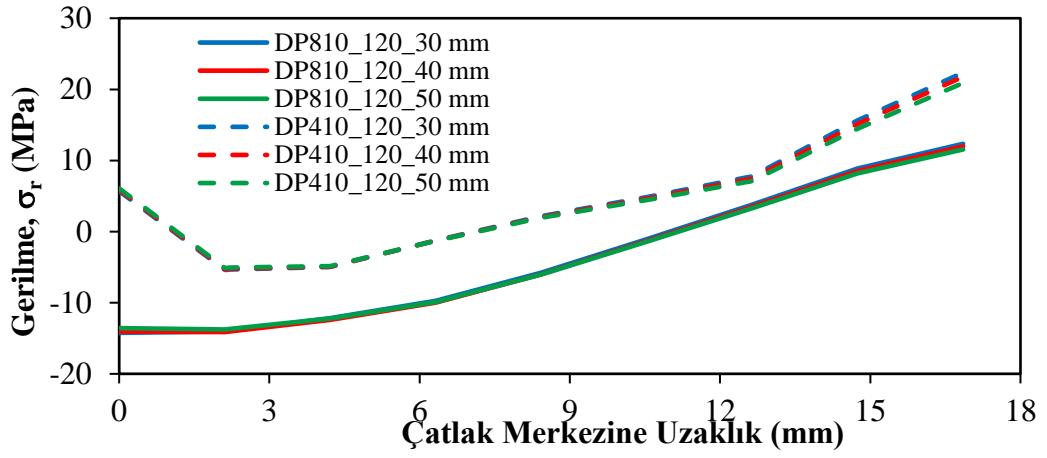
(d)

Şekil 4.8 90<sup>0</sup> bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_\theta$ , d)  $\sigma_z$

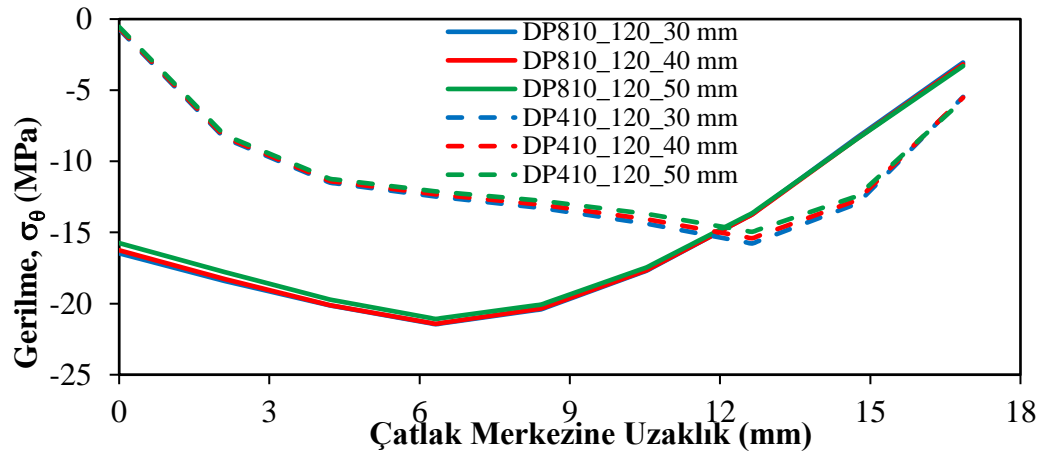
Analizler sonucu 120<sup>0</sup> bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda enine doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.9'da verilmiştir.



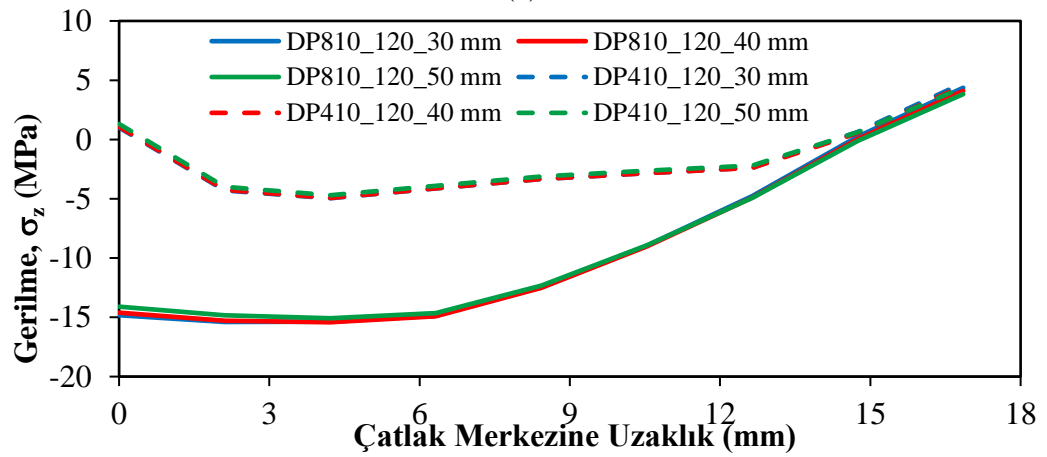
(a)



(b)



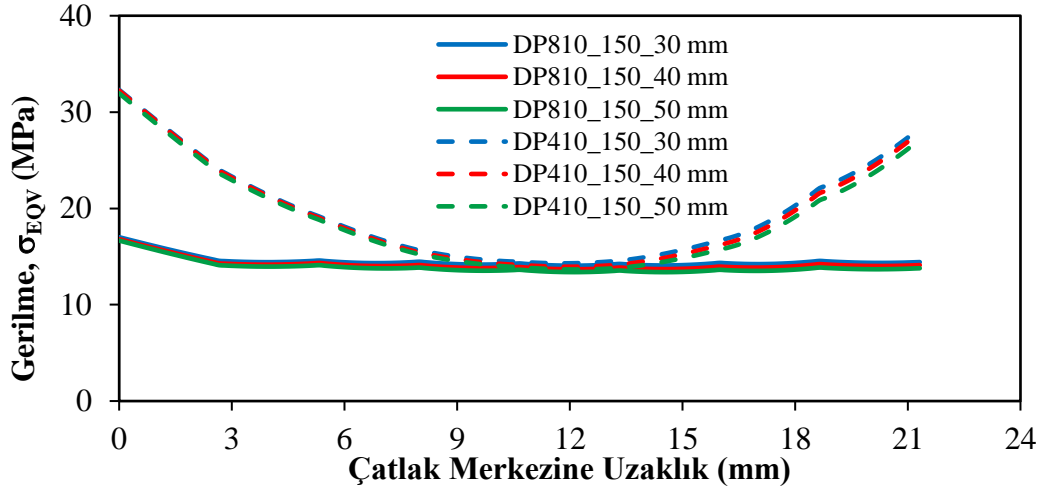
(c)



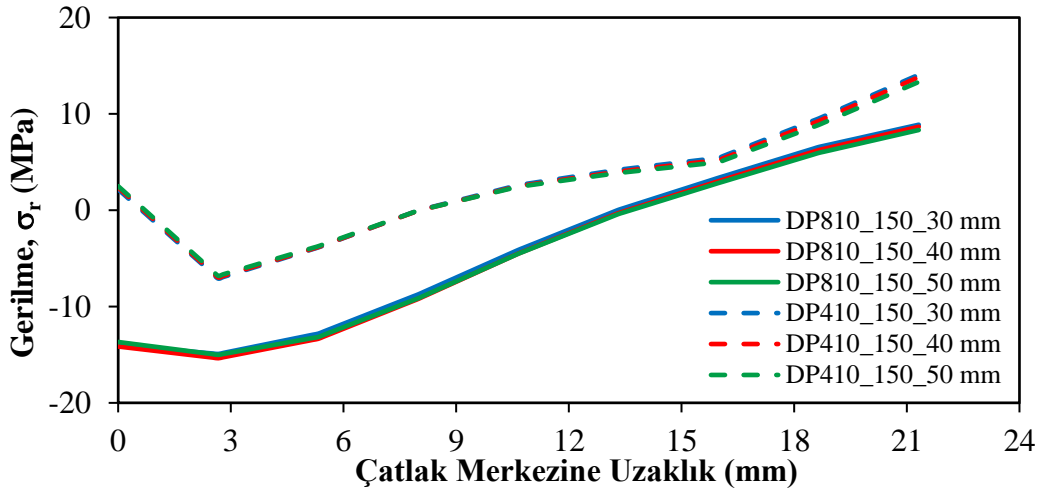
(d)

Şekil 4.9  $120^0$  bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_\theta$ , d)  $\sigma_z$

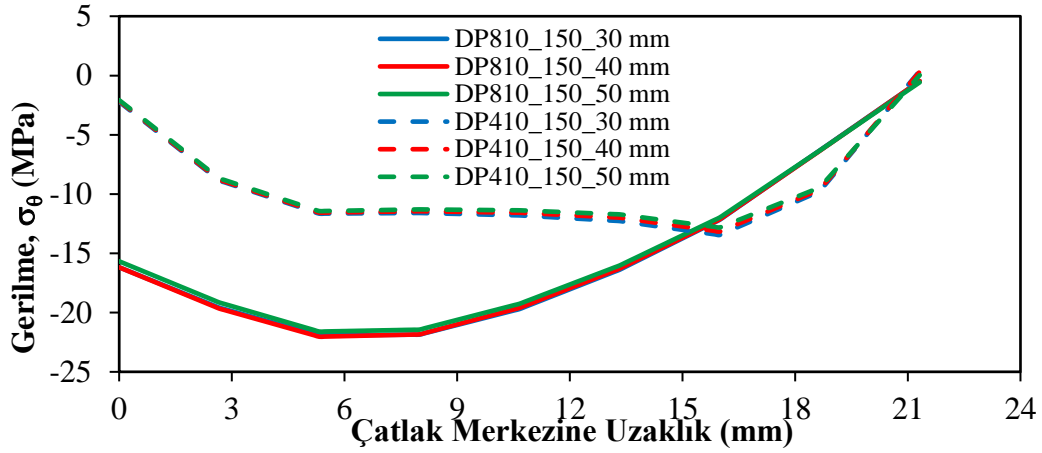
Analizler sonucu  $150^0$  bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda enine doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.10'da verilmiştir.



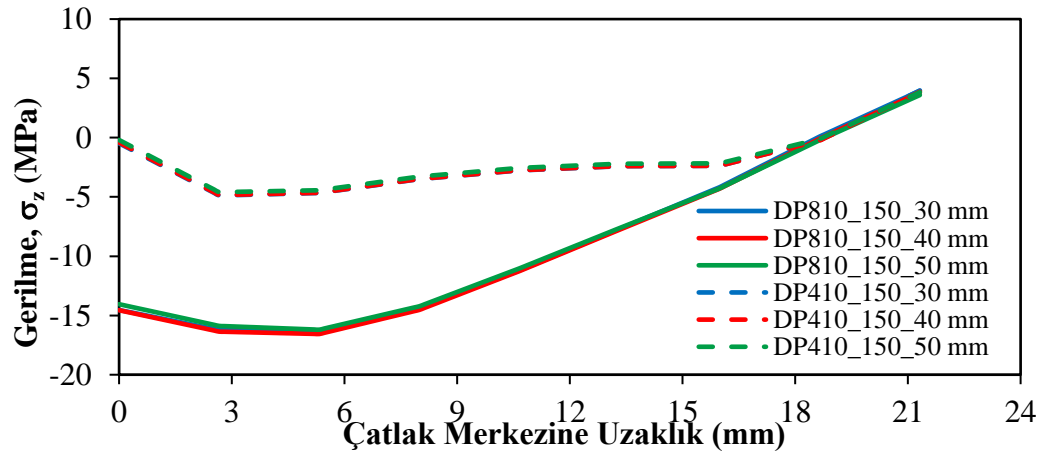
(a)



(b)



(c)



(d)

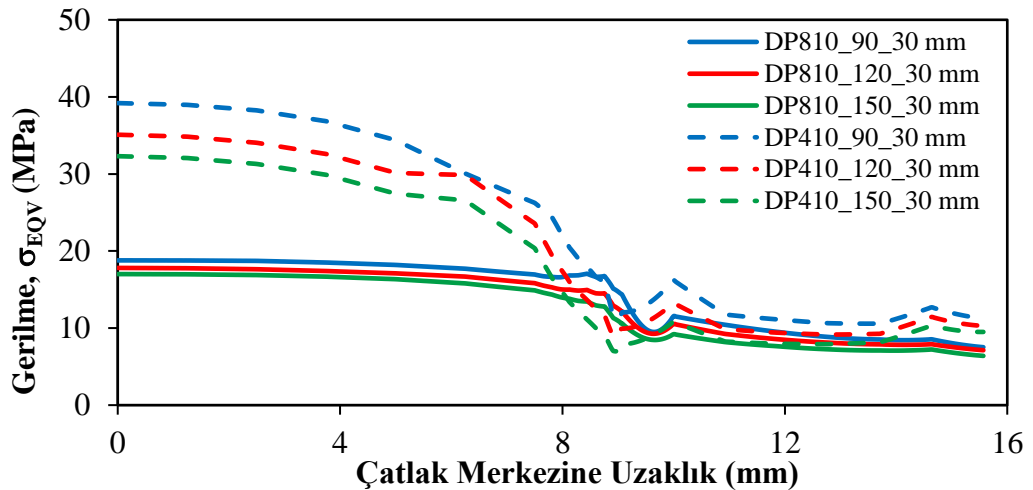
Şekil 4.10 150° bindirme açısı için 30, 40, 50 mm bindirme uzunluğundaki yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_\theta$ , d)  $\sigma_z$

Yapıştırıcılar açısından incelendiğinde DP410'daki gerilmelerin DP810'daki gerilmelerden daha büyük olduğu yani DP810'nun taşıdığı hasar yükünün daha fazla olduğu görülmüştür. İç basınç etkisi altındaki borular aksenal yönde az, radyal ve teğetsel yönlerde daha çok şekil değiştirirler. Grafikler incelendiğinde 30, 40, 50 mm bindirme uzunlukları karşılaştırılınca, iç basınçta fazla bir artışın olmadığı görülmektedir. Bir başka deyişle bindirme boyu arttıkça yapıştırıcıdaki gerilme değerlerinin çok az azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni bindirme uzunluğu arttıkça yapıştırıcı alanı artmakta ve gerilmeler düşmektedir. Elde edilen değerlere göre bindirme uzunluğunun pek etkisinin olmadığı görülmüştür.

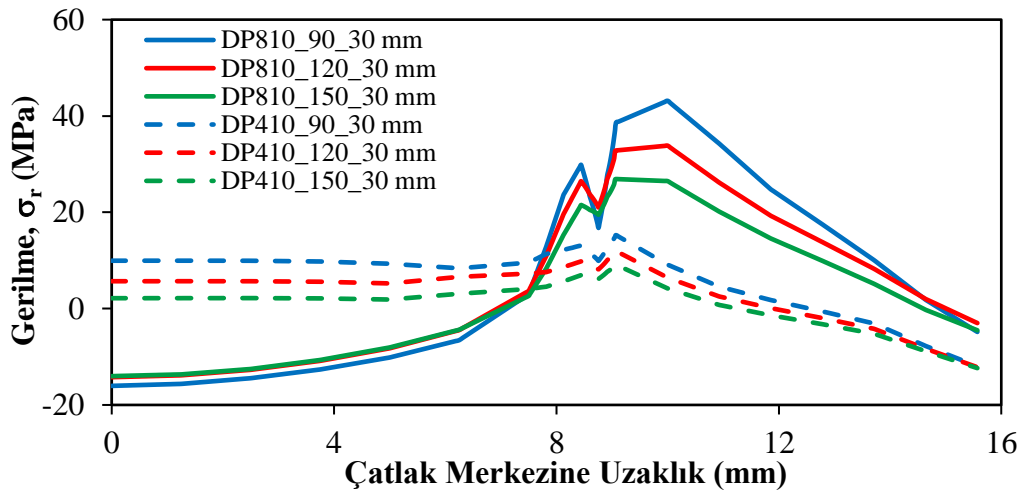
#### 4.1.2. Nümerik Analizler Yardımıyla Yama Bindirme Açısının Etkisinin Araştırılması

##### 4.1.2.1. Nümerik Analiz Sonuçları (Boyuna Doğrultuda)

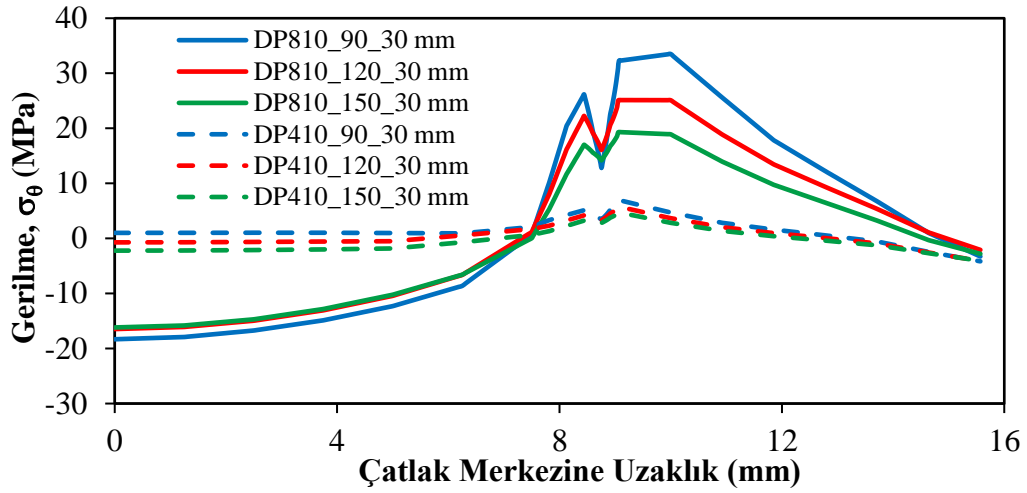
Analizler sonucu 30 mm yama uzunluğu ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  bindirme açılarında yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda boyuna doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.11'de verilmiştir.



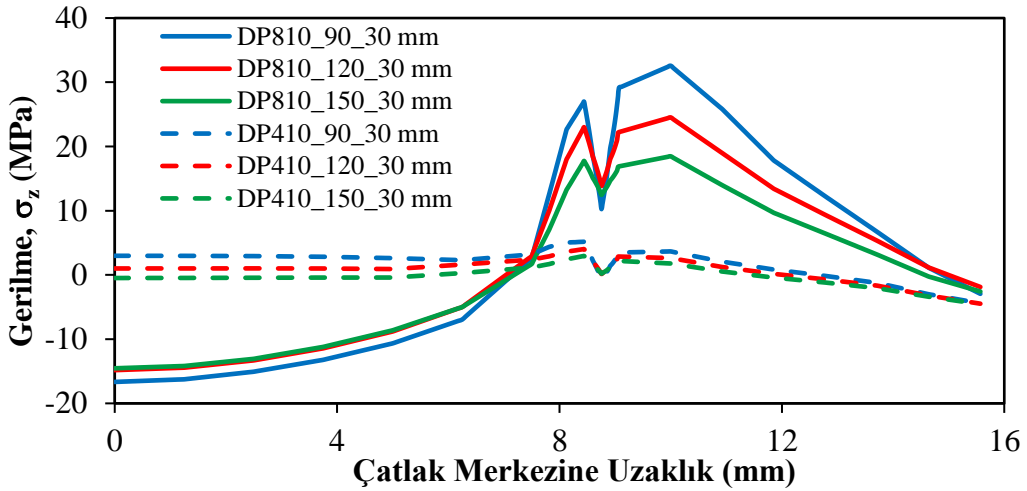
(a)



(b)



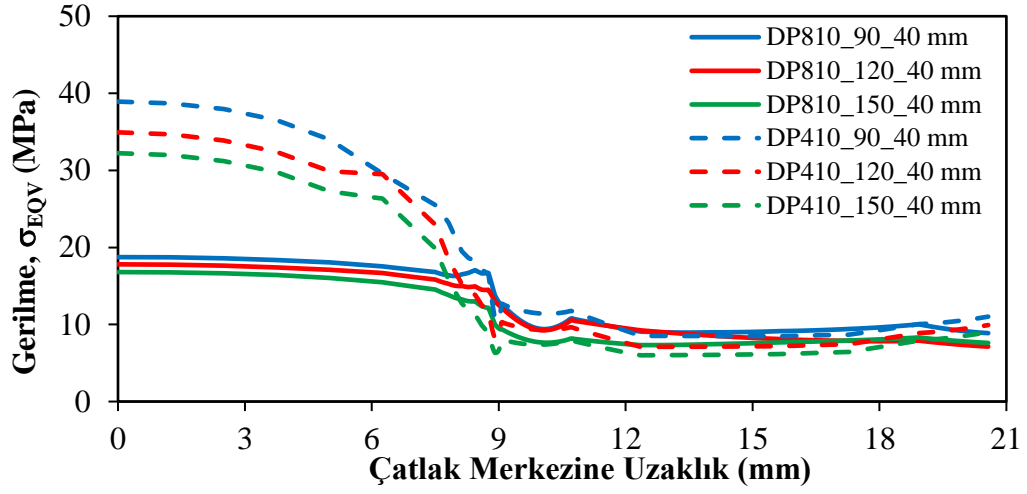
(c)



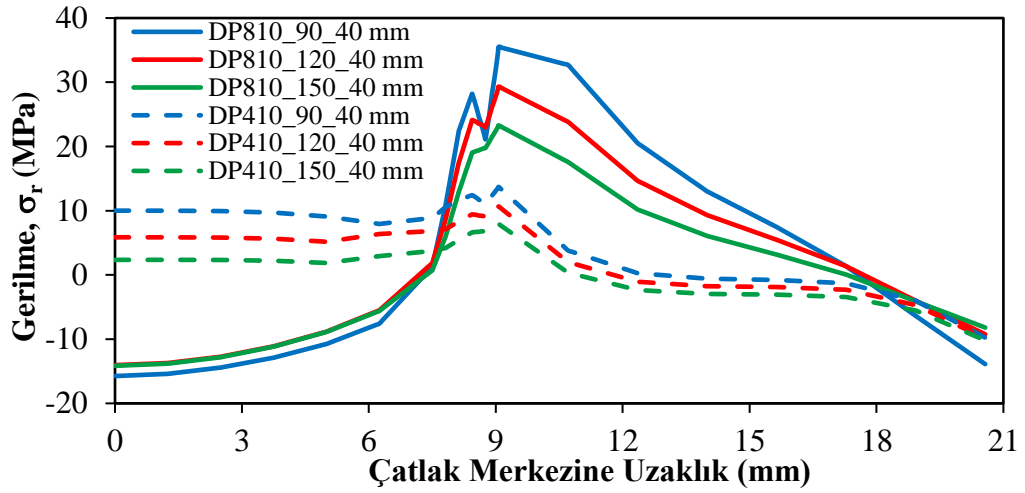
(d)

Şekil 4.11 30 mm yama uzunluğu ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_\theta$ , d)  $\sigma_z$

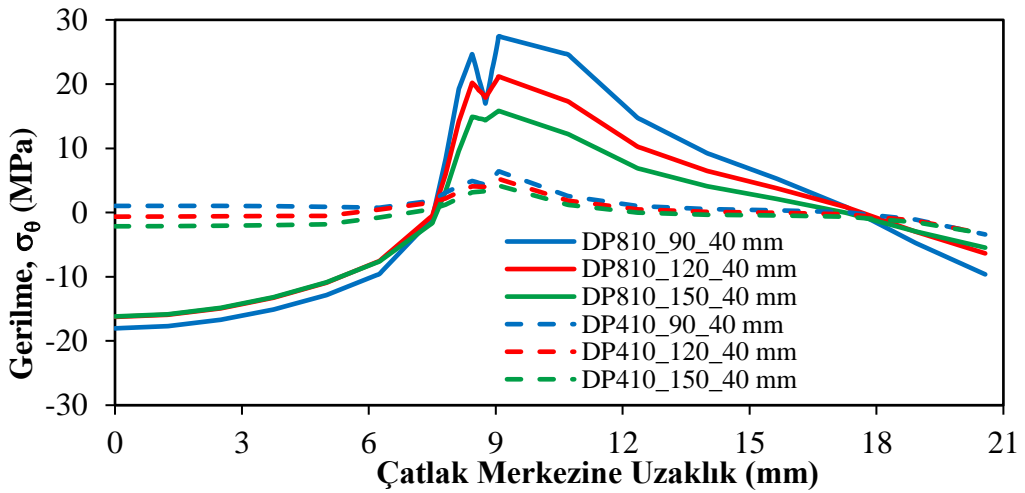
Analizler sonucu 40 mm yama uzunluğu ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  bindirme açılarında yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda boyuna doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.12’de verilmiştir.



(a)

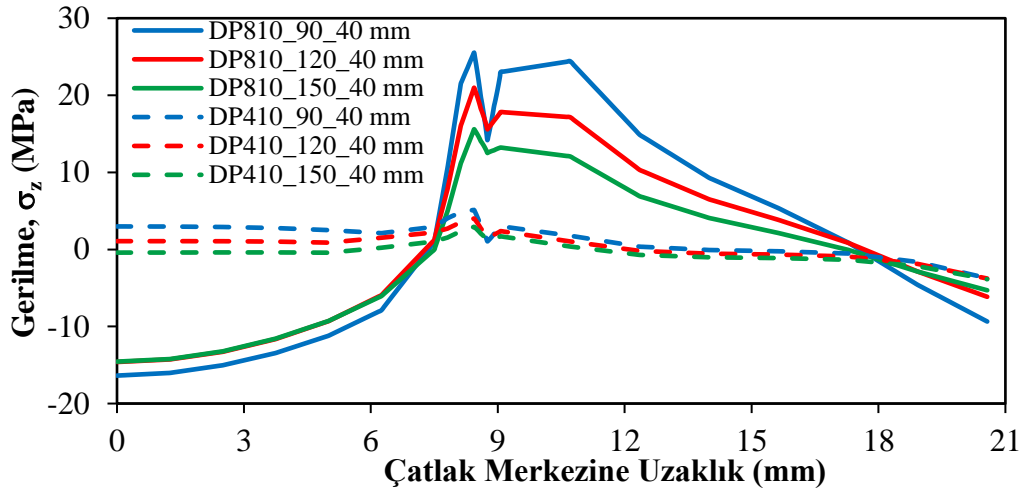


(b)



(c)

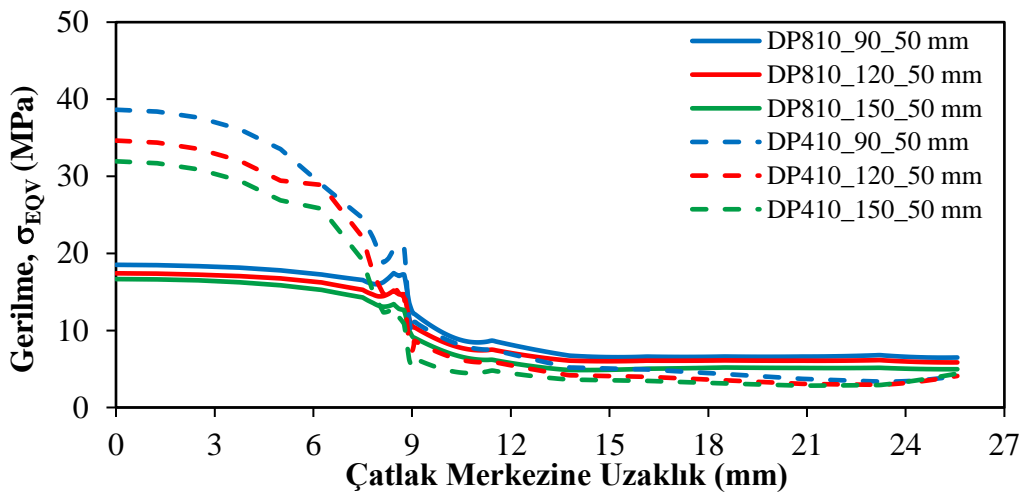




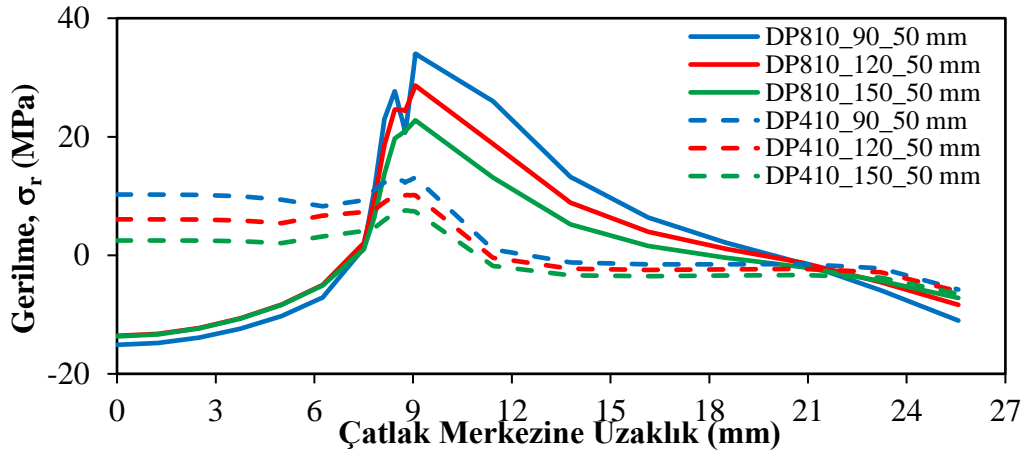
(d)

Şekil 4.12 40 mm yama uzunluğu ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_\theta$ , d)  $\sigma_z$

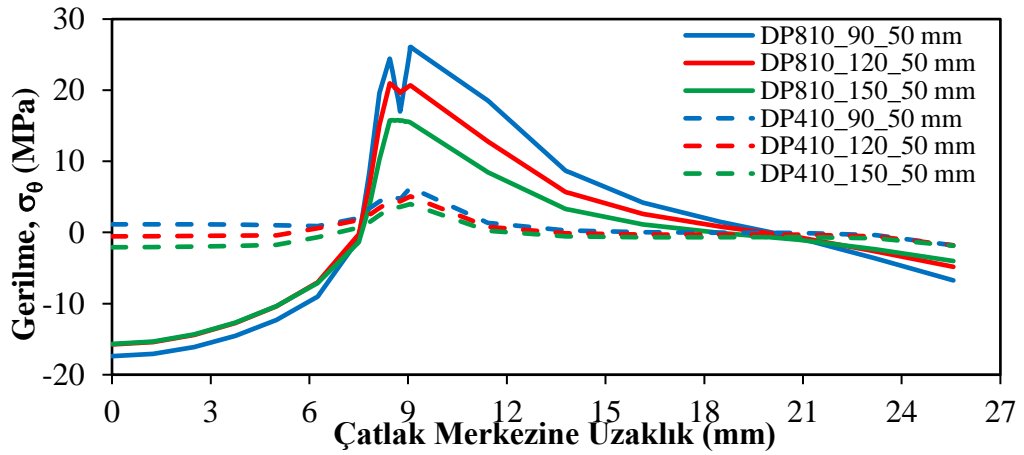
Analizler sonucu 50 mm yama uzunluğu ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  bindirme açılarında yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda boyuna doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.13'te verilmiştir.



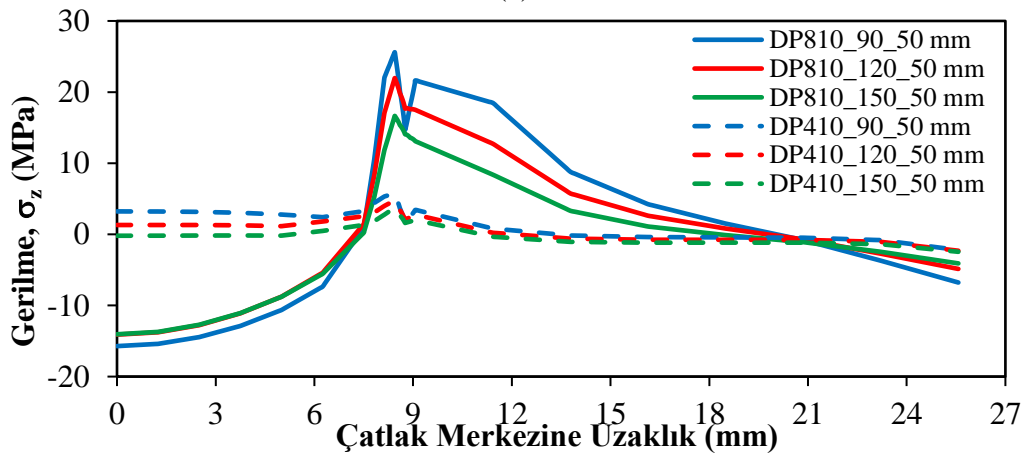
(a)



(b)



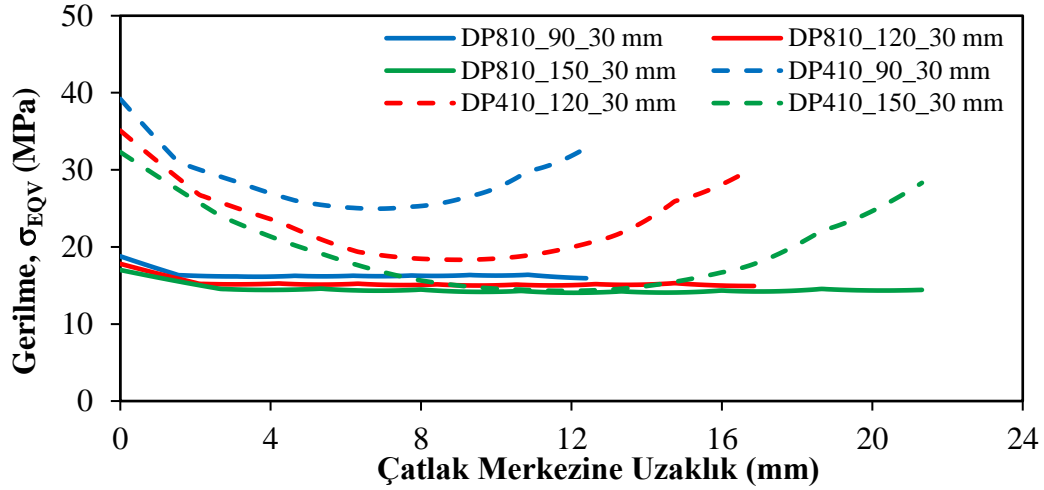
(c)



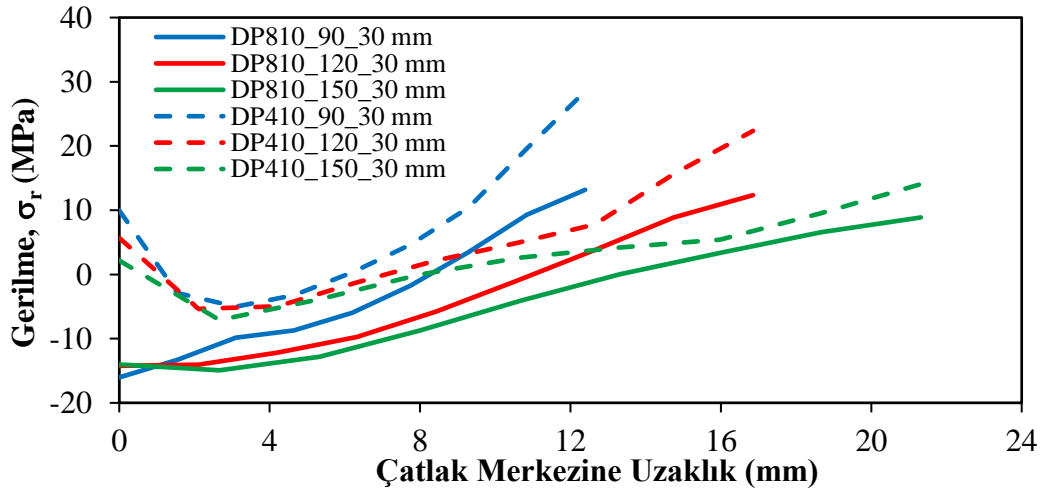
(d)

Şekil 4.13 50 mm yama uzunluğu ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının boyuna doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_\theta$ , d)  $\sigma_z$

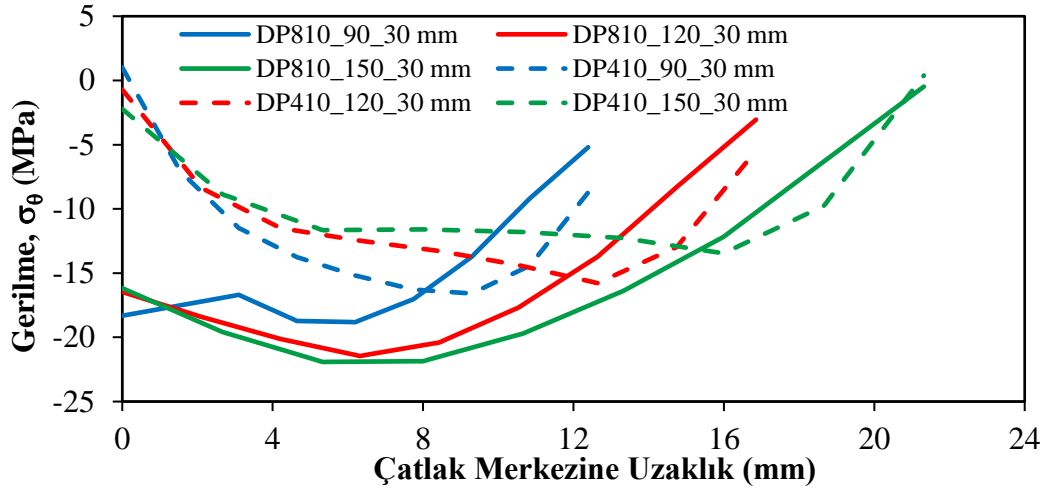
Analizler sonucu 30 mm yama uzunluğu ve 90° 120°, 150° bindirme açılarında yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda enine doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.14'te verilmiştir.



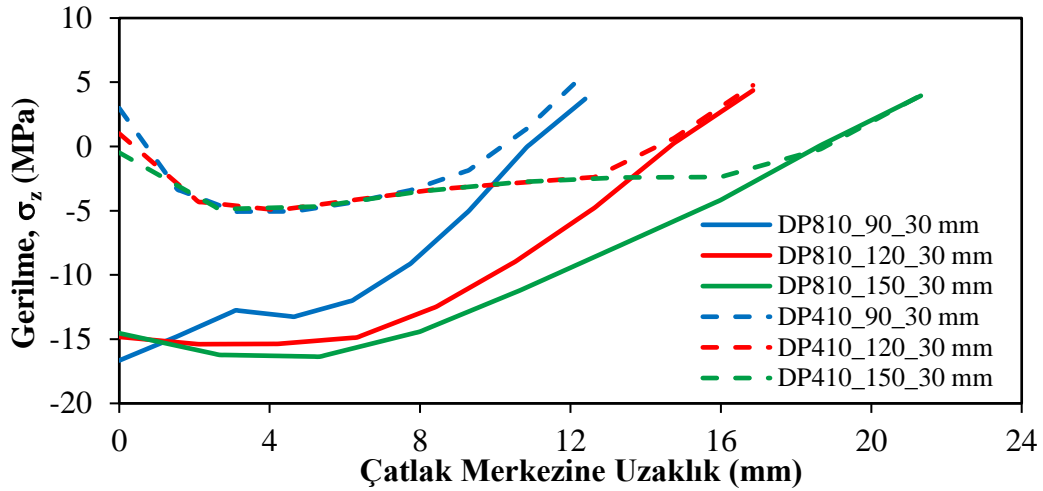
(a)



(b)



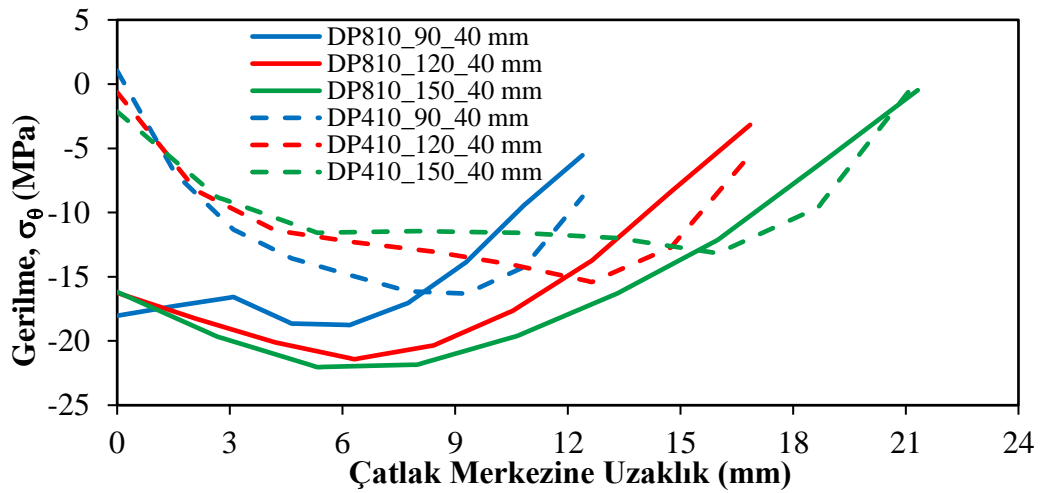
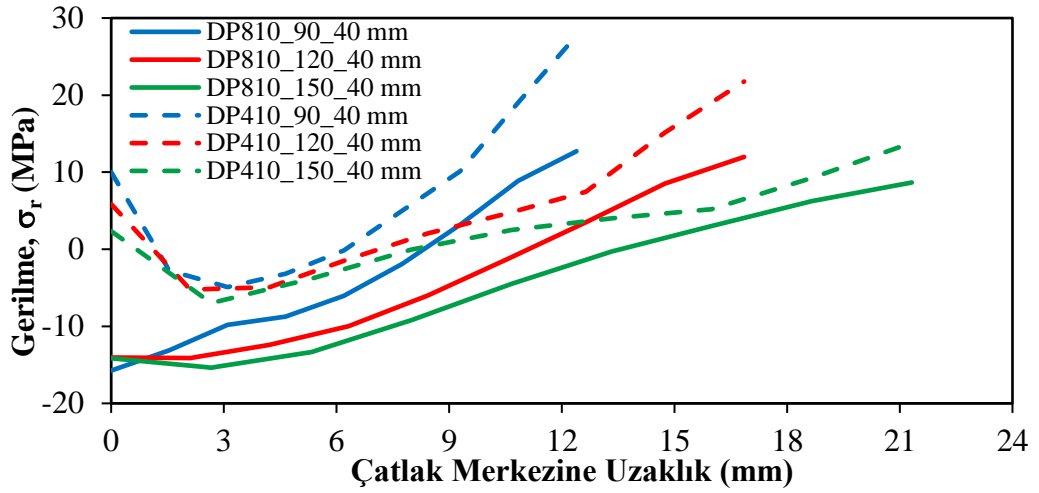
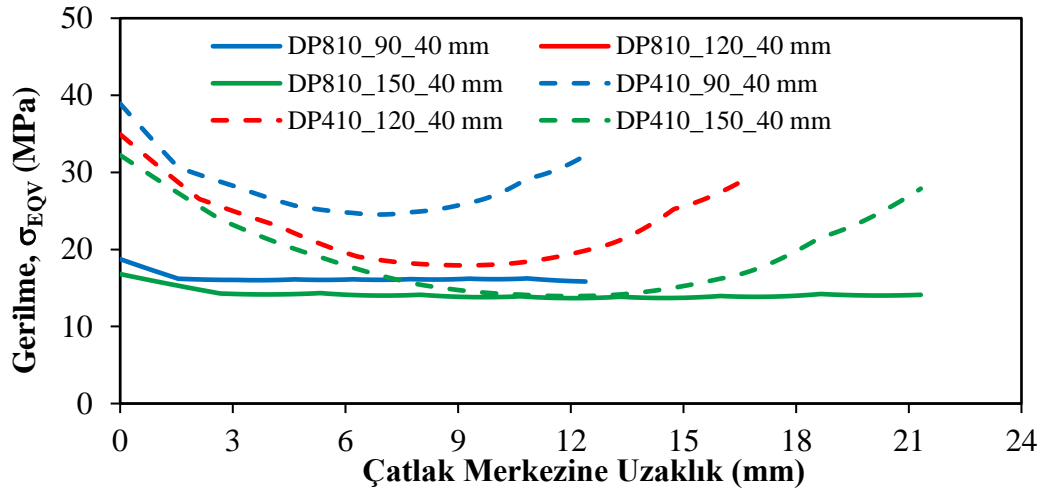
(c)

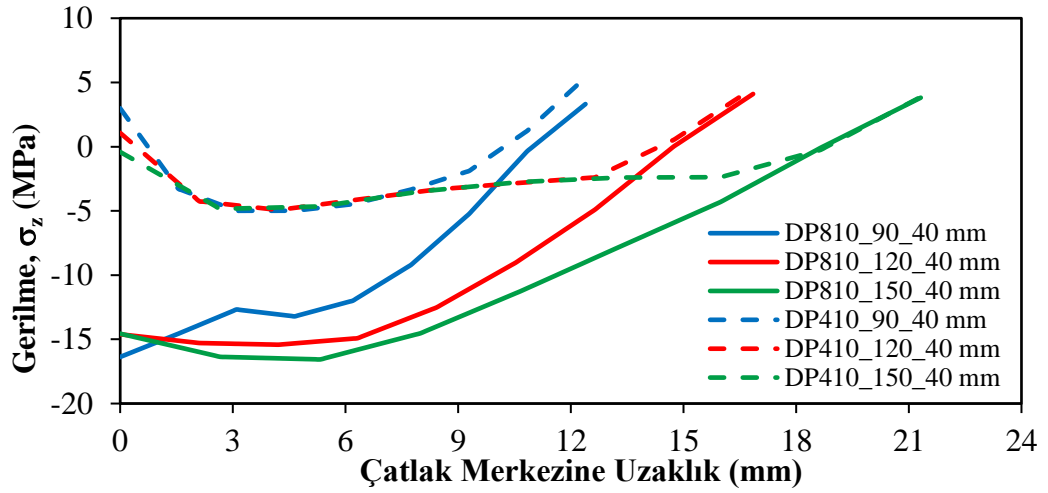


(d)

Şekil 4.14 30 mm yama uzunluğu ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_\theta$ , d)  $\sigma_z$

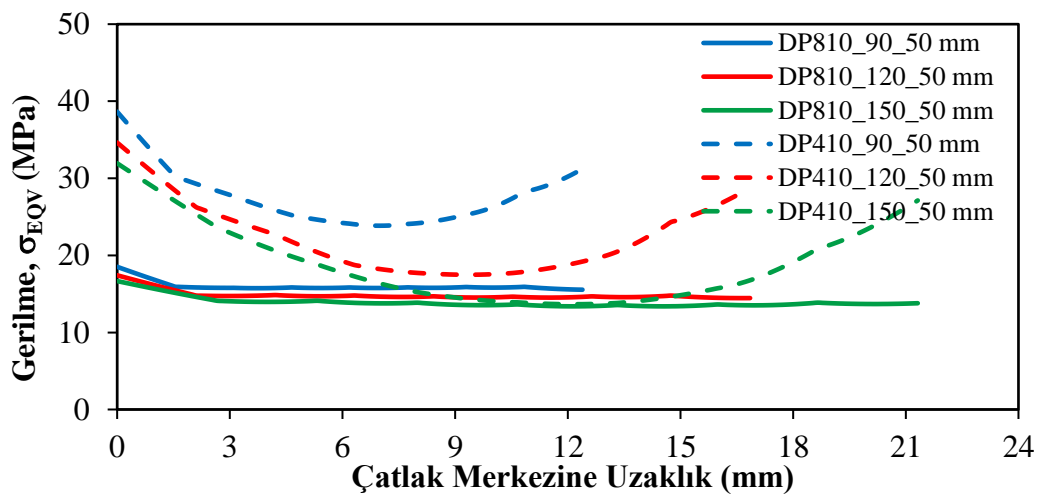
Analizler sonucu 40 mm yama uzunluğu ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  bindirme açılarında yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda enine doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.15'te verilmiştir.

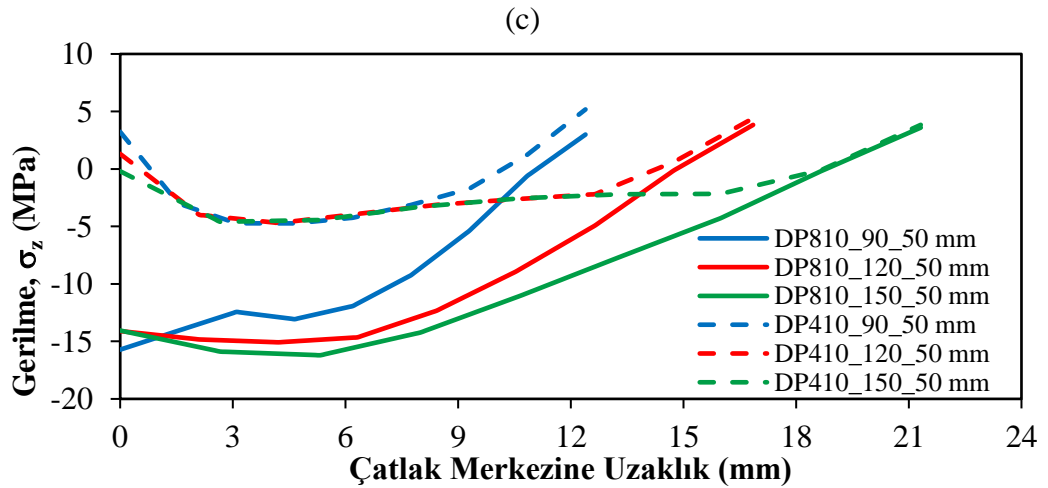
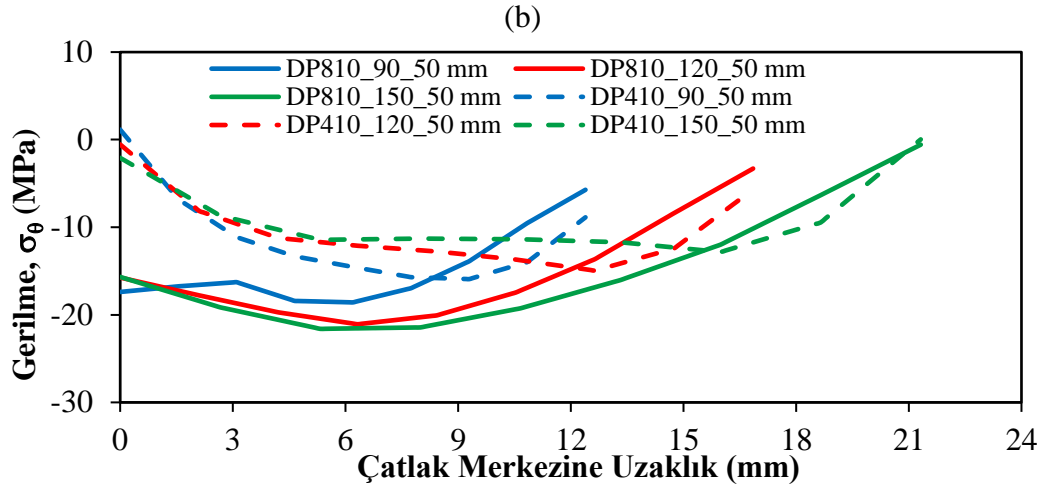
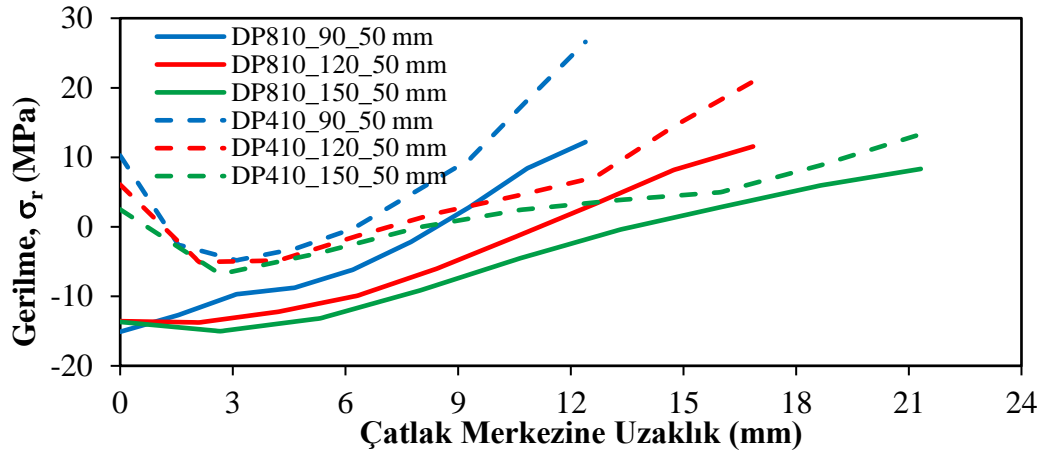




Şekil 4.15 40 mm yama uzunluğu ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_\theta$ , d)  $\sigma_z$

Analizler sonucu 50 mm yama uzunluğu ve  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$  bindirme açılarında yapılan tamir sonucu DP410 ve DP810 yapıştırıcılarda enine doğrultuda elde edilen  $\sigma_{eqv}$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$  gerilmelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.16'da verilmiştir.





Şekil 4.16 50 mm yama uzunluğu ve  $90^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ ,  $150^{\circ}$  bindirme açılarında yamalarla oluşturulan yapıştırma bağlantısının enine doğrultuda oluşan gerilme dağılımları, a)  $\sigma_{eqv}$ , b)  $\sigma_r$ , c)  $\sigma_{\theta}$ , d)  $\sigma_z$

Yapıştırıcılar açısından grafikler incelendiğinde DP410'daki gerilmelerin DP810'daki gerilmelerden daha büyük olduğu yani DP810'nun taşıdığı hasar yükünün daha fazla olduğu görülmüştür. İç basınç etkisi altındaki borular aksenal yönde az, radyal ve teğetsel yönlerde daha çok şekil değiştirirler. Grafikler incelendiğinde 90<sup>0</sup> 120<sup>0</sup>, 150<sup>0</sup> bindirme açıları karşılaştırılınca, bindirme açısı arttırıldıkça taşınabilen hasar yükü değerinde önemli bir artış görülmekte ve yapıştırıcılardaki gerilmeler düşmektedir. Bunun nedeni bindirme açısı arttıkça yapıştırıcı alanı ve yapıştırılan yüzey alanında fazla artış olmasıdır.



**5. SONUÇLAR**

Boru sistemlerinde kullanılan borular imalat kusurları ve dış yüklerin etkisi sonucu boru hasara uğramaktadırlar. Hasara uğramış borular tamir edilmekte yada yenisi ile değiştirilmektedir. Tamir ve değişim işlemleri boru sistemlerinde ek yükler (artık gerilme) ve maliyet artışlarına neden olabilmektedir. Yapılan bu araştırmamızda galvanizli çelik boru- çelik yama bağlantılarında Epoksi esaslı DP410 ve Akrilik esaslı DP810 yapısal yapıştırıcı kullanılarak yapıştırıcıların performansları karşılaştırılmış ve uygun bindirme açıları ile bindirme uzunluklarının boru patlama basınçları üzerindeki etkisi nümerik ve deneysel olarak irdelenmiştir. Nümerik analiz ve deneysel değerlerin örtüştüğü görülmüştür.

- DP410 apıştırıcının maximum hasar yükü 34 MPa'dır.
- DP810 apıştırıcının maximum hasar yükü 69 MPa'dır.
- Akrilik esaslı DP810 Epoksi esaslı DP410'na göre daha fazla hasar yükü çekmektedir.
- Akrilik esaslı DP810 yapıştırıcı Epoksi esaslı DP410 yapıştırıcıya göre daha sünek davranış göstermektedir.
- Yapılan analizler neticesinde bindirme uzunluğunun boru hasar yükü üzerine etkisi incelendiğinde; bindirme uzunluğunun arttırılması sonucunda yapıştırma yüzey alanı artmakla birlikte boru hasar yükündeki artışın çok fazla etkilenmediği görülmüştür.
- Yama bindirme açısının boru hasar yükü üzerine etkisi incelendiğinde; bindirme açısının arttırılması sonucunda yama ve yapıştırıcı yüzey alanı arttırıldığından boru hasar yükü artışının daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bindirme açılarının arttırılması sonucunda yapıştırıcıda oluşan gerilmelerin büyük oranda azaldığı görülmüştür.

Bu tez çalışması boyunca yapılan deneysel ve nümerik çalışmalar sonucunda iç basınç etkisi altında kullanılan boruların tamirinde akrilik yapıştırıcıların daha fazla basınca dayandığı, bindirme boyundan ziyade bindirme açısının çok daha önemli

olduğu ve bindirme açısının mümkün olduğu kadar yüksek tutulması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Yapıştırma bağlantılarının mukavemetinin; yapıştırıcı özellikleri ve yamaların geometrik boyutları gibi faktörlerden etkilendiği belirlenmiş ve bu faktörlerin bağlantı mukavemetine etkileri irdelenmiştir. Boru hatlarındaki hasarların yapısal yapıştırıcılar kullanılarak yamalarla tamirinin işçilik, zaman ve ekonomik açıdan uygun olduğu ortaya çıkmaktadır.

**KAYNAKLAR**

- [1] P. Yayla, *Kırılma Mekaniği*, İstanbul: Çağlayan, 2007.
- [2] O. Volkersen, “Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten”, *Luftfahrtforschung*, vol. 15, pp. 41-47, 1938.
- [3] M. Goland ve E. Reissner, “The Stresses in Cemented Joints”, *Journal of Applied Mechanics*, vol. 11, pp. 59-45, 1944.
- [4] M.D. Aydın, “Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısının mekanik özelliklerinin deneysel ve teorik incelenmesi”, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, 2003.
- [5] A.D Crocombe, “Modelling and predicting the effects of test speed on the strength of joints made with FM73 adhesive” *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol.15, pp. 21-27, 1995.
- [6] X. Liu ve G. Wang, “Progressive Failure Analysis of Bonded Composite Repairs” *Composite Structures*. vol. 81, pp, 331-340,2007.
- [7] S. Temiz, S. Akpınar, M.D Aydın ve E.Sancaktar, “Increasing Single Lap Joint Strength by Adherend Curvature-Induced Residual Stresses”, *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol.27, pp. 244-251, 2013.
- [8] S. Fawzia, R. Al-Mahaidi ve X.L. Zhao, “Experimental and finite element analysis of a double strap joint between steel plates and normal modulus CFRP”, *Composite Structures*, vol.75, pp. 156–162, 2006.
- [9] R.A. Kline, “Stress Analysis of Adhesively Bonded Joints”, *Proceedint of the International Symposium on Adhesive Joints*, H,Kansas City, pp.587-610, 1982.
- [10] L.Kodakoğlu, “Yapıştırıcıların genel özellikleri ve çekme gerilmesine maruz yapışma birleşmesinin analitik ve nümerik olarak incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1996.
- [11] A. Engin, “Yapıştırıcılarla birleştirilmiş çift bindirmeli ankastre bağlantıların sonlu elemanlar metodu ile geometrik bakımdan lineer ve lineer olmayan analizi”, Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, 1997.
- [12] T. Şekercioğlu, “Yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarının incelenmesi”, Doktora tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2001.
- [13] Ş. Çitil, Y. Ayaz, Ş. Temiz ve M.D. Aydın, “Mechanical behaviour of adhesively repaired pipes subject to internal pressure” *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol.75, pp.88-95, 2017.

- [14] J.M. Lees, “ Behavior of GFRP adhesive pipe joints subjected to pressure and axial loadings” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 37, pp. 1171–1179, 2006.
- [15] M. Akyurt ve N. Türkmen, “Harnessing the energy accompanying freezing” *Energy Conversion and Management*, vol.52, pp. 2241–2246, 2011.
- [16] GP. Zou ve F. Taheri, “Stress analysis of adhesively bonded sandwich pipe joints subjected to torsional loading”. *International Journal of Solids and Structures*, vol.43(20), pp. 5953-5968, 2006.
- [17] C. Liu, J.X. Zhang ve C.B. Xue, “Numerical investigation on residual stress distribution and evolution during multipass narrow gap welding of thick-walled stainless steel pipes” *Fusion Engineering and Design* vol.86, pp. 288–295, 2011.
- [18] S. Kumar, “Analysis of tubular adhesive joints with a functionally modulus graded bondline subjected to axial loads”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol.8, pp. 785–795, 2009.
- [19] K. Matsui, “Size-effects on average ultimate shear stresses of adhesive-bonded rectangular or tubular lap joints under tension-shear”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol.10/ 2, pp. 81–89,1990.
- [20] G.Tek, “Tek ve Çift Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında Gerilme Analizi”, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, 2011.
- [21] P.D. Roberts, “ Crack growth retardation by carbon fibre composite patching: An application to steel pressure vessel repair”. MSc Thesis, Alberta Üniversitesi, 1995.
- [22] V. Nagaswamy, D.S. Pipkins ve S.N. Atluri, “ An FEAM based methodology for analyzing composite patch repairs of metallic structures”. *Struct Integrity Aging Aircraft, ASME;AD*-vol. 47, pp. 273-300, 1995.
- [23] A.C. Okafor, N. Singh, U.E. Enemuoh ve S.V. Rao, “Design, analysis and performance of adhesively bonded composite patch repair of cracked aluminum aircraft panels”. *Composite Structures*, vol. 71, pp. 258-270, 2005.
- [24] H. Hosseini-Toudeshky ve B. Mohammadi, “A simple method to calculate the crack growth life of adhesively repaired aluminum panels”. *Composite Structures*, vol. 79, pp. 234-241. 2007.
- [25] W.Y. Lee ve J.J. Lee, “Successive 3D FE analysis technique for characterization of fatigue crack growth behavior in composite-repaired aluminum plate”. *Composite Structures*, vol.66, pp. 513-520, 2004.
- [26] R.D.S.G Campilho, M.D.Banea, A.M.G Pinto, L.F.M da Silva ve A.M.P. de Jesus, “Strength prediction of single and double-lap joints by standard and

extended finite element modelling”, *Int. J. Adhesion and Adhesive*, vol.31, pp. 363-372, 2011.

[27]S.K. Mazumdar, “*Composites manufacturing materials, Product and Process Engineering*”, CRC Press, United States of America, 2002.

**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Zeynal TUZCU  
Doğum Yeri : Adıyaman  
Doğum Tarihi : 12.01.1977  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : ztuzcu@adiyaman.edu.tr

**Eğitim Durumu**

<b>Derece</b>	<b>Alan</b>	<b>Üniversite</b>	<b>Mezuniyet Yılı</b>
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Adıyaman Üniversitesi	2018
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2000
Lise	Adıyaman Lisesi		1994

**Yayımlar**