

## BURULMAYA MARUZ ALIN EĞRİSEL BORU BİNDİRME BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

### INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF PIPES WITH BUTT CURVED LAP JOINTS SUBJECTED TO TORSION

Cüneyt YETKİN 

DSİ 203. Şube Müdürlüğü, Adıyaman, TÜRKİYE

Doç. Dr. Şerif ÇİTİL 

Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman,  
TÜRKİYE

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan KAYA 

Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman,  
TÜRKİYE

*Geliş Tarihi / Received: 19.10.2021*  
*Kabul Tarihi / Accepted: 22.11.2021*

*Araştırma Makalesi/Research Article*  
*DOI: 10.38065/euroasiaorg.797*

#### ÖZET

Bu çalışmada akrilik yapısal yapıştırıcı ile birleştirilmiş çelik boru bağlantılarında, farklı bindirme uzunlukları ve eğrisel yarıçapları göz önünde bulundurularak burulma altındaki mekanik özellikleri incelenmiştir. Bunun için  $\text{ØD} = 21.3$  mm dış,  $\text{Ød} = 15.9$  mm iç çaplı St-37 galvanizli çelik borular erkek ve dişi şeklinde 8, 10, 12 mm bindirme uzunluğunda ve alın bölgelerine 30, 40 ve 50 mm eğrisel yarıçaplar oluşturularak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Oluşturulan modellerin nümerik analizleri ANSYS Workbench programında gerçekleştirilmiş olup, nümerik analizlerinin doğrulanması için ise bindirme uzunluğu 10 mm olan numuneler CNC (Computer Numerik Control) tezgâhında hazırlanmıştır. Hazırlanan erkek ve dişi numuneler, nemli ortamlara dayanıklı, oda sıcaklığında kürleşebilen akrilik esaslı DP810 yapısal yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş ve doğrulama deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonrası elde edilen nümerik ve deneysel veriler göstermiştir ki, aynı bindirme uzunluğunda fakat farklı eğrisel yarıçapında burulma momentine maruz boru bindirme bağlantılarının taşımış oldukları yük miktarında önemli ölçüde değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca bindirme uzunluğu arttıkça taşımış oldukları yük miktarının arttığı görülmüştür. Dahası, yapılan çalışmanın bindirme uzunluğu ve eğrimsellik yarıçaplarına göre gerilme analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Boru; Burulma, Yapısal yapıştırıcı; Eğrisel yüzeyli bağlantılar, ANSYS ile nümerik analiz

#### ABSTRACT

In this study, the mechanical properties of steel pipe joints bonded with an acrylic adhesive under torsion were investigated by considering different overlap lengths and curvilinear radii. For this purpose, St-37 galvanized steel pipes with  $\text{ØD} = 21.3$  mm outer and  $\text{Ød} = 15.9$  mm inner diameters were modeled in three dimensions by creating 8, 10, 12 mm overlapping lengths in male and female form and 30, 40 and 50 mm curvilinear radii on the forehead regions. Numerical analyzes of the created models were performed in the ANSYS Workbench program, and samples with an overlap length of 10 mm were prepared on the CNC (Computer Numerical Control) bench to verify the numerical analysis. The prepared male and female specimens were joined using an acrylic-based DP810 structural adhesive resistant to humid environments, curable at room temperature, and validation experiments were carried out. After the study, obtained numerical and experimental data showed that pipe lap joints subjected to torsional moment with the same lap length but different curvilinear radius have been observed to vary significantly in the amount of load they carry. In

addition, as the overlap length increased, the amount of load they carried increased. Also, in this study was compared by performing stress analyzes according to the overlap length and radii of curvature.

**Keywords:** Pipes, Torsion, Structural adhesives, Curvilinear surface lap joints, Finite elements

## 1. GİRİŞ

Yapısal yapıştırıcılar ile oluşturulan bindirme bağlantıları işçiliğin ve maliyetin azaltılması, yorulma direnci, korozyon dayanımı, farklı malzemelerin birleştirebilmesi, sızdırmazlık, düzgün gerilme dayanımı, hafifliği ve uygulamasının kolay olması gibi özelliklerinden ötürü sanayide kullanımı oldukça yaygındır. Yapıştırıcı uygulanan bölgenin geometrisi ve yükün uygulanma şekli yapıştırma bağlantısının mukavemeti üzerine büyük etkiye sahiptir. Çünkü yapıştırma bağlantıları soyulma gerilmelerine maruz kaldıklarında taşımış oldukları yük miktarını önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu sebepten dolayı yükün şekline bağlı olarak uygun geometri seçiminin araştırılması büyük önem arz etmektedir. Bu konuyla ilgili olarak Çitil ve Bozkurt (2017) iç basınca maruz eğrisel yüzeyli boru bindirme bağlantılarının mekanik özelliklerini araştırmıştır. Söz konusu çalışmada, galvanizli çelik (St37) boruların eğrisel bindirme bağlantılarında eğrilik yarıçapı, bindirme uzunluğu ve boru cidar kalınlığı gibi parametreleri göz önünde bulundurarak yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerini incelemişler ve iç basınca maruz borularda eğrilik yarıçapının mukavemet üzerine büyük etki ettiklerini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, bindirme uzunluğu ve boru cidar kalınlığının artması eğrisel yüzeyli boru bindirme bağlantılarında taşımış oldukları basıncın önemli derecede artmasına neden olduğu ifade etmişlerdir. Çitil, Bozkurt ve Aydın (2019) st37 çelik borudan bindirme bölgelerini hem düz hemde çeşitli eğrilik yarıçaplarında hazırladıkları numuneleri DP-810 yapıştırıcı ile birleştirdiler. Daha sonra iç basınç altındaki mekanik özelliklerini hem nümerik hemde deneysel olarak incelemiştir. Sonuç olarak eğriselliğin basınç dayanımını artırdığı sonucunu bulmuşlardır. Sahan (2018) hasar gören galvanizli boruların epoksi esaslı yapıştırıcı ile tamiratında boru yama geometrisi ile boru patlama basıncı arasındaki ilişkiyi deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Borularda radyal ve teğetsel deformasyonlar daha kritik olduğu için bindirme uzunluğundan ziyade sarım açısının daha önemli bir parametre olduğunu belirtmiştir. Zou ve Taheri (2006) burulma yüklemesine maruz kalan yapıştırıcıyla birleştirilmiş sandviç boru bağlantılarının gerilme analizi yapmıştır. Farklı malzeme ve bindirme uzunluğuna sahip yapıştırıcı ile birleştirilmiş borular burulma testine tabi tutulmuştur. Hibrit alüminyumdan kompozit soket boru bağlantısında bindirme uzunluğunun artması bağlantının kayma gerilmesi üzerinde büyük etkisi olduğunu bulunmuşlardır. Solmaz ve Taş (2016) yapıştırıcıyla birleştirilmiş konik geçme bağlantılarını burulma momenti maruz bırakarak mukavemet üzerine etkilerini araştırmışlardır. Farklı tepe açıları kullanılarak yapıştırıcı uygulanmış ve yapıştırıcı uygulanmamış borular bağlantılarının karşılaştırmasını yapmışlardır. Yapmış oldukları çalışma sonrasında koni tepe açısının artmasıyla kayma gerilmesinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, yapıştırıcı uygulanmamış bağlantılarda oluşan kayma gerilmelerinin yapıştırıcı uygulanmış bağlantılara kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Saraç (2020) yapıştırıcı ile birleştirilmiş mil-göbek bağlantılarında lineer-elastik gerilme analizi ve göbek kenar geometrisinin dayanıma etkisini incelemiştir. Çalışmada göbek kenar çapının azalmasına, mil yapıştırıcı bölgesi ara yüzeyleri uç kısımlarında gerilme yığılmalarının azalmasına ve yapıştırma tabakasındaki mukavemetinin artmasına neden olduğu tespit etmiştir. Göbek dış çapı 6 mm iken en yüksek gerilme artışın gerçekleştiği bildirilmiştir. Walame ve Ahuja (2013) yapışma uzunluğu, yapışma açıklığı ve yapıştırıcıların burulma sertliğinin yapıştırıcıyla birleştirilmiş silindirik mafsallın tork aktarım üzerine etkisini araştırmıştır. Maksimum kayma gerilmesinin bağlantının uçlarında ve burulma sertliği daha yüksek olan şaftın ucunda meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bindirme uzunluğunun artmasına bağlı olarak, yapışkan tabakada maksimum kayma gerilmesinin azalmasına ve tork iletim kapasitesinin artmasına ve yapıştırma boşluğundaki artışın yapışkan tabakadaki maksimum kayma geriliminin azalmasına ve tork iletim kapasitesinin artmasına neden olduğu vurgulanmıştır. Lavalette, Bergsma, Zarouchas ve Benedictus (2020) hibrit alüminyum-kompozit borularda bindirme uzunluğu, boru çapı, et kalınlığı, yapıştırıcı kalınlığı gibi

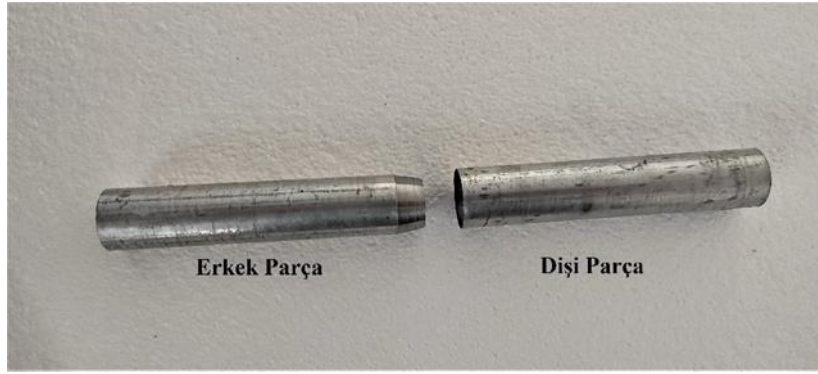
parametrelerin, boruların çekme dayanımına etkilerini teorik ve deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuçlar, bindirme uzunluğunun ve iç çap artışının boruların çekme dayanımı üzerinde önemli derecede etkisi olduğunu göstermiştir. Fakat bindirme uzunluğunun daha fazla artışı yapıştırıcı bölgesindeki gerilmeyi etkilemediği fark edilmiştir. Davies, Sohier ve Cognard (2009) yapıştırıcı kalınlığının etkisini incelemişlerdir. Epoksi yapıştırıcı ile birleştirilmiş alüminyum plaka bağlantılarının özelliklerini incelemişlerdir. Mekanik testler sonucunda, kopma mukavemetinin yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla azaldığını tespit etmişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığının ideal olarak 0.8 mm veya daha az olması gerektiğini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada akrilik yapısal yapıştırıcı ile birleştirilmiş çelik boru bağlantılarının bindirme uzunlukları ve eğrisellik yarıçaplarına göre, burulma yükü altında mekanik özellikleri nümerik olarak incelenmiştir. Ayrıca nümerik verilerin doğrulanması için doğrulama deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verilere göre aynı bindirme uzunluğunda fakat farklı eğrisellik yarıçapına sahip numunelerin taşımış oldukları burulma yük değerlerinin önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir. Öte yandan, yapıştırıcı ile birleştirilmiş burulmaya maruz borulardaki farklı bindirme uzunluğuna karşılaştırılması yapılmış olup bindirme uzunluğunun burulmaya maruz yapıştırıcı ile birleştirilmiş boru bağlantılarının önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

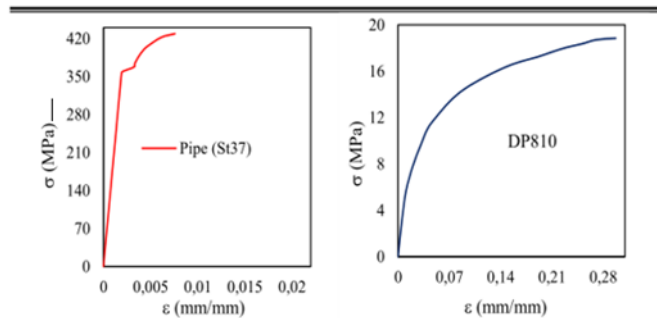
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada su tesisat malzemesi olarak sıklıkla kullanılan  $\text{ØD} = 21.3$  mm dış,  $\text{Ød} = 15.9$  mm iç çaplı St-37 galvanizli çelik borular kullanılmıştır. Çelik borular erkek ve dişi olarak (Şekil 1) 30, 40 ve 50 mm eğrisel yarıçaplarında ve toplam boyu 160 mm olacak şekilde üretilmiştir. Yapıştırıcı olarak ise nemli ortamlara dayanıklı, oda sıcaklığında kürleşebilen 3M (Scotch-Weld) firmasının ürettiği akrilik esaslı DP810 yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan boru ve yapıştırıcının mekanik özellikleri Şekil 2 ve Tablo 1’de verilmiştir.



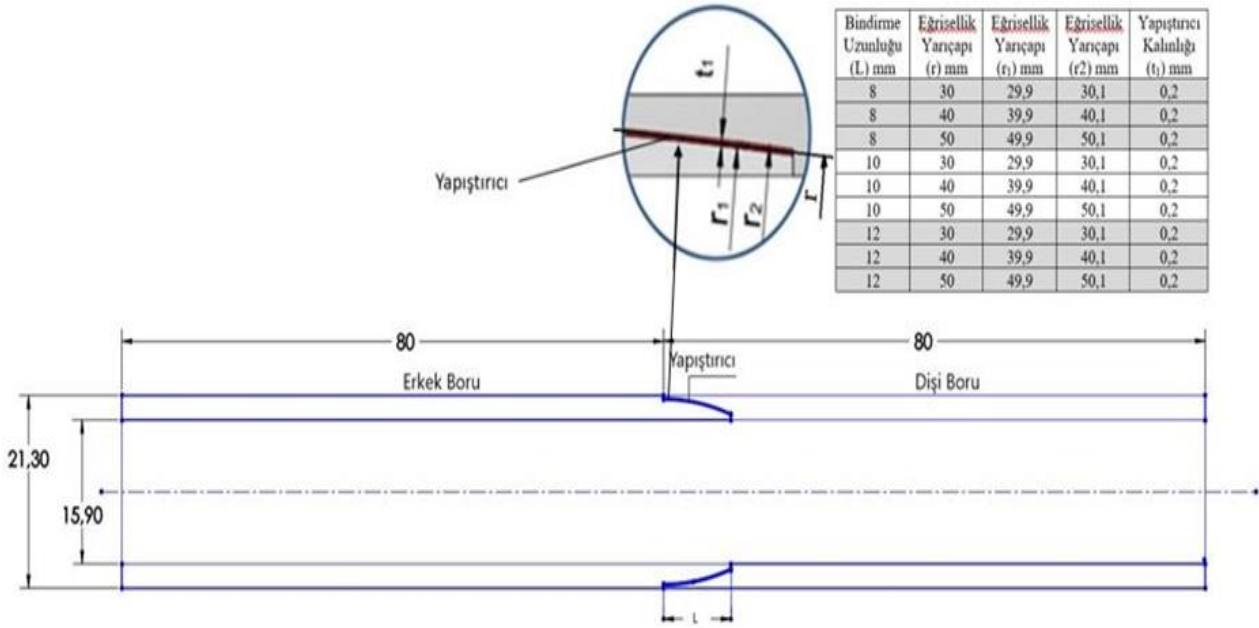
Şekil 1. Eğrisel yüzeyli boru bağlantı parçaları



Şekil 2. DP810 ve St37 malzemesinin gerilme şekil değiştirme grafiği (Çitil ve Bozkurt 2017)

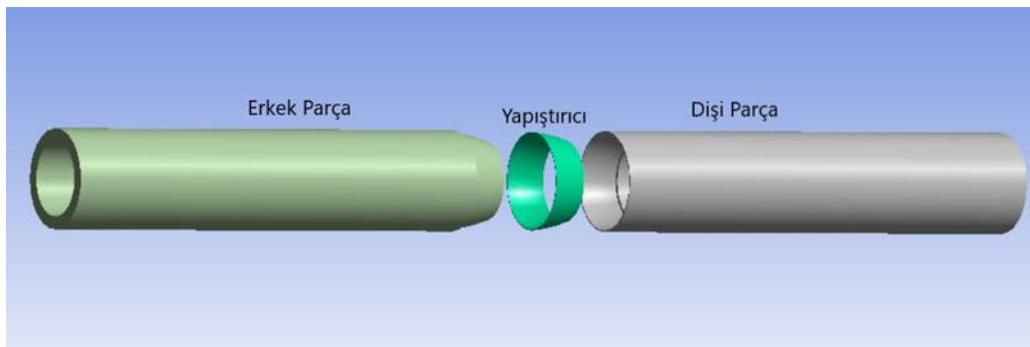
**Tablo 1.** Çelik (St37) ve Yapıştırıcı (DP810) fiziksel ve mekanik özellikleri (Çitil ve Bozkurt 2017)

Malzeme özellikleri	Malzeme	
	St37	DP810
$E$ (Mpa)	18450	594.8
$\nu$	0.29	0.35
$\sigma$ (Mpa)	428	24.24



**Şekil 3.** Burulmaya maruz eğrisel boru bindirme bağlantısı kesiti

Boruların yapıştırıcı ile birleştirilen bölgeler sırasıyla  $r=30, 40, 50$  mm yarı çaplarında eğrisel olarak ve bindirme uzunlukları ( $L$ ) 8,10,12 mm olacak şekilde modellenmiş ve yapıştırıcı kalınlığı ( $t_1$ ) 0,2 mm olacak şekilde birleştirilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığını sağlamak için erkek boru  $r_1$ (29,9- 39,9- 49,9 mm) çapında dişi boru ise  $r_2$  (30,1- 40,1- 50,1 mm) çapında modellenmiş (Şekil 3) ve doğrulama deneylerinin yapılması için bindirme uzunluğu 10 mm, eğrilik yarı çapı sırasıyla 30, 40, ve 50 mm olacak şekilde her biri için üçer adet numune CNC (Computer Numerik Control) tezgâhında hazırlanmıştır (Şekil 4).



**Şekil 4.** Eğrisel yüzeyli boru bağlantısı katı modeli

## 2.2. Burulma Deneyi

Hazırlanan numunelerin her iki ucuna test cihazına bağlantı yapılabilmesi için altıgen çelik çubuklar monte edilmiş ve cıvata ile bağlantısı yapılmıştır (Şekil 5). Hazırlanan numuneler Shimadzu AG – X marka ve model burulma test cihazında doğrulama deneyleri yapılmıştır (Şekil 6).



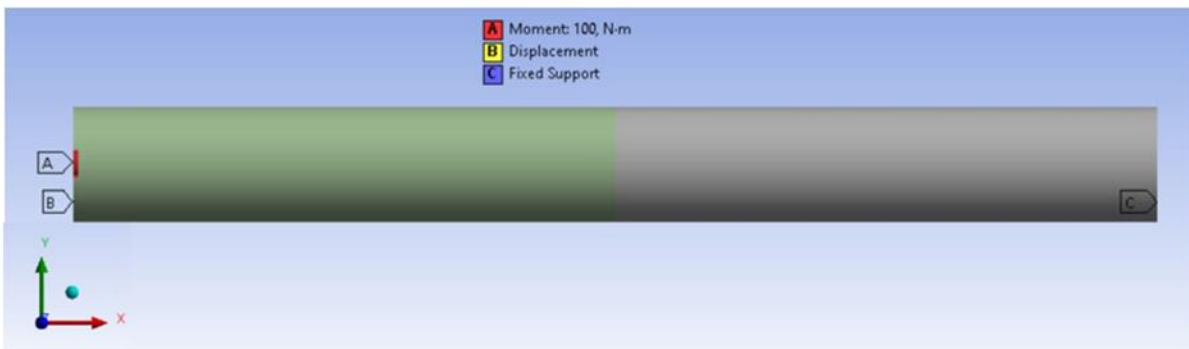
Şekil 5. Test düzeneği için hazırlanan numuneler



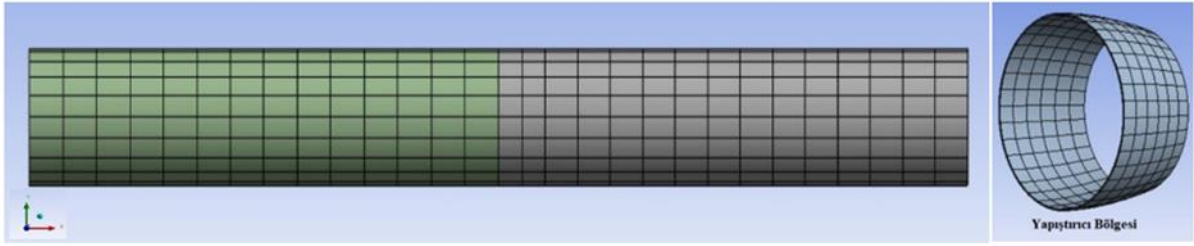
Şekil 6. Shimadzu AG – X marka burulma cihazı

## 2.3. Nümerik Analizler

Nümerik analizler için Ansys Workbench 2015 paket programı kullanılmıştır (ANSYS Workbench 2015). Lineer olmayan sonlu eleman modeli için, Tablo 1’de mekanik özellikleri verilmiş olan galvanizli çelik boru (St37) ve yapıştırıcı (DP810) analizleri elasto-plastik olmak üzere, üç boyutlu dikdörtgen prizmalı 20 düğüm noktasına sahip solid186 (Şekil 7) eleman kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerilme dağılımları açısından kritik bölge olan yapıştırma işleminin gerçekleştirildiği bölge, daha küçük elemanlara bölünmüştür (Şekil 8). Elde edilen numuneler burulma yüküne maruz bırakılarak nümerik sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 7. Sınır Şartları



Şekil 8. Numunelerin ANSYS model örneği

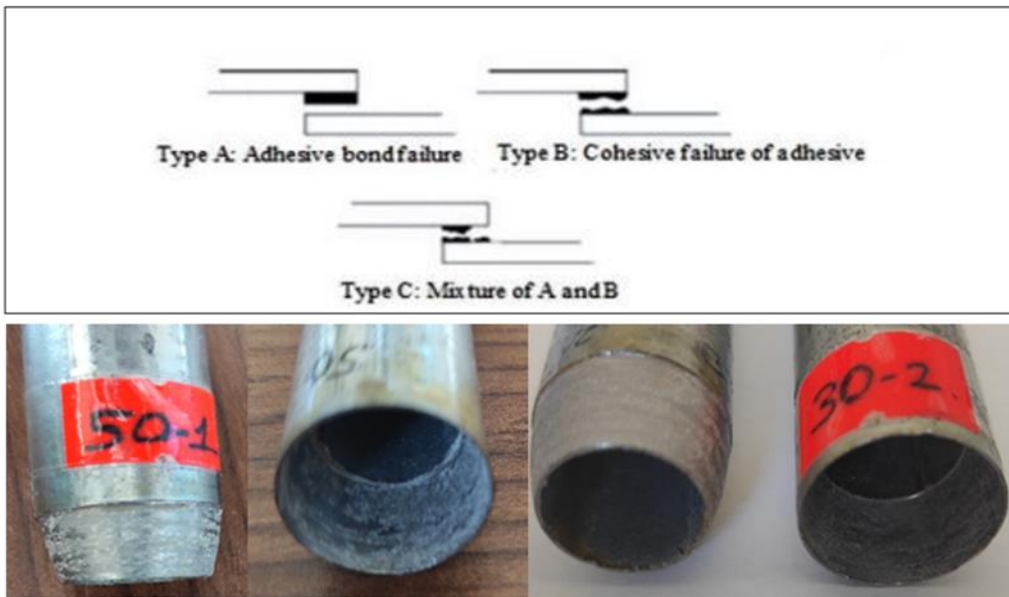
Elde edilen sonuçlara göre yapıştırıcı bölgesinde gerilmeleri karşılaştırmak için en düşük yük olan 100 Nm sabit yükte burulmaya maruz bırakılarak gerilme değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.1 Deney Sonuçları

Bindirme uzunluğu (L) 10 mm olan deney numuneleri 30, 40 ve 50 eğrisel yarıçaplar için burulma testine tabi tutulmuştur. Burulma deneyinde sonuçlarında hasarın yapıştırıcı bölgesinde cohesive yapıştırıcı ara yüzeyinde hasara maruz kalarak koptuğu gözlenmiştir (Şekil 9). Çelik boru yüzeyinde herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir. Deneysel sonuçlar ile nümerik çözüm sonucu elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla ortalama olarak %84 uyumlu olduğu görülmüştür (Tablo 2).

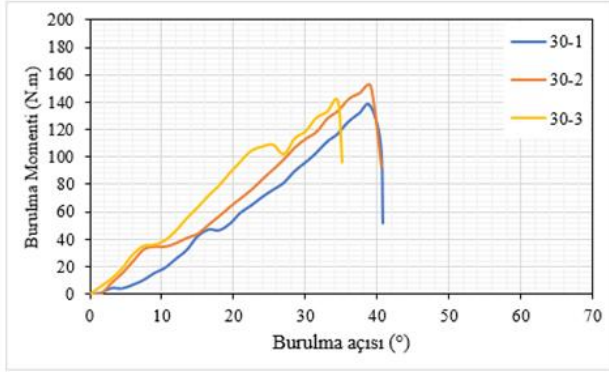
Deney sonucunda burulma açısına bağlı olarak maksimum burulma momenti değerleri elde edilmiş ve grafikler Şekil 10'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, eğrilik yarıçapı 30 mm olan numunede ortalama 142,3 N.m burulma momentine ve 37° burulma açısına, 40 mm olan numunede ortalama 164,6 N.m burulma momentine ve 44° burulma açısına ve 50 mm olan numunede ise ortalama ile 182,6 N.m burulma momentine ve 48° burulma açısına maruz kalarak hasara uğradığı gözlenmiştir (Şekil 10). Şekil 10 ve 11'den de görüleceği üzere aynı bindirme uzunluğuna sahip fakat farklı eğrilik yarıçaplarına sahip yapıştırıcı ile birleştirilmiş boru bindirme bağlantılarında eğrilik yarı çapı arttıkça taşımış oldukları burulma momentinin arttığı gözlenmiştir.



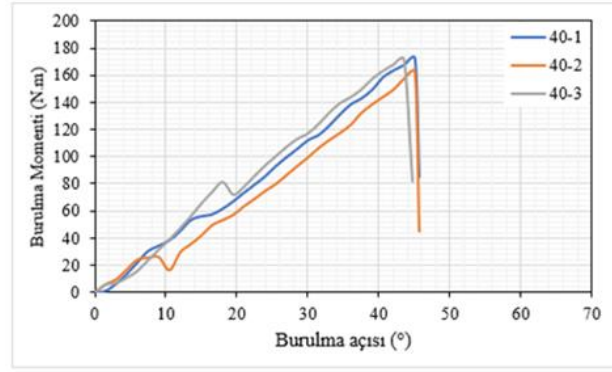
Şekil 9. Deney sonrası yapıştırıcı hasar yüzeyleri

**Tablo 2.** Deneysel ve Nümerik sonuçların karşılaştırılması

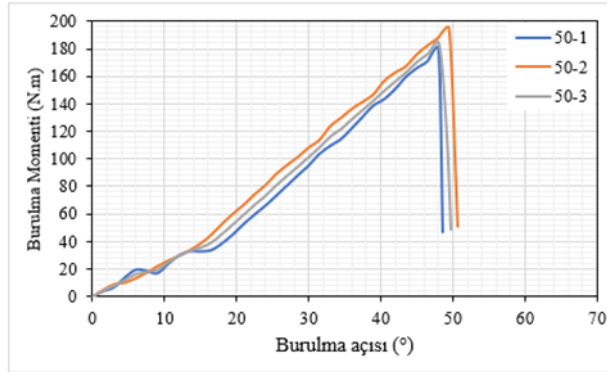
Eğrisel Yarıçap (r)	Bindirme Uzunluğu (L)	Deneysel Ortalama (N.m)	Nümerik Çözüm (N.m)	(%) (Nüm/Den)
30	10	142,3	131,50	0,92
40	10	164,6	136,00	0,83
50	10	182,6	139,00	0,77
			<b>Ort. (%)</b>	<b>0,84</b>



(a)

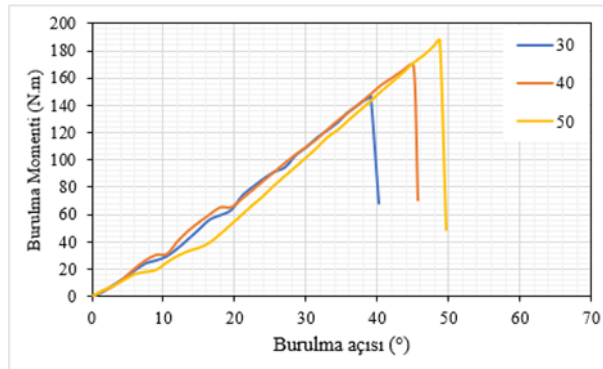


(b)



(c)

**Şekil 10.** Bindirme uzunluğu 10 mm olan numunelerin deneysel sonuçları (a) Eğrilik yarıçapı 30 mm (b) Eğrilik yarıçapı 40 mm (c) Eğrilik yarıçapı 50 mm



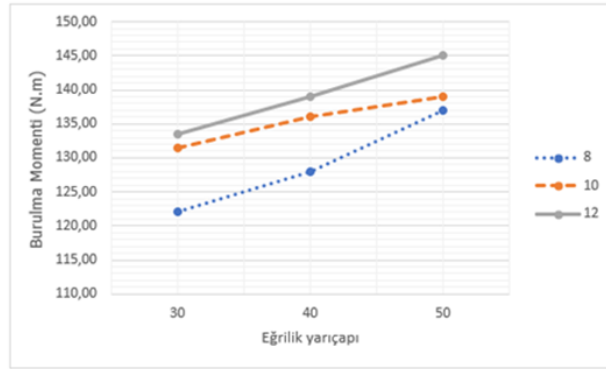
**Şekil 11.** Eğrilik yarıçaplarına göre deneysel sonuçların karşılaştırılması

### 3.2 Nümerik Sonuçlar

Bindirme uzunluğu 8, 10, 12 mm olan ve eğrilik yarıçapları 30, 40, 50 mm olan numunelerin katı modelleri oluşturularak Ansys Workbench programında analizleri yapılmıştır. Tüm numunelerin maksimum burulma moment değerleri Tablo 3’de verilmiş olup Şekil 12 de karşılaştırılmıştır.

**Tablo 3.** Maksimum burulma momenti değerleri

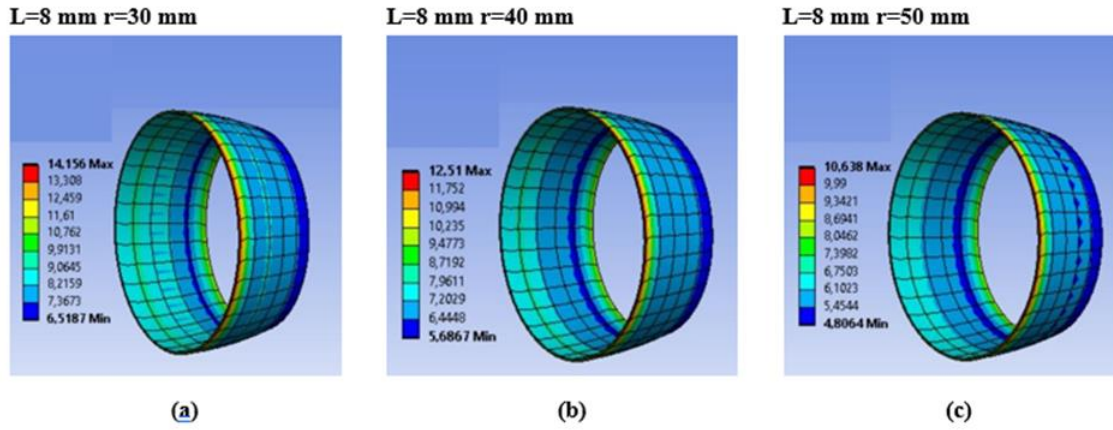
Eğrisel Yarıçap (r) mm	Bindirme Uzunluğu (L) mm	Burulma Momenti (N.m)
30	8	122,00
40	8	128,00
50	8	137,00
30	10	131,50
40	10	136,00
50	10	139,00
30	12	133,50
40	12	139,00
50	12	145,00



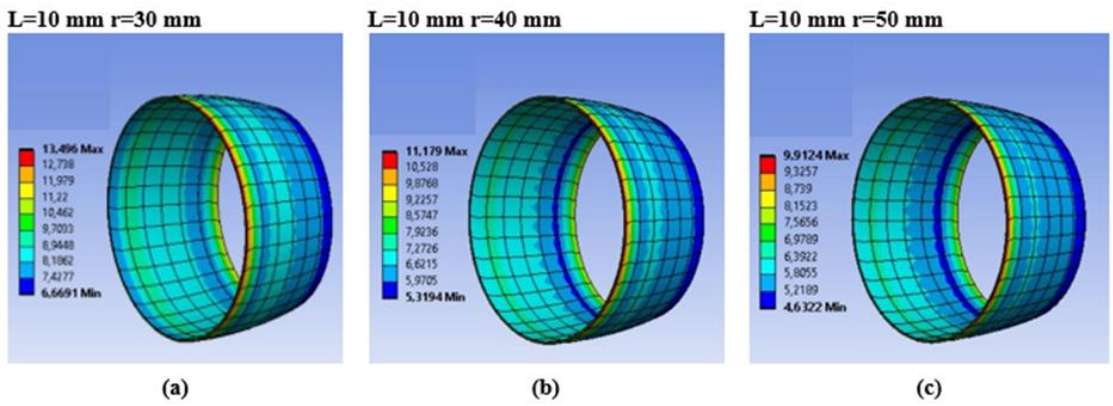
**Şekil 12.** bindirme uzunluğuna (8, 10, 12 mm) göre burulma momentlerinin karşılaştırılması

Tablo 3 ve Şekil 12 incelendiği zaman eğrilik yarı çapı ve bindirme uzunluğu arttıkça taşımış oldukları burulma moment değerlerinin arttığı görülmektedir. Maksimum burulma momentini eğrilik yarı çapı 50 mm ve bindirme uzunluğu 12 mm olan numunede oluşmuştur. Üç boyutlu modeli oluşturulan numunelerin yapıştırıcı bölgesindeki gerilme analizi için tüm numunelere 100 N.m sabit bir burulma momenti uygulanarak eşdeğer gerilmeler ( $\sigma_{eqv}$ ), maksimum kayma gerilmeleri ( $\tau_{max}$ ), kayma gerilmeleri ( $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$ ) ve normal gerilmeler ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ) elde edilerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 13, 14, 15, 16, 17 ve 18’de verilmiştir.

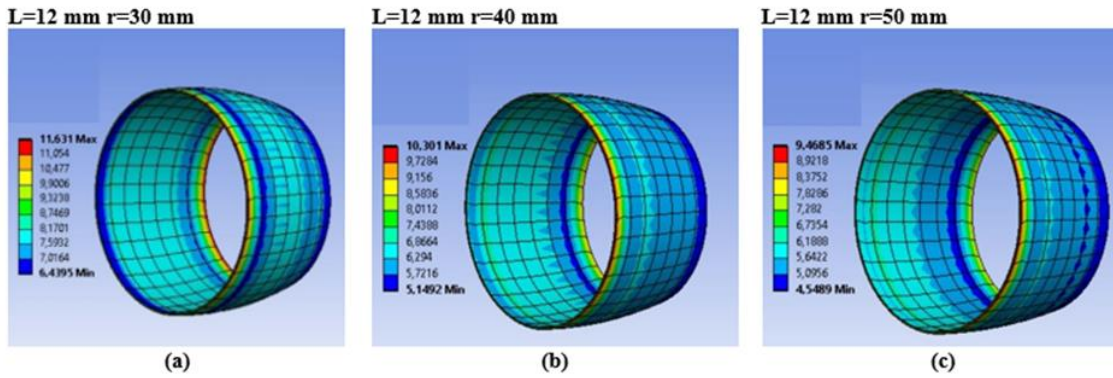




Şekil 13. Bindirme uzunluğu 8 mm için Eşdeğer gerilmeler ( $\sigma_{eqv}$ )

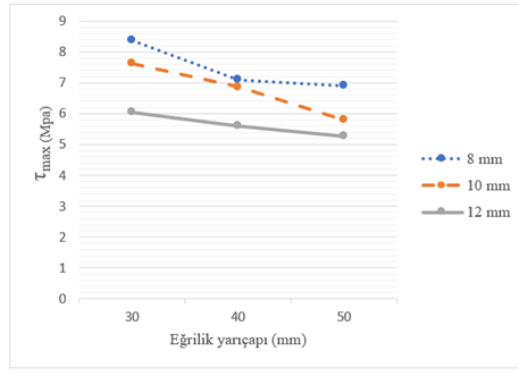


Şekil 14. Bindirme uzunluğu 10 mm için Eşdeğer gerilmeler ( $\sigma_{eqv}$ )

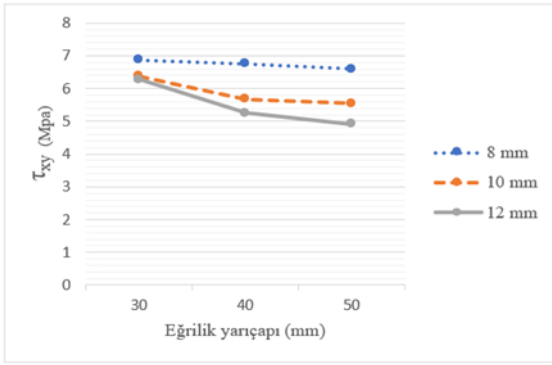


Şekil 15. Bindirme uzunluğu 12 mm için Eşdeğer gerilmeler ( $\sigma_{eqv}$ )

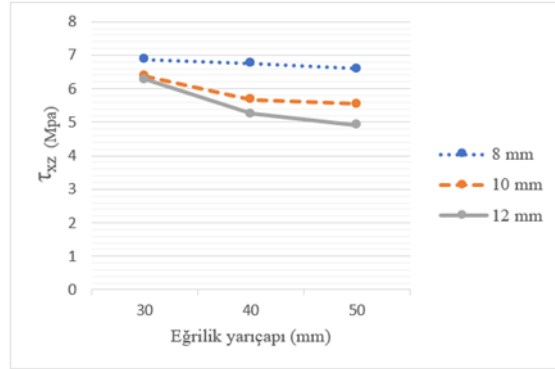
Yapıştırıcı bölgesindeki eşdeğer gerilme sonuçları incelendiğinde eğrilik yarı çapı ve bindirme uzunluğu arttıkça gerilmelerin azaldığı görülmektedir (Şekil 13, 14, 15). Eşdeğer gerilmelerin özellikle bindirme uzunluğunun uç bölgelerinde maksimum olduğu görülmektedir. Burulmaya maruz alın eğrisel boru bindirme bağlantılarında hasarın bu bölgede başlayarak ilerlediği görülmektedir.



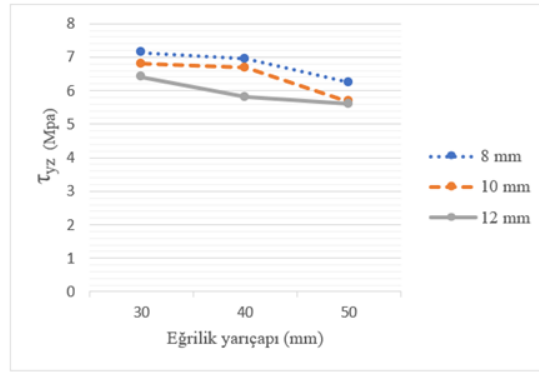
Şekil 16. Eğrilik yarıçapı ve bindirme uzunluğuna göre maksimum kayma gerilmeleri ( $\tau_{max}$ )



(a)

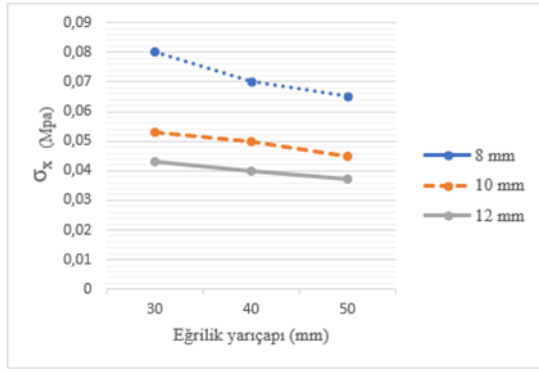


(b)

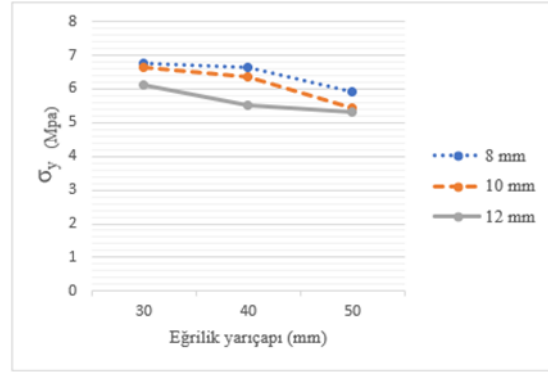


(c)

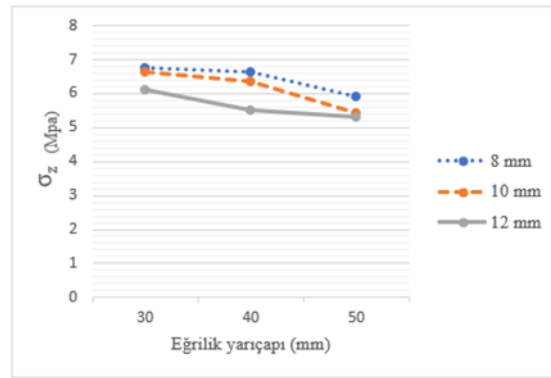
Şekil 17. Eğrilik yarıçapı ve bindirme uzunluğuna göre kayma gerilmelerin karşılaştırılması (a)  $\tau_{xy}$  (b)  $\tau_{xz}$  (c)  $\tau_{yz}$



(a)



(b)

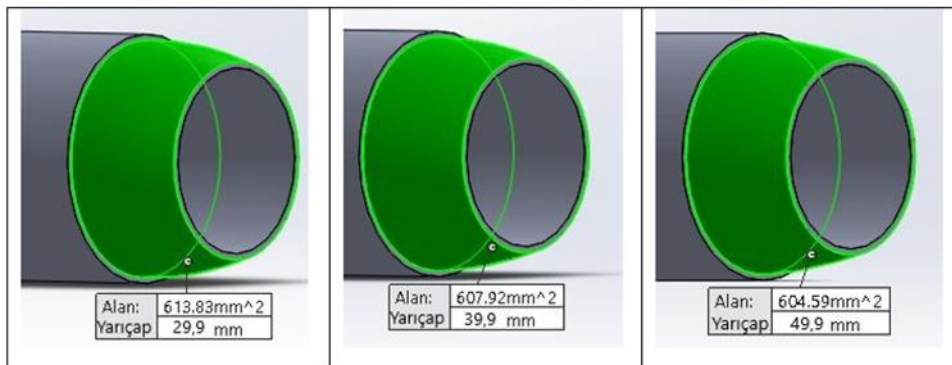


(c)

Şekil 18. Eğrilik yarıçapı ve bindirme uzunluğuna göre normal gerilmelerin karşılaştırılması (a)  $\sigma_x$  (b)  $\sigma_y$  (c)  $\sigma_z$

Kayma gerilmeleri ve normal gerilmeler incelendiğinde eğrilik yarı çapı ve bindirme uzunluğu arttıkça gerilmelerin azaldığı taşınmış olduğu burulma yükün arttığı görülmektedir (Şekil 17, 18).

Şekil 19'da üç boyutlu modelin bindirme uzunluğu 10 mm için yüzey yarıçapa göre yüzey alan değerleri verilmiştir. Modeller incelendiği zaman eğrilik yarı çapı arttıkça yapıştırıcının uygulanmış olduğu yüzey alan değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 19. Eğrilik yarıçapına göre yüzey alanları

Yapıştırıcının uygulanmış olduğu yüzey alanı arttıkça genel olarak taşımış oldukları hasar yükünün artması beklenmektedir. Fakat burada tam tersi bir durum olmuştur. Yapılan çalışma sonrası görülmüştür ki geometrinin şeklinden kaynaklı olarak yarıçap azaldıkça yapıştırıcı uç bölgesinde daha fazla soyulma gerilmelerine maruz kaldığı anlaşılmaktadır.

#### **4. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada St37 çelik boru malzemesinden eğrisel yüzeyli bindirme bağlantı modeli oluşturularak deneysel ve nümerik olarak araştırılması yapılmıştır. Alın eğrisel boru bindirme bağlantılarına burulma yükü uygulanarak bindirme uzunluğuna ve eğrilik yarıçapına bağlı olarak bağlantının mukavemeti üzerinde etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçları göstermiştir ki;

Deneysel sonuçlarla nümerik sonuçlar %84 uyumlu çıkmıştır. Eğrisellik yarıçapına bağlı olarak, eğrisellik yarıçapı arttıkça taşımış oldukları burulma hasar yüklerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca eğrilik yarı çapı arttıkça hasarın başlangıç bölgesi olan yapıştırıcı uç bölgelerinde meydana gelen gerilmelerin azaldığı gözlenmiştir. Bindirme uzunluğuna bağlı olarak, bindirme uzunluğu arttıkça taşımış oldukları burulma hasar yükünün arttığı gözlenmiştir. Yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanına bağlı olarak elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, eğrisellik yarı çapı arttıkça yapıştırıcının uygulanmış olduğu yüzey alanının azaldığı gözlenmiş olup taşımış oldukları burulma hasar yükünün arttığı gözlenmiştir. Yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanının azalmasına rağmen taşımış olduğu burulma hasar yükünün artması geometrinin eğrisellik yapısından kaynaklanmakta olup, hasarın başlangıç bölgesi olan yapıştırıcı uç bölgesinde eğrilik yarı çapı azaldıkça eğrisel boru bindirme bağlantılarının soyulma gerilmelerine daha fazla maruz kaldığı gözlenmiştir.

#### **KAYNAKLAR**

ANSYS Workbench V.15. Swanson Analysis Systems, Inc., (2015).

Çitil, Şerif, & Bozkurt, İsmail. "Eğrisel yüzeyli boru bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi." 4.7 (2017): 63-72.

Çitil, Ş., İ. Bozkurt, and M. Demir Aydın. "Experimental and 3D non-linear stress analysis of adhesively bonded pipes with curved-surface lap joints." *The Journal of Adhesion* 95.5-7 (2019): 515-528.

Davies, Peter, et al. "Influence of adhesive bond line thickness on joint strength." *International journal of adhesion and adhesives* 29.7 (2009): 724-736.

Lavalette, Nicolas P., et al. "Influence of geometrical parameters on the strength of Hybrid CFRP-aluminium tubular adhesive joints." *Composite Structures* 240 (2020): 112077.

Şahan, Mehmet Fatih. "Hasar gören galvanizli boruların epoksi esaslı yapıştırıcı ile tamiratında boru yama geometrisi ile boru patlama basıncı arasındaki ilişkinin incelenmesi." *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 7.2 (2018): 899-908.

Saraç, İsmail. "Yapıştırıcı ile birleştirilmiş mil-göbek bağlantılarında lineer-elastik gerilme analizi ve göbek kenar geometrisinin dayanıma etkisinin araştırılması." *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* 7.3 (2020): 994-1007.

Solmaz, Murat Yavuz, & Taş, Betül. "Yapıştırıcıyla Birleştirilmiş Konik Geçme Bağlantıların Burulma Momenti Etkisindeki Davranışları." *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 30.2 (2018): 73-86.

Walame, M.V. & Ahuja, B.B. "Effect of bond length, bond clearance and torsional stiffness of adherends on torque transmission capability of adhesively bonded cylindrical joint." *International Journal of Engineering Research & Technology* 2.6 (2013): 1930-1935.

Zou, G. P., and F. Taheri. "Stress analysis of adhesively bonded sandwich pipe joints subjected to torsional loading." *International Journal of Solids and Structures* 43.20 (2006): 5953-5968.