

## **BURULMAYA MARUZ FARKLI TİPTEKİ BORU BİNDİRME BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Cüneyt YETKİN<sup>1</sup>, Şerif ÇİTİL<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Devlet Su İşleri 203. Şube Müdürlüğü, Adıyaman, 02040, Türkiye

<sup>2</sup>Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 09.11.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 28.01.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1021012

### **ÖZET**

Bu çalışmada bindirme bölgesi geometrisi düz, açılı (scarf) ve eğrisel şeklinde tasarlanan, akrilik yapısal yapıştırıcı ile birleştirilmiş, çelik boru bağlantılarının, burulma yükü altındaki mekanik özellikleri incelenmiştir. Bunun için dış çapı (ØD) 21.3 mm, iç çapı (Ød) 15.9 mm, St-37 galvanizli çelik borular üzerine, erkek ve dişi şeklinde 10 mm bindirme uzunluğunda düz, açılı (scarf) ve eğrisel bindirme bağlantıları oluşturularak modellenmiştir. Doğrulama deneyleri için 10 mm bindirme uzunluğunda 30 mm eğrilik yarı çapında, eğrisel bindirme bağlantıları imal edilerek gerçekleştirilmiştir. Erkek ve dişi şeklinde hazırlanan numuneler, nemli ortama dayanıklı, oda sıcaklığında küreleşebilen akrilik esaslı DP810 yapısal yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiştir. Oluşturulan modellerin nümerik analizleri ANSYS Workbench programında yapılmıştır. Nümerik ve deneysel sonuçlar göstermiştir ki, numuneler lineerleştikçe yapıştırıcının uygulanmış olduğu yüzey alanı azalmış fakat taşımış oldukları burulma hasar yükünün arttığı gözlemlenmiştir.

*Anahtar Kelimeler: Boru; Burulma; Eğrisel yüzeyli bağlantı; Nümerik analiz; Yapısal yapıştırıcı.*

## **INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF PIPE LAPPING CONNECTIONS SUBJECT TO TORSION**

### **ABSTRACT**

In this study, the mechanical properties of steel pipe connections under torsional load, whose lap geometry was designed as straight, angled (scarf) and curvilinear, joined with acrylic structural adhesive, were investigated. For this purpose, straight, angled (scarf) and curvilinear overlap connections were formed on St-37 galvanized steel pipes with an outer diameter (ØD) of 21.3 mm, an internal diameter (Ød) of 15.9 mm, with a 10 mm overlap length in the form of male and female. For the verification experiments, curvilinear lap joints were fabricated at 10 mm lap length and 30 mm radius of curvature. The specimens prepared as male and female were joined using an acrylic-based DP810 structural adhesive, which was resistant to humid environments and can be cured at room temperature. Numerical analyzes of the created models were made in the ANSYS Workbench program. Numerical and experimental results showed that as the samples became linear, the surface area on which the adhesive was applied decreased, but the torsional damage load they carried increased.

*Keywords: Pipes; Torsion; Curvilinear surface lap joints; Numerical analysis; Structural adhesives;*

### **1. Giriş**

Malzemelerin birleştirme yöntemleri endüstride önemli bir yer tutmaktadır. Özellikleri aynı veya farklı türden malzemelerin birleştirilmesinde, yüksek mukavemet, hafiflik, zaman kaybı ve daha az maliyet önem arz etmekte olup birleştirme tekniklerinin her geçen gün önemi daha da artmaktadır. Geleneksel sökülebilir ve sökülemez birleştirme türleri olan kaynak, perçin, cıvata ve sıkı geçme gibi birleştirme yöntemleri geçmişten günümüze kullanılmaktadır. Kullanılan bu geleneksel birleştirme

<sup>1</sup> e-posta: [cuneytyetkin@gmail.com](mailto:cuneytyetkin@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7117-8485> (Sorumlu Yazar)

<sup>2</sup> e-posta: [scitil@adiyaman.edu.tr](mailto:scitil@adiyaman.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3714-3772>

yöntemlerine ek olarak son yıllarda sanayide kullanım yaygınlığı artan yapıştırıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Yapıştırıcı teknolojisinin gelişmesi ile birlikte sanayi malzemelerinden özellikle metal ve kompozit malzemelerin birleştirilmesinde yaygınlığı dahada artmıştır.

Yapıştırıcılar günümüzde uzay, havacılık, otomotiv, tıp, altyapı sistemi, elektronik, paketleme, gemicilik, spor ve inşaat gibi birçok endüstri alanında kullanılmaktadır. Gemi, inşaat, uçak ve makina mühendisliği gibi pek çok mühendislik dalında kullanımı, endüstrinin ilk yıllarına dayanır. Teknolojinin gelişmesi ile enerji ihtiyacı artmış ve nitelikli enerji türlerinin doğada azalmasıyla, teknolojiye mümkün olan en az enerji kullanımına cevap olabilecek seçimler artmıştır [1]. Küresel rekabet havacılık, uzay ve otomobil üreticilerini karbon emisyonunu azaltmaya yakıt ekonomisini iyileştirmeye ve daha az yakıt sarfiyatına zorlamaktadır. Bunun için havacılık, uzay ve otomobil üreticileri daha az yakıt sarfiyatı için aracın ağırlığını azaltacak araç tasarımına ve malzeme seçimine gitmektedirler. Araç ağırlığını azaltmak için daha düşük yoğunluklu yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımı ile ilgili çalışmalar artarken bu malzemelerin birleştirilmesi ile ilgili de çalışmalar yapılmaktadır [2].

Günümüz endüstride zaman, malzeme, maliyet, iş kayıpları büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla zaman, malzeme, maliyet, iş kayıpları azaltmak için birçok çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir [3]. Geleneksel birleştirme yöntemleri zaman, maliyet ve iş gücü gerektirmekte ve ciddi manada zaman ve maliyet kayıplarına sebep olmaktadır. Geleneksel birleştirme yöntemlerinin zaman, maliyet kayıplarının önüne geçilmesi için özellikleri endüstrinin birçok alanında, kullanım kolaylığı, daha düşük maliyet ve daha az işçilik gibi özelliklerinden dolayı yapıştırma bağlantılarına yönlendirmekte ve yapıştırma bağlantılarının mukavet etkisi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [4-10].

Endüstride güç ve hareket aktarma elemanı olan miller (şaft), kaynak ya da flanş aracılığıyla birbirlerine bağlanmak suretiyle çalışmaktadırlar. Güç ve hareket aktaran miller özellikle çalışma esnasında burulma momentine maruz kalmaktadır. Kaynakla birleştirme işleminde kaynaklı parçaların ani soğuması sonucunda artık gerilmelerin oluşmasına sebebiyet vermektedir [11]. Oluşan bu artık gerilmeler burulma momentinin etkisiyle beklenmedik anlarda parçanın hasar görmesine neden olmaktadır. Flanşla birleştirme işlemi ise ciddi manada işçilik zaman ve maliyeti gerekli kılmaktadır. Bu iki durum istenmeyen durumdur. Burulma momentine maruz millerde bu istenmeyen durumlar için kaynak ve flanşla birleştirmeye alternatif olarak yapıştırma bağlantılarını araştırılması önem arz etmektedir. Silindirik yapıştırma bağlantılarıyla ilgili yapılan çalışmalarda ise genellikle bağlantıların çekme yükü altındaki performansları araştırılmıştır [12]. Burulma momentine maruz millerle ilgili yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Konuyla ilgili olarak, Saraç [12] yapmış olduğu çalışmada yapıştırıcıyla birleştirilmiş mil-göbek bağlantı modeli önermiş bu yapıştırma bağlantısının göbek kenarlarında yapılan tasarım değişikliklerinin bağlantı performansına etkileri, yapılan gerilme ve hasar analizleriyle araştırmıştır. Zou ve Taheri [13], burulma momentine maruz yapıştırıcıyla birleştirilmiş düz boru bindirme bağlantılarında, boru cidar kalınlığı, boru malzemesi ve yapıştırıcı tiplerinin etkilerini incelemiştir. Bunun için analitik bir model oluşturmuş ve oluşturulan modelde, yapıştırıcı tipine, bindirme uzunluğuna ve cidar kalınlığına bağlı olarak yapıştırıcı bölgesinde oluşan gerilme analizlerini yapmıştır. Taş [14] üç farklı yapıştırıcı kullanarak mil üzerinde konik geçme bağlantıları oluşturmuş ve burulma momenti maruz bırakmış ve yapıştırıcı uygulanmış konik bağlantıları ile yapıştırıcı uygulanmamış konik geçme bağlantılarıyla karşılaştırmasını yaparak mukavemet üzerindeki etkilerini nümerik olarak incelemiştir. Yapmış olduğu inceleme sonucunda yapıştırıcı uygulanmış konik bindirme bağlantılarında gerilme değerlerinin daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Aimmanee ve Hongpimolmas [15], burulma momentine maruz boru bindirme bağlantıları için, farklı sertlikteki kompozit bağlantı elemanlarıyla boruları yapıştırıcı ile birleştirilmişler ve matematiksel bir model formüle etmişlerdir. Yapmış oldukları matematiksel modelin ideal bağlantı şartları için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Dünyada sıvı, gaz ve sıvı içinde konsantre katı maddelerin bir yerden başka bir yere taşınmasında boru hatlarıyla gerçekleşmektedir. Boru hatlarının sık kullanılmasının sebebi ekonomik olması ve uzak mesafelere taşıma yapılabilmesidir [16]. Boru hatlarının yapımı esnasında kullanılan birleştirme yöntemleri metal borular için genellikle üç şekilde gerçekleşmektedir. Vidalı sistem, kaynak teknolojisi veya birbirine sıkı geçmeli olarak montajlanmaktadır. Vidalı sistem işçilik, zaman ve maliyet içermekte, kaynakla birleştirmede artık gerilmeler oluşmakta, sıkı geçmede ise sıcaklık ve basınç değişimleri sonucunda birbirinden ayrılabilir. Ayrıca yapılan bu boru hatları genellikle toprak altında kalmaktadır. Toprak altında kalan borular üzerine yük binmesi durumunda çeşitli yüklere ve burulma momentine maruz kalabilmektedir. Bu olumsuz durumlar için yapıştırıcı ile birleştirilmiş boru bindirme

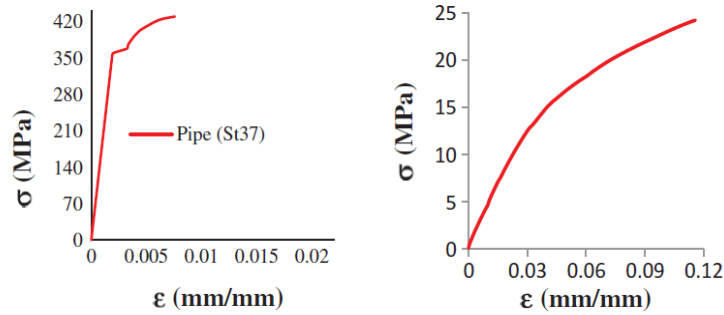
bağlantıları bir alternatif teşkil edecektir. Bunun için yapıştırıcıyla birleştirilmiş boru bindirme bağlantılarının araştırılması büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada akrilik yapıştırıcı (DP810) ile birleştirilmiş paslanmaz çelik boru bağlantısı için düz, açılı (scarf) ve eğrisel olmak üzere üç farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller burulma momentine maruz bırakılarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada nümerik verilerin elde edilmesi için Ansys Workbench (2015) paket programı kullanılmıştır. Elde edilen nümerik verilerin doğrulanması için doğrulama deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonrasında elde edilen veriler göstermiştir ki; Aynı ve farklı bindirme uzunluğuna sahip, sırasıyla düz, açılı ve eğrisel bindirme bağlantılarının taşımış oldukları hasar yüklerinin önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Oluşturulan modellerde yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanlarının azaldığı fakat taşımış oldukları hasar yükünde artış olduğu gözlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Numunelerin Hazırlanması

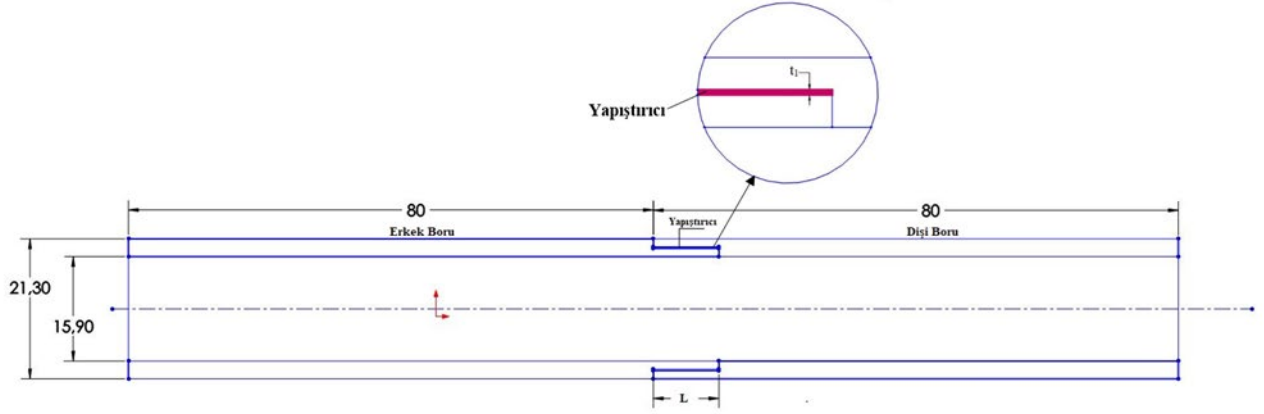
Bu çalışmada dış çapı (ØD) 21.3 mm, iç çapı (Ød) 15.9 mm St-37 galvanizli çelik borular kullanılmıştır. Çelik borular erkek ve dişi olarak (Şekil 2,3,4) bindirme uzunluğu 10 mm toplam boy 160 mm olacak şekilde eğrisel, düz ve scarf bindirme bağlantıları üretilmiştir. Malzeme yapısı nemden olumsuz etkilenebilmektedir [20-21]. Bu nedenle yapıştırıcı olarak 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 Çizelge 1’de verilmiştir [17-18].



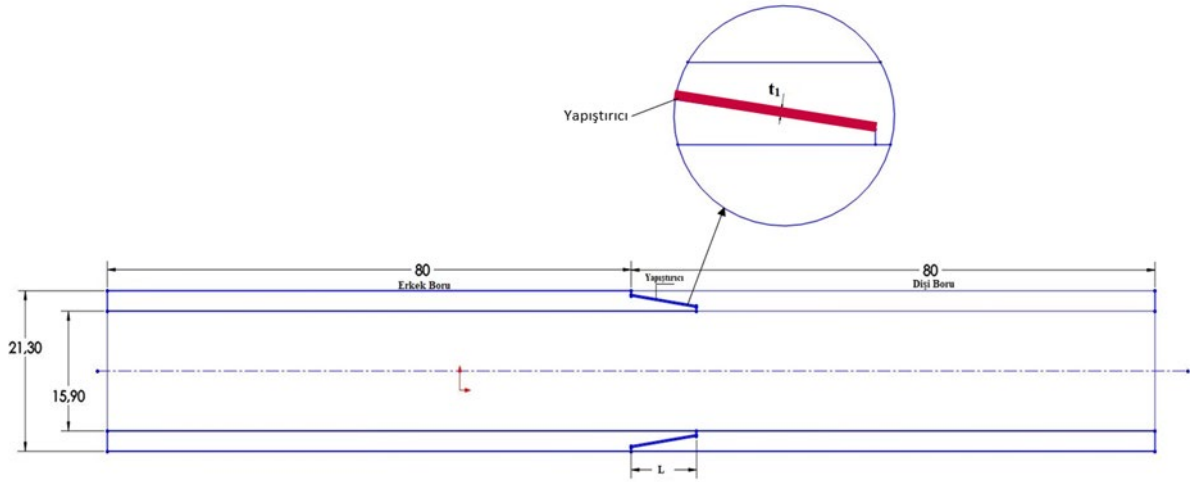
Şekil 1. DP810 ve St37 malzemesinin gerilme şekil değiştirme grafiği

Çizelge 1. Çelik (St37) ve Yapıştırıcı (DP810) fiziksel ve mekanik özellikleri.

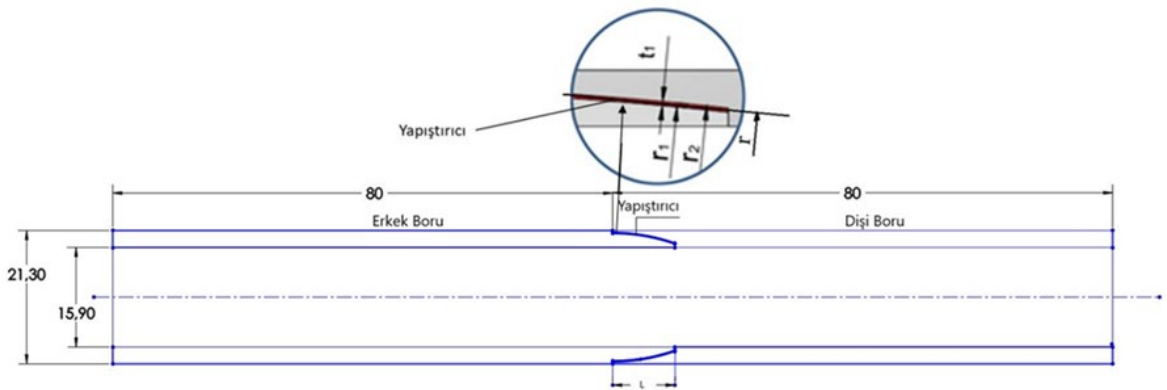
Malzeme Özellikleri	Malzeme	
	Çelik (St37)	Yapıştırıcı (DP810)
$E$ (Mpa)	186450	594.8
$\nu$	0.29	0.35
$\sigma$ (Mpa)	428	24.24



Şekil 2. Burulmaya maruz düz boru bindirme bağlantısı kesiti



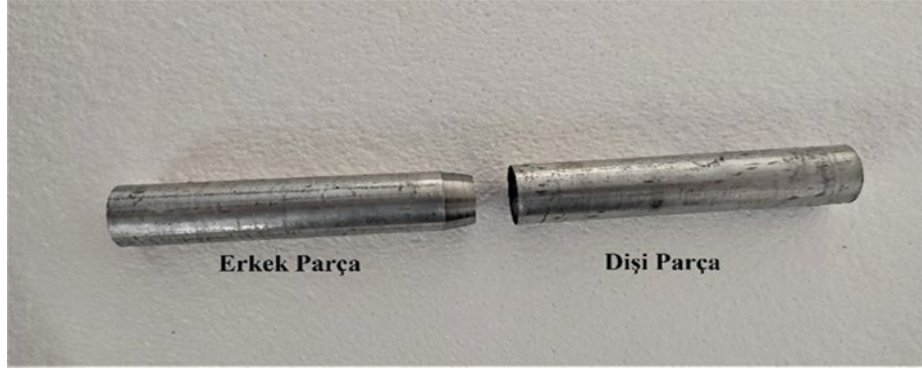
Şekil 3. Burulmaya maruz scarf boru bindirme bağlantısı kesiti



Şekil 4. Burulmaya maruz eğrisel boru bindirme bağlantısı kesiti

Boruların yapıştırıcı ile birleştirilen bölgesi bindirme uzunluğu (L) 10 mm olacak şekilde sırasıyla düz (Şekil 2), scarf (Şekil 3) ve eğrisel (Şekil 4), olarak modellenmiş ve yapıştırıcı kalınlığı ( $t_1$ ) 0,2 mm olacak şekilde birleştirilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığını sağlamak için  $r=30$  mm yarı çapında eğrisel model için erkek boru  $r_1=29.9$  mm çapında dişi boru ise  $r_2=30,1$ mm çapında modellenmiş (Şekil

5) ve doğrulama deneylerinin yapılması için, bindirme uzunluğu 10 mm, eğrilik yarı çapı 30 mm model den numuneler CNC (Computer Numerik Control) tezgâhında hazırlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Eğrisel yüzeyli boru bağlantı parçaları

### 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, 6). Hazırlanan numuneler Shimadzu AG – X marka ve model burulma test cihazında doğrulama deneyleri yapılmıştır (Şekil 7).



Şekil 6. Test düzeneği için hazırlanan numuneler

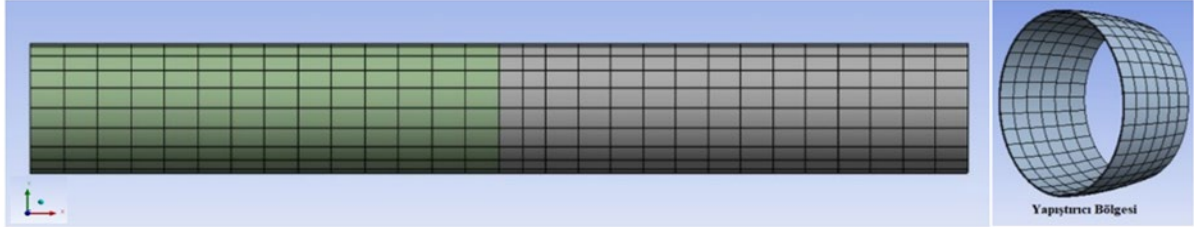


Şekil 7. Shimadzu AG – X marka burulma cihazı

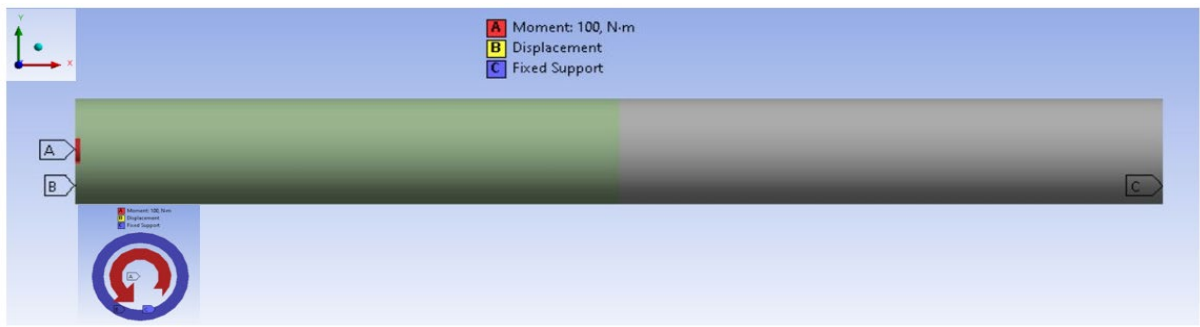
### 2.3. Nümerik Analizler

Nümerik analizler için Ansys Workbench 2015 paket programı kullanılmıştır [19]. 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 eleman kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha hasas sonuçlar elde

etmek için, gerilme dağılımları açısından kritik bölge olan yapıştırıcı bölgesi daha küçük elemanlara bölünmüştür (Şekil 8). Oluşturulan modeller deneysel şartlara göre sınır şartları oluşturularak analizleri yapılmıştır (Şekil 9). Elemanlara ayırma işlemi yapılan analizin doğruluğunu etkileyen önemli bir aşamadır. Elde edilen numuneler burulma yüküne maruz bırakılarak nümerik sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 8. Numunelerin ANSYS model örneği



Şekil 9. Sınır Şartları

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, Tartışma ve Sonuçlar

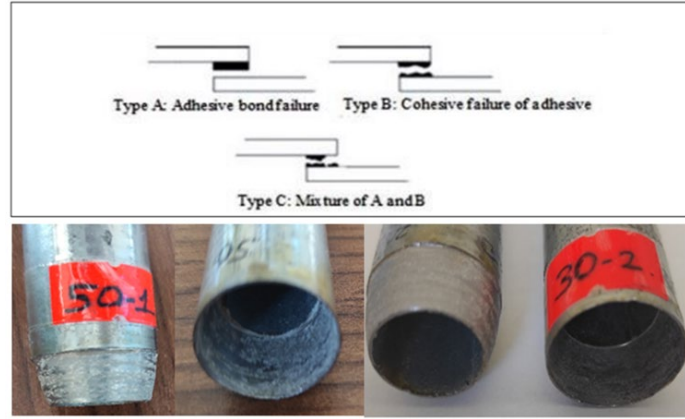
#### 3.1. Deney Sonuçları

Bindirme uzunluğu (L) 10 mm olan deney numuneleri 30 mm eğrisel yarıçaplar için burulma testine tabi tutulmuştur. Burulma deneyi sonuçlarında, yapıştırıcı bölgesinde ve yapıştırıcı ara yüzeyinde cohesive hasar şeklinde hasara maruz kalarak koptuğu gözlenmiştir (Şekil 10). 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).

Tablo 2. Deneysel ve Nümerik sonuçların karşılaştırılması

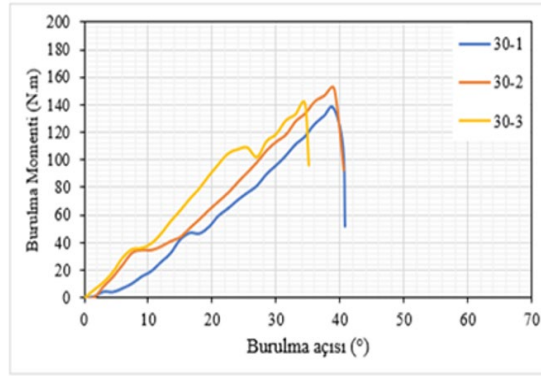
Eğrisel Yarıçap (r) mm	Bindirme Uzunluğu (L) mm	Deneysel Ortalama (N.m)	Nümerik Çözüm (N.m)	(%) (Nüm/Den)
30	10	142,3	131,50	0,92





Şekil 10. Deney sonrası yapıştırıcı hasar yüzeyleri

Deney sonuçları, burulma açısına bağlı olarak maksimum burulma momenti değerleri elde edilmiş ve grafikler Şekil 11’de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, eğrisel bindirme bağlantısının ortalama 142,3 N.m burulma momentine ve 37° burulma açısına karşılık gelerek hasara uğradıkları gözlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Numunelerin deneysel sonuçları

### 3.2. Nümerik Sonuçlar

Bindirme uzunluğu 10 mm olan ve alın bölgesi düz, scarf ve eğrisel olan numunelerin katı modelleri oluşturularak Ansys Workbench programında analizleri yapılmıştır. Tüm numunelerin maksimum burulma moment değerleri Table 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Maksimum burulma momenti değerleri

Bağlantı tipi	Bindirme Uzunluğu (L) mm	Burulma Momenti (N.m)
Düz	10	167,00
Scarf	10	158,00
30	10	131,50

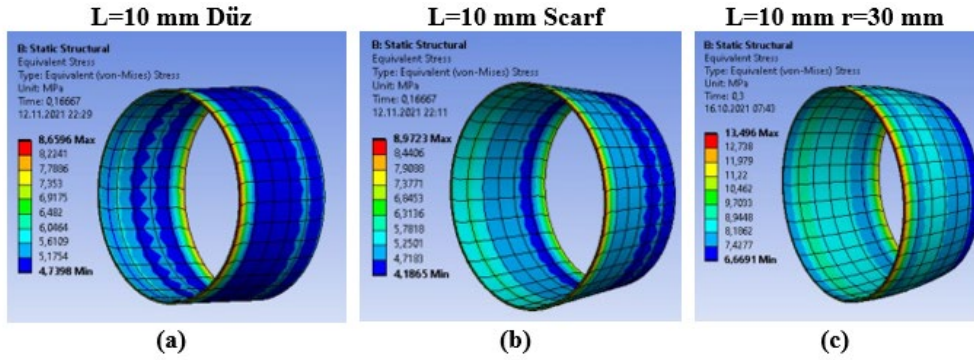
Tablo 3 incelendiği zaman numunelerin lineerliği arttıkça taşımış oldukları burulma moment değerlerinin arttığı görülmektedir. Maksimum burulma momentinin bağlantı tipi düz olan modelde olduğu gözlenmektedir. Üç boyutlu modeli oluşturulan numunelerin yapıştırıcı bölgesindeki gerilme analizi için tüm 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 (Tablo 4).

**Tablo 4:** 100 N.m sabit yükte yapıştırıcı bölgesi gerilme analizi

Bağlantı tipi	Bindirme Uzunluğu (L) mm	$\sigma_{eqv}$	$\tau_{max}$	$\tau_{xy}$	$\tau_{xz}$	$\tau_{yz}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
Düz	10	8,66	5,13	4,32	4,32	4,79	0,013	3,95	3,95
Scarf	10	8,97	5,37	5,13	5,13	5,51	0,04	4,65	4,65
30	10	13,50	7,63	6,38	6,38	6,8	0,053	6,65	6,65

Bağlantı tipine bağlı olarak Tablo 4 incelendiğinde, tüm gerilme değerlerinin bağlantı tipi lineerleştikçe gerilme değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Buda gerilme değeri azaldıkça taşıdıkları burulma hasar yükünün artacağı anlamına gelmektedir.

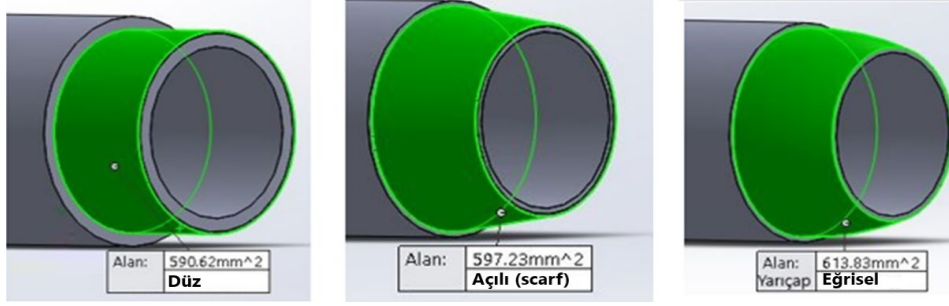
Numunelerin binidirme uzunluğu boyunca gerilme dağılımlarının incelenmesi için görsel olarak eşdeğer gerilme sonuçları ( $\sigma_{eqv}$ ) Şekil 12’de verilmiştir.



**Şekil 12.** Bindirme uzunluğu 10 mm için Eşdeğer gerilmeler ( $\sigma_{eqv}$ )

Yapıştırıcı bölgesindeki eşdeğer gerilme sonuçları incelendiğinde maksimum eşdeğer gerilmenin eğrisel bindirme bağlantısında minimum gerilmenin ise düz bağlantı tipinde olduğu görülmektedir. Tüm bağlantı tiplerinde gerilme değerlerinin bindirme uzunluğunun uç bölgelerinde maksimum olduğu ve bindirme uzunluğunun orta bölgesine doğru ilerledikçe gerilme değerlerinin düştüğü görülmektedir. Burulmaya maruz düz, açılı ve eğrisel boru bindirme bağlantılarında hasarın uç bölgelerde başlayarak ilerlediği görülmektedir.





Şekil 13. Bağlantı tipine göre yüzey alanları

Yapıştırıcının uygulanmış olduğu yüzey alanı (Şekil 13) 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.

### 3.3. Sonuçlar

Bu çalışmada burulmaya maruz boru bindirme bağlantılarının deneysel ve nümerik olarak araştırılması yapılmıştır. Bunun için üç tip model oluşturulmuş bağlantı tipine bağlı olarak mukavemet üzerinde etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, deneysel ve nümerik sonuçlar göstermiştir ki;

Deneysel ve nümerik sonuçlar %84 uyumlu çıkmıştır. Bağlantı tipinin lineerliği arttıkça taşımış oldukları burulma hasar yüklerinin arttığı gözlenmiştir. Sırasıyla düz, açılı ve eğrisel bindirme bağlantılarında hasarın başlangıç bölgesi olan yapıştırıcının uç bölgelerinde meydana gelen gerilme değerlerinin arttığı gözlenmiş ve taşımış oldukları hasar yüklerinin azaldığı görülmüştür. Uygulandığı yüzey alanına bağlı olarak elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, eğrisellikten düze doğru gidildikçe yapıştırıcının uygulanmış olduğu yüzey alanının azaldığı, taşımış oldukları burulma hasar yükünün arttığı gözlenmiştir. Yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanının artması nedeniyle taşımış oldukları burulma hasar yükünün artması beklenirken tam tersi bir durum söz konusu olmuştur. Bu durum bağlantı tipinin linerlikten uzaklaştıkça veya geometri eğriselleştikçe daha kolay soyulma gerilmelerine maruz kaldıklarını göstermiştir.

### Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından MÜFMAP/2019-0009 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

### Kaynaklar

- [1] Çalık A. Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak: Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2008.
- [2] Özdemir Y. Nanoparçacık Katkılı Epoksi Esaslı Yapıştırıcıların Mekanik ve Termal Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2018.

- [3] Çitil Ş. Ortası boş ve ara elemanlı çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi. Doktora tezi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi; 2012.
- [4] Özel A, Aydın M, Temiz Ş. The effects of overlap length and adherend thickness on the strength of adhesively bonded joints subjected to bending moment. *Journal of adhesion science and technology* 2004;18(3):313-325.
- [5] Aydın MD, Aydın Ş, Temiz A. Özel. Yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlendiği deneysel yöntemler. *Mühendis ve Makina* 2004;45(536):18-24.
- [6] Aydın MD, Özel A, Ş. Temiz. Non-linear stress and failure analyses of adhesively-bonded joints subjected to a bending moment. *Journal of adhesion science and technology* 2004;18(14):1589-1602.
- [7] Temiz Ş. Application of bi-adhesive in double-strap joints subjected to bending moment. *Journal of adhesion science and technology* 2006;20(14):1547-1560.
- [8] Aydın MD, Temiz Ş, Özel A. Effect of curing pressure on the strength of adhesively bonded joints. *Journal of Adhesion* 2007;83(6):553-571.
- [9] Sülü İY, Temiz Ş, Aydın MD. Layer effects of multi-layered face to face adhesively bonded composite pipes subjected to internal pressure. *Academic Journal of Science* 2015;4(3):195-202.
- [10] Saraç İ, Aydın H, Temiz Ş. Experimental determination of the static and fatigue strength of the adhesive joints bonded by epoxy adhesive including different particles. *Composites Part B: Engineering* 2018;155:92-103.
- [11] Çitil Ş. Hasarlı boruların tamirinde yama malzemesinin yapıştırıcı üzerine etkilerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2017;23(4):422-426.
- [12] Saraç İ. Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Mil-Göbek Bağlantılarında Lineer-Elastik Gerilme Analizi ve Göbek Kenar Geometrisinin Dayanıma Etkisinin Araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 2020;7(3):994-1007.
- [13] Zou GP, Taheri F. Stress analysis of adhesively bonded sandwich pipe joints subjected to torsional loading. *International Journal of Solids and Structures* 2006;43(20):5953-5968.
- [14] Taş B. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş konik geçmeli bağlantıların burulma momenti altındaki performansları. Yüksek Lisans Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2016.
- [15] Aimmanee S, Hongpimolmas P. Stress analysis of adhesive-bonded tubular-coupler joints with optimum variable-stiffness composite adherend under torsion. *Composite Structures* 2017;164:76-89.
- [16] Tuzcu Z. Farklı yapıştırıcılar ile tamir edilmiş hasarlı izotropik borularda yapıştırıcıların performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Adıyaman: Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2018.
- [17] Çitil Ş, Bozkurt İ, Aydın MD. Experimental and 3D non-linear stress analysis of adhesively bonded pipes with curved-surface lap joints. *The journal of adhesion* 2018;95(5-7):515-528.
- [18] Çitil Ş, Bozkurt İ. Eğrisel yüzeyli boru bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2017;7:63-72.
- [19] ANSYS Workbench V15. Swanson Analysis Systems Inc. 2015.
- [20] Oğuz ZA, Erklığ A, Bozkurt ÖY. Effects of Hydrothermal Seawater Aging on the Mechanical Properties and Water Absorption of Glass/Aramid/Epoxy Hybrid Composites. *International Polymer Processing* 2021;36(1):79-93.
- [21] Oğuz ZA, Erklığ A, Bozkurt ÖY. Degradation of hybrid aramid/glass/epoxy composites hydrothermally aged in distilled water. *Journal of Composite Materials* 2021;55(15):2043-2060.