

EĞRİSEL YÜZEYLİ BORU BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Şerif ÇİTİL, İsmail BOZKURT*

Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye
Geliş tarihi: 17.10.2017 Kabul tarihi: 23.10.2017

ÖZET

Yapıştırma bağlantıları endüstrinin hemen hemen her sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Su, doğalgaz, petrol gibi maddeleri taşıyan tesisat sistemleri de bu sektörlerden biridir. Yapıştırma bağlantıları, düzgün gerilme dağılımı, sızdırmazlık, korozyon, farklı türden parçaları birleştirebilme özellikleri ve daha birçok avantajlarından dolayı perçin, civata ve özellikle kaynak gibi geleneksel birleştirme tekniklerine bir alternatif olmuştur. Bu çalışmada iç basınca maruz borularda bağlantı modeli olarak eğrisel yüzeyli bindirme bağlantıları düşünülmüş olup, bu bağlantı tiplerinin mukavemeti üzerinde etkileri incelenmiştir. Bunun için çelik borular (St37) üzerine eğrisel bindirme bağlantıları oluşturularak yapıştırıcı (DP810) ile birleştirilmiştir. Daha sonra oluşturulan bağlantı modellerine iç basınç uygulanmış ve bağlantıların mekanik davranışları nümerik olarak incelenmiştir. Ayrıca yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantıların gerilme analizi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan bağlantı modelleri boru cidar kalınlığına ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak karşılaştırılarak sonuçlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Yapıştırıcılar, eğrisel yüzeyli bağlantılar, sonlu elemanlar, borular, gerilme analizi*

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CURVED SURFACE PIPE CONNECTIONS

ABSTRACT

Adhesive connections are widely used in almost every sector of the industry. Plumbing systems that carry materials such as water, natural gas and oil are among these sectors. Adhesive joints are an alternative to traditional joining techniques such as rivets, bolts and especially welding due to their uniform stress distribution, sealing, corrosion, their ability to join different types of pieces, and many other advantages. In this study, curved surface overlay connections are considered as the connection model in exposed pipes in internal pressure and the effects on the strength of these connection types are investigated. For this purpose, curved lap joints are formed on the steel pipes (St37) and joined with the adhesive (DP810). Internal pressure was then applied to the connection models created and the mechanical behavior of the connections was numerically investigated. Furthermore, finite element method was used for stress analysis of adhesives bonded joints. The results were given by comparing the created connection models according to pipe wall thickness and overlap length.

Keywords: *Adhesive, curved-lap joint, finite elements, pipe, stress analysis*

1. Giriş

Su, doğal gaz, petrol gibi maddeleri taşıyan tesisat sistemlerinde boru bağlantıları genellikle klasik yöntem olan vida bağlantılarıyla veya kaynak teknolojileri kullanılarak yapılmaktadır. Vida ile

* e-posta: ibozkurt@adiyaman.edu.tr

birleştirme bağlantılarında özellikle sızdırmazlık problemleri yaşanmaktadır. Ayrıca vidanın açıldığı bölgede borunun kesit alanı azalmakta ve mukavemet açısından zayıflamasına sebep olmaktadır. Kaynakla birleştirme bağlantısında ise, kaynak yapılan bölgenin ani soğuması sonucunda artık gerilmeler oluşmakta ve ani basınç değişimi sonucunda kaynağın olduğu bölgede hasara sebep olmaktadır. Yapıştırma bağlantıları ise düzgün gerilme dağılımı, sızdırmazlık, korozyon, farklı türden parçaları birleştirebilme özellikleri ve daha birçok avantajlarından dolayı geleneksel birleştirme tekniklerine bir alternatif oluşturmaktadır [1-2]. Yapıştırma bağlantıları dikdörtgen kesitli malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanıldıkları gibi, dairesel kesitli olan boruların birleştirilmesinde ve hasarlı boruların tamirinde de yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Boru bağlantıları ve boruların onarımı ile ilgili literatürde birçok çalışmalar yapılmış olmasına rağmen [3-14] konfigürasyonla ilgili yeterince çalışma mevcut değildir. Yapıştırma bağlantılarında bağlantının mukavemeti, bağlantının tipine, bağlantının boyutlarına, birleştirilen malzemenin türüne ve yapıştırıcının özelliklerine bağlıdır. Endüstride özellikle dikdörtgen kesitli parçaların yapıştırıcı ile birleştirilmesinde birçok bağlantı tipleri mevcuttur. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş boru bağlantılarında ise, farklı bağlantı tipleri ile ilgili çok fazla çalışma mevcut değildir. Zou ve Taheri [3] yapmış olduğu çalışmada, boru bağlantılarında bağlantının mukavemet olarak en zayıf olduğu bölgenin bağlantı bölgesi olduğunu ve yapıştırıcı ile birleştirilmiş boru bağlantılarında en yaygın olarak kullanılan bağlantı tiplerinin soket, boru bindirme, flaşlı bağlantılar olduğunu söylemiştir. Yapıştırıcılar boruların birleştirilmesinde kullanıldığı gibi hasarlı boruların tamiri içinde kullanılmaktadır. Çitil vd. [7] tarafından yapılan çalışmada hasarlı boruların tamirinde hızlı ve pratik bir yöntem olarak yama önerilmiştir. Ayaz vd. [14] tarafından yapılan çalışmada hasarlı boruların tamirinde yapıştırma bağlantılarıyla hızlı bir çözüm olduğu ileri sürülmüştür. Zarrinzadeh vd. [15] çatlak oluşmuş borularda çatlak ilerlemesini yavaşlatmak için polimer kompozitlerle tamir edilmesini önermişlerdir. Parashar ve Mertiny [16] yapıştırıcıyla birleştirilmiş kompozit boru bağlantılarında farklı yük koşulları altında farklı bağlantı modelleri oluşturarak bağlantı tiplerinin hasar analizini yapmışlardır.

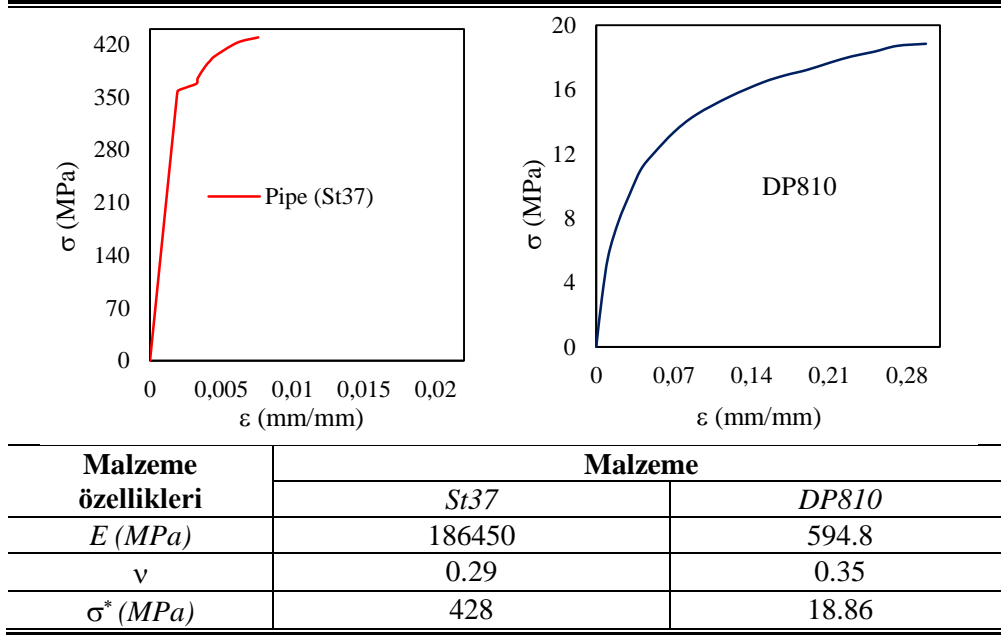
Dayanıklı bir yapıştırma bağlantısının oluşturulması, yapıştırıcının ve birleştirilen parçaların türüne, uygulandığı yüzeye, bindirme uzunluğuna, kalınlığa, sıcaklığa ve bağlantı modelinin tipine bağlıdır. Ayrıca hasar yüküne ve bağlantı tipine bağlı olarak oluşan gerilmeleri azaltılması yapıştırma bağlantılarında emniyetli ve dayanıklı bir yapıştırma bağlantısının oluşturulması modelin uygun bir şekilde tasarlanmasına bağlıdır. Yapıştırma bağlantıları için model büyük önem arz etmektedir. Bunun için literatürde özellikle kare kesitli parçaların birleştirilmesi ile ilgili birçok önemli çalışmalar yapılmıştır. Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanının artması genellikle taşınmış oldukları hasar yüklerinde ciddi manada artışa sebep olmaktadır. Fakat yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanının artması her bağlantı modelini daha mukavemetli hale getireceği anlamına gelmemektedir. Çünkü bağlantı modeli soyulma gerilmelerine maruz kaldığı takdirde bağlantının yüzey alanının arttırmak bir çözüm önerisi değildir. Bu istenmeyen gerilmelerin ortadan kaldırılması için birçok bilim adamını uygun bağlantı modellerini tasarlamaya ve çözüm üretmeye zorlamıştır.

Bu çalışmada aynı bindirme uzunluğuna ve kalınlığa sahip borular üzerine yeni bir bağlantı tipi olan eğrisel bindirme bağlantısı oluşturulmuştur. Eğrisel tip bindirme bağlantısının kullanılmasının amacı, yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanının artırılmasıdır. Düz, açılı ve eğrisel bağlantı tipleri sırasıyla yüzey alanı gitgide artırılmış olup, artan yüzey alanına bağlı olarak bağlantı tiplerinin mukavemet üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. Bunun için galvanizli çelik borular üzerine aynı bindirme uzunluğuna ve kalınlığa sahip olacak şekilde eğrisel yüzeyli bağlantı modelleri oluşturulmuş ve oluşturulan modeller yapıştırıcı ile birleştirilerek iç basınca maruz bırakılmıştır. İç basınca maruz bırakılan bağlantı tipleri nümerik olarak incelenmişlerdir. Ayrıca oluşturulan bağlantı modellerin boru et kalınlığı, bindirme uzunluğu gibi parametrelere bağlı olarak da mukavemet üzerine etkileri incelenmiştir.

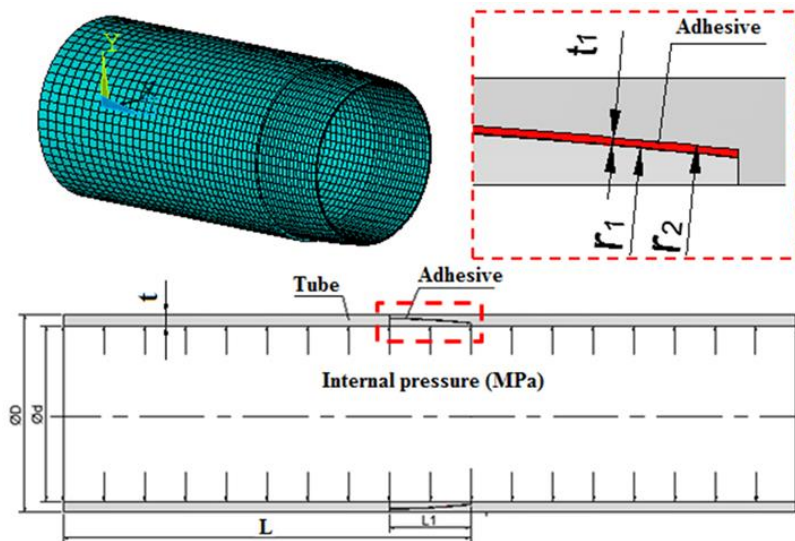
2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada malzeme olarak özellikle tesisat sistemlerinde kullanılan St37 Galvanizli çelik borular ve birleştirme elemanı olarak nemli ortama dayanıklı iki bileşenli akrilik yapısal yapıştırıcı olan DP810 kullanılmıştır. Yapıştırıcının mekanik verileri, ISO 527 [17-18] standartlarına göre üç adet bulk numunesi oluşturularak 1 mm/dak çekme hızı ile çekilerek elde edilmiştir. Yapıştırıcı (DP810) ve galvanizli çelik borunun (St37) mekanik özellikleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Boru (St37) ve yapıştırıcının (DP810) mekanik ve fiziksel özellikleri



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 ANSYS 15 paket programı kullanılmıştır [19]. Yapılan analizlerde yapıştırma bağlantısı, üç boyutlu dikdörtgen prizmalı 20 düğüm noktasına sahip solid186 eleman kullanılarak modellenmiştir. Gerilme dağılımları açısından kritik bölge

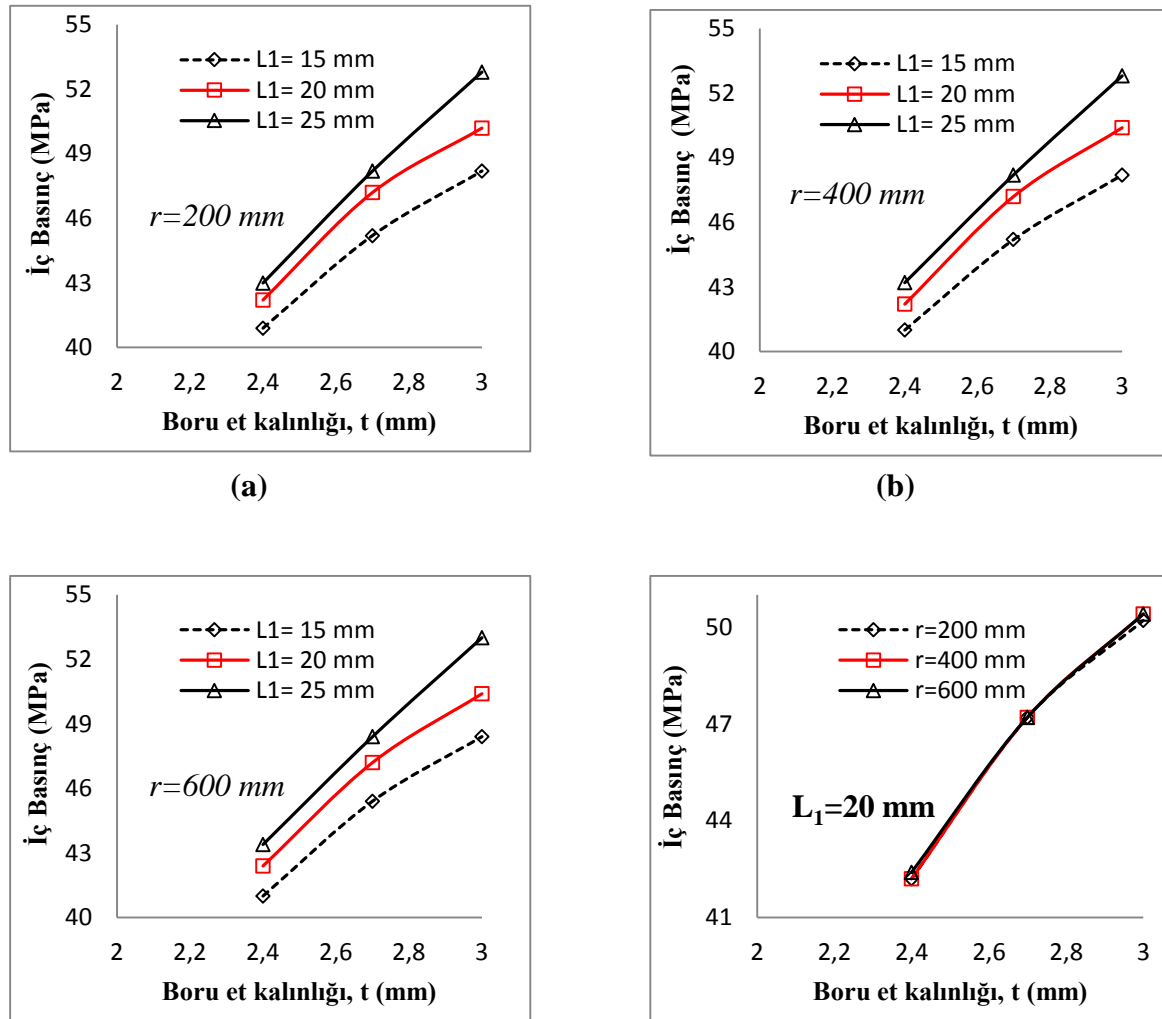


Şekil 1. Numunelerin sonlu elemanlarla modellenmesi

olan yapıştırma işleminin gerçekleştirildiği bölge, daha küçük elemanlara bölünmüştür (Şekil 1). Ayrıca yapıştırıcı ve boru üzerinde meydana gelen eşdeğer gerilme dağılımlarının elde edilmesi için Hidrostatik basınca göre kullanılarak elde edilmiştir.

3. Araştırma Bulguları

Sonlu eleman çözümlerinden elde edilen yapıştırıcı ile birleştirilmiş boru bağlantı modelinin boru cidar kalınlıkları (t) sırasıyla 2.4, 2.7, 3 mm dir. Bindirme uzunlukları ise $L_1=15, 20$ ve 25 mm'ye sahiptir. Ayrıca eğrisel yüzeylerin eğrilik yarıçapları $r=200$ mm için ($r_1=199.9$ $r_2=200.1$ mm), $r=400$ mm için ($r_1=399.9$ $r_2=400.1$ mm), $r=600$ mm için ($r_1=599.9$ $r_2=600.1$ mm) alınmış olup, eğrisel bindirme bağlantılarının nümerik çekme hasar yükleri Şekil 2'de verilmiştir.

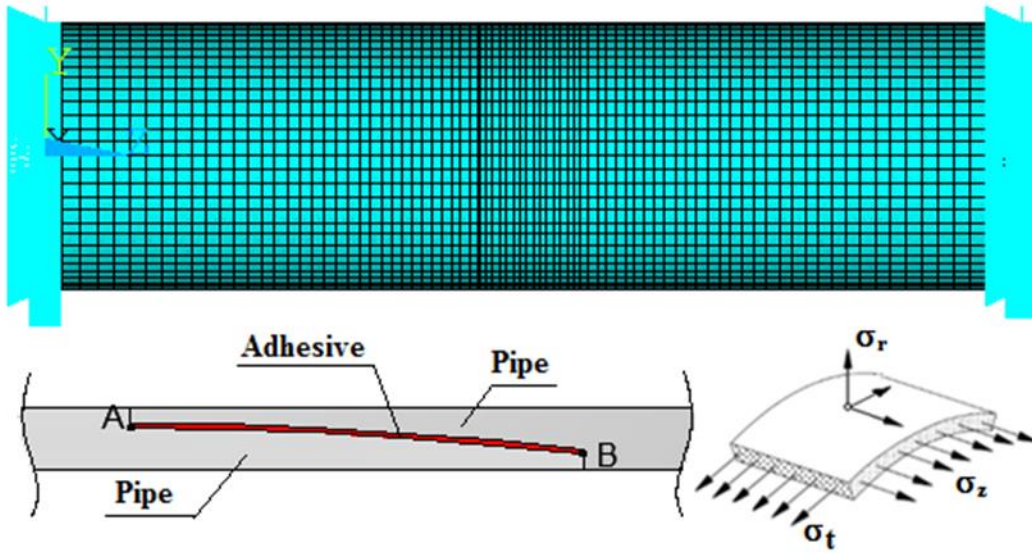


Şekil 2. Nümerik hasar yükü sonuçları

Şekil 2'de verilen hasar yükü sonuçları incelendiğinde, eğrisel yüzeyli boru bindirme bağlantılarında, bindirme uzunluğu ve boru dış çapının artmasına bağlı olarak taşınmış oldukları iç basınçta önemli ölçüde artış sergilediği görülmektedir. Boru içerisinde iç basınç arttıkça boru çapı teğetsel ve radyal yönde şekil değiştirmeye zorlanmaktadır. Boru çapı arttıkça borunun et kalınlığı artmaktadır. Boru et kalınlığı arttıkça da teğetsel ve radyal yönde borunun şekil değiştirmesi zorlaşmaktadır. Buna bağlı olarak da taşınmış oldukları iç basınç da ciddi ölçüde artış sergilenmiştir.

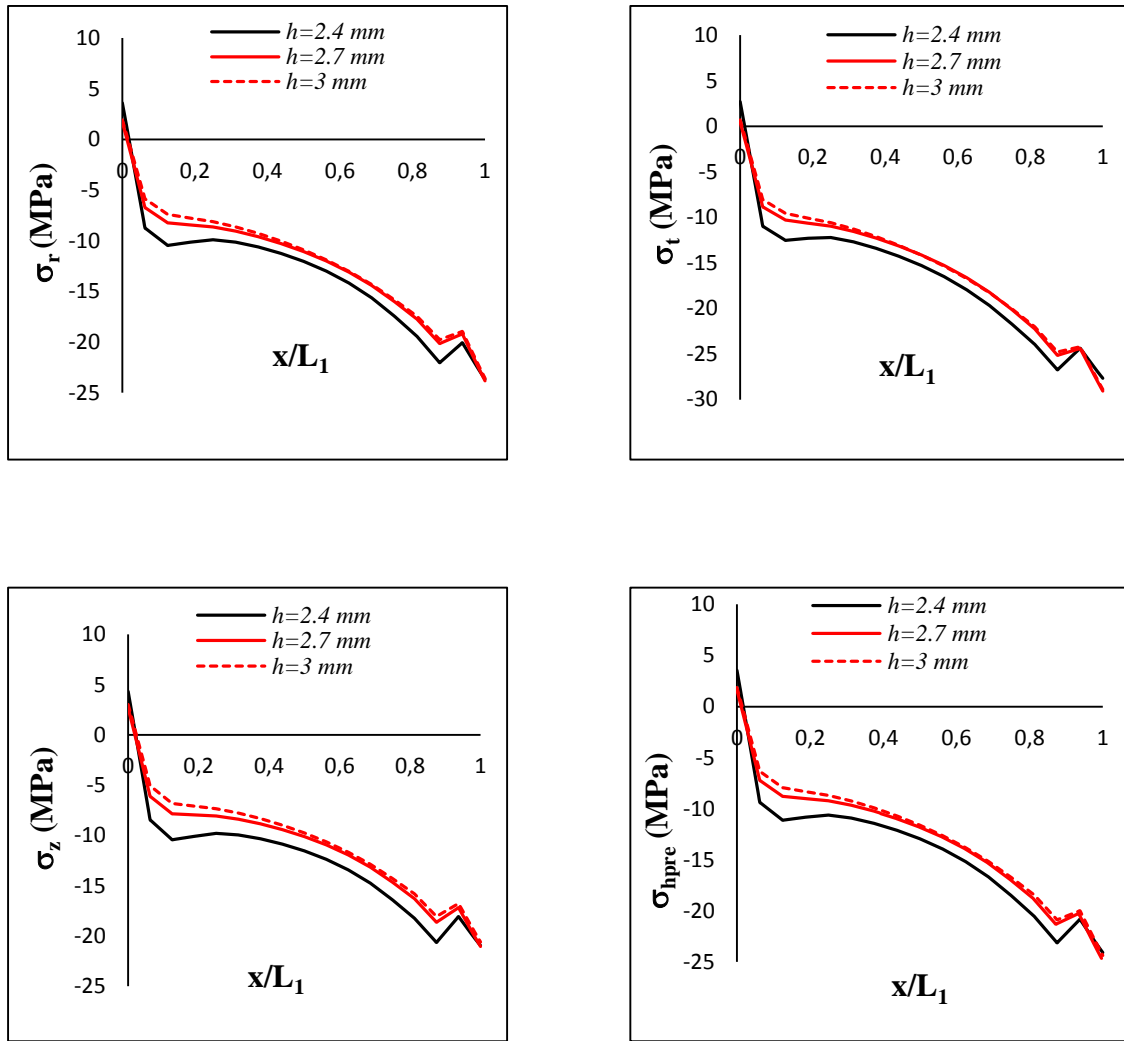
Şekil 2.a-b-c bindirme uzunluğuna bağlı olarak incelediğinde, bindirme uzunluğu arttıkça taşınmış oldukları iç basıncın arttığı görülmektedir. Boru bindirme bağlantılarında yapıştırıcının uygulandığı bindirme uzunluğu arttıkça, yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanın artacağı anlamına gelmektedir. Yapıştırıcının yüzey alanının artması boru bindirme bağlantısının daha fazla iç basınç taşımaya neden olmuştur. Şekil 2.d' de ise boru bindirme bağlantılarının eğrilik yarıçapına bağlı olarak taşınmış oldukları iç basıncın karşılaştırılması yapılmıştır.

Yapıştırıcıyla birleştirilmiş eğrisel boru bindirme bağlantısına uygulanan iç basınç ve sınır şartları Şekil 3'de verilmiştir. İç basınç radyal (r) ve teyetsel (t) yönde yönünde uygulanmıştır. Yapıştırma modeli için bindirme uzunluğu bölgesinde bulunan A-B hattı boyunca bindirme uzunluğu, parça kalınlığı ve eğriliğe bağlı olarak yapıştırıcıya ait gerilme dağılımlarının (σ_r , σ_t , σ_z ve σ_{hpre}) karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

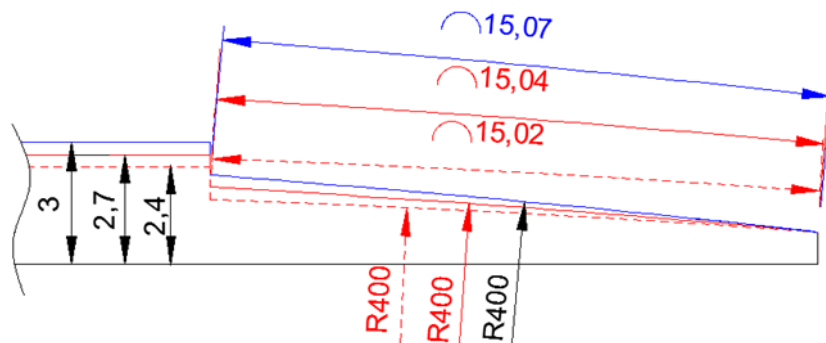


Şekil 3. Eğrisel boru bindirme bağlantısı (Sınır şartları ve A-B hattı)

Şekil 4, 6 ve 7 incelendiğinde gerilmelerin A noktasında minimum olduğu ve B noktasına doğru gidildiğinde ise gerilmelerin (σ_r , σ_t , σ_z ve σ_{hpre}) artarak maksimum değer aldığı gözlenmektedir. Ayrıca AB Hattı boyunca gerilmelerin bası karakterli olduğuda gözlenmektedir. Şekil 8'de aynı bindirme uzunluğuna ($L=20$ mm) ve iç çapa sahip ($d=43$ mm) boru bindirme bağlantılarının cidar kalınlığına göre karşılaştırılmaları yapılmıştır. Şekil 4'deki gerilme dağılımları incelendiğinde boru cidar kalınlığı azaldıkça radyal (σ_r) teğetsel (σ_t) ve z eksenini (σ_z) yönündeki gerilmelerle hidrostatik eşdeğer gerilmelerin (σ_{hpre}) arttığı gözlenmektedir. AB hattı boyunca A noktasından B noktasına doğru gidildikçe gerilmelerin (σ_r , σ_t , σ_z ve σ_{hpre}) arttığı ve B noktasında maksimum olduğu görülmektedir.



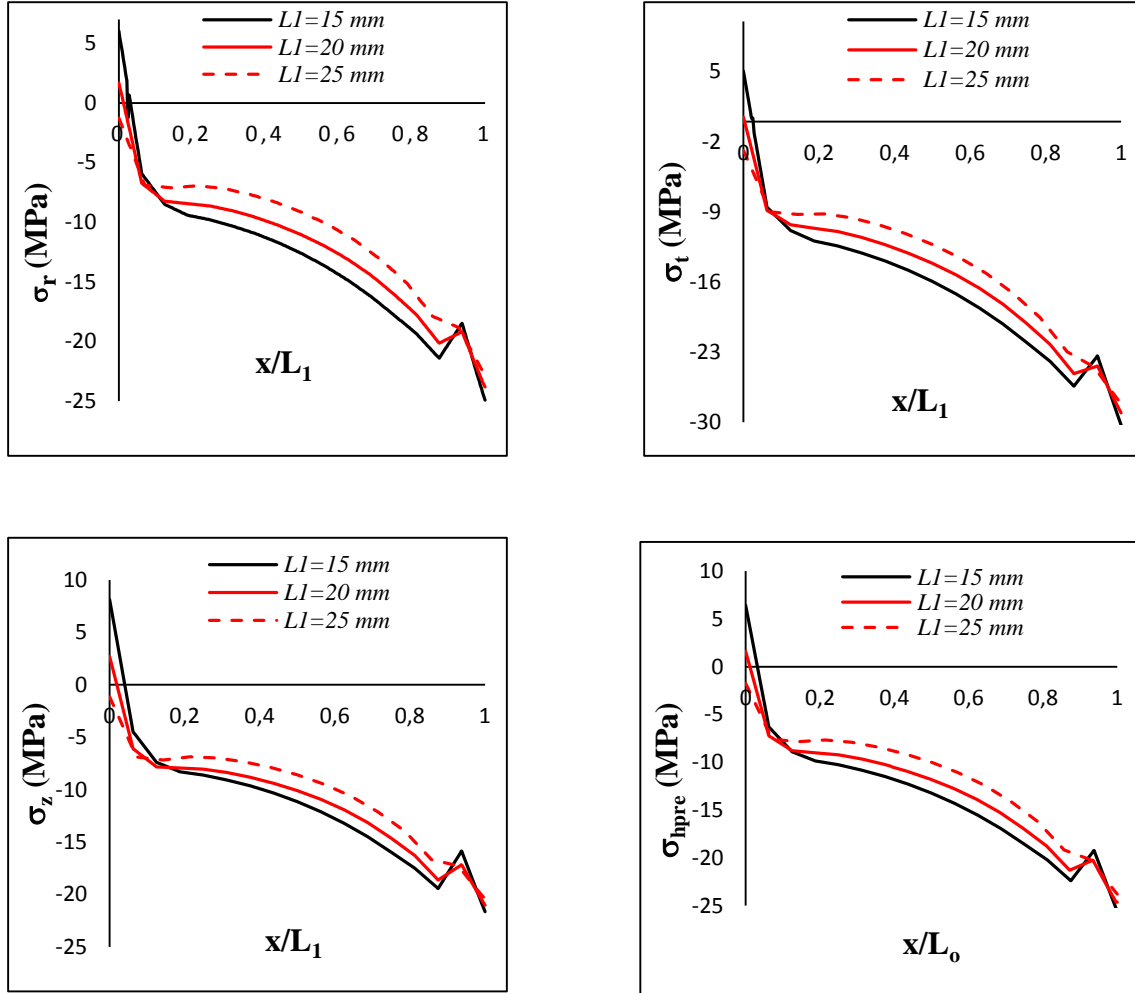
Şekil 4. $L_1=20$ mm bindirme uzunluğu ve $r=400$ mm eğrisellik yarıçapına sahip eğrisel yüzeyli boru bindirme bağlantılarında cidar kalınlığına bağlı olarak A-B hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 5. Boru cidar kalınlığına bağlı olarak yay uzunlukları

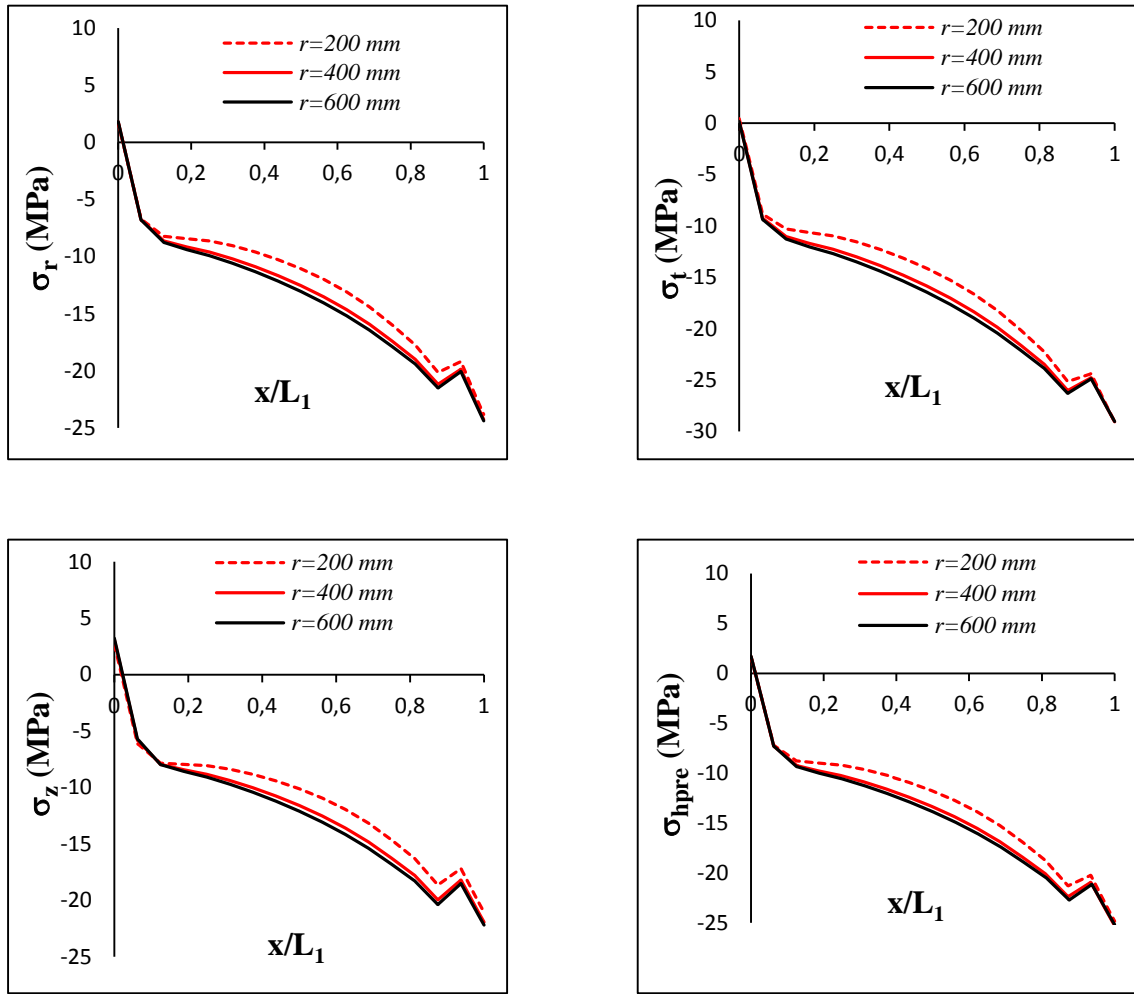
İç basınca maruz yapıştırıcı ile birleştirilmiş boru bağlantılarında, iç basıncın uygulandığı yüzeye yakın bölgede (B noktası) hasarın başladığı görülmektedir. İç basınca maruz eğrisel yüzeyli boru bindirme bağlantılarında boru cidar kalınlığı arttıkça şekil değiştirmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca Şekil

5’de görüleceği üzere cidar kalınlığı arttıkça boru bindirme bağlantılarının aynı eğrisellik yarıçapına sahip olsalar bile aynı yay uzunluğuna ($\overset{\frown}$) sahip olmadığı görülmektedir. Boru cidar kalınlığı arttıkça yay uzunluğuda ($\overset{\frown}$) artmaktadır. Dolayısıyla yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanı artmakta ve taşımış oldukları iç basınçta artış göstermektedir.

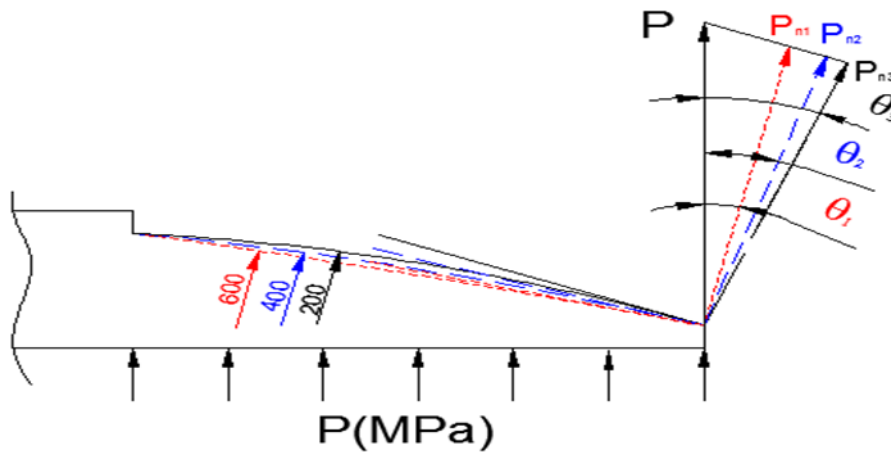


Şekil 6. $t=2.7$ mm cidar kalınlığı ve $r=400$ mm eğrisellik yarıçapına sahip eğrisel yüzeyli boru bindirme bağlantılarında bindirme uzunluğuna bağlı olarak A-B hattı boyunca gerilme dağılımları

Şekil 6’da aynı cidar kalınlığına sahip ($t=2.7$ mm) farklı bindirme uzunluğuna ($L_1=15, 20, 25$ mm) bağlı olarak gerilme dağılımlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bindirme uzunluğuna bağlı olarak gerilme dağılımları (σ_r , σ_t , σ_z , ve σ_{hp}) incelendiğinde bindirme uzunluğu arttıkça gerilmelerin düştüğü gözlenmiştir. Bindirme uzunluğu arttıkça yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanı ciddi miktarda artmaktadır, dolayısıyla da taşımış oldukları yük miktarı artmıştır. Buda gerilmelerin düşmesi anlamına gelmektedir.



Şekil 7. $L_1=20$ mm bindirme uzunluğu, $t=2.7$ mm cidar kalınlığına sahip eğrisel yüzeyli boru bindirme bağlantılarında eğrissellik yarıçapına bağlı olarak A-B hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 8. Eğrissellik yarı çapına bağlı olarak bağlı olarak iç basıncın yüzeyin normali ile yapmış olduğu açı ($\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$)

Şekil 7’de, $L_1=20$ mm bindirme uzunluğu, $t=2.7$ mm cidar kalınlığı için eğrisel yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlı olarak ($r=200, 400, 600$ mm) gerilme dağılımlarının ($\sigma_r, \sigma_t, \sigma_z, \text{ve } \sigma_{hpre}$) karşılaştırılması yapılmıştır. Gerilme dağılımları incelendiğinde eğrilik yarıçapı arttıkça gerilmelerin ($\sigma_r, \sigma_t, \sigma_z, \text{ve } \sigma_{hpre}$) arttığı görülmektedir. Bunun sebebi ise eğrilik yarıçapı azaldıkça eğrisel yüzeyin normaline uygulanan basıncın azalmasıdır. Şekil 8’de eğrilik yarı çapı arttıkça eğrisel yüzeyin normali ile uygulanan iç basınç arasındaki açının azaldığı $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$ görülmektedir. Açı azaldıkça yüzeyin normaline uygulanan basınçta artmaktadır. Dolayısıyla da eğrilik yarıçapı azaldıkça radyal (r), teyetsel (t) ve z eksenini yönündeki gerilmelerde azaldığı görülmektedir

4. Sonuçlar

Bu çalışmada iç basınca maruz eğrisel yüzeyli boru bindirme bağlantılarının nümerik olarak araştırılması yapılmıştır. Eğrisel bindirme bağlantılarında eğrilik yarıçapı, bindirme uzunluğu ve boru cidar kalınlığına bağlı olarak mukavemet üzerinde etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, eğrilik yarıçapı azaldıkça bağlantıların daha mukavemetli hale gelerek taşımış oldukları hasar yüklerinin önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Eğrilik yarı çapı arttıkça uygulanan iç basıncın, eğrisel yüzeyin normaline olan iz düşüm açısı küçülmüştür. İz düşüm açısına bağlı olarak da yüzeyin normaline uygulanan iç basınçta azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca, bindirme uzunluğu arttıkça yapıştırıcı ile birleştirmiş eğrisel yüzeyli boru bindirme bağlantılarının taşımış oldukları iç basınçta ciddi miktarda artış olmuştur. Bununla birlikte, boru cidar kalınlığı arttıkça eğrisel yüzeyli bindirme bağlantıların taşımış oldukları iç basınç artmıştır. Boru cidar kalınlığı arttıkça aynı bindirme uzunluk ve eğrisellik yarıçapına sahip olsalar bile yay uzunluklarının arttığı gözlenmiştir. Yay uzunluğu arttıkça yapıştırıcının uygulanmış olduğu yüzey alanı ve taşıdıkları iç basınç artmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından MÜFMAP/2015-0002 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Campilho RDSG, Banea MD, Pinto AMG, daSilva LFM, deJesus AMP. Strength prediction of single- and double-lap joints by standard and extended finite element modeling. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2011; 31: 363–372.
- [2] Liao L, Huang C. Numerical analysis of effects of adhesive type and geometry on mixed-mode failure of adhesive joint. *International Journal of Adhesion&Adhesives*2016; 68: 389–396.
- [3] Zou GP, Taheri F. Stress analysis of adhesively bonded sandwich pipe joints subjected to torsional loading. *International Journal of Solids and Structures* 2006; 43: 5953–5968.
- [4] Das RR, Pradhan B. Adhesion failure analyses of bonded tubular single lap joints in laminated fibre reinforced plastic composites. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2010; 30: 425–438.
- [5] Parashar A, Mertiny P. Adhesively bonded composite tubular joints: Review. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2012; 38: 58–68.
- [6] LeBono J, Barton L, Birkett M. Low temperature tensile lap-shear testing of adhesively bonded polyethylene pipe. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2017; 74: 57–63.
- [7] Çitil Ş, Ayaz Y, Temiz Ş, Aydın MD. Mechanical behaviour of adhesively repaired pipes subject to internal pressure. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 2017; 75: 88–95.
- [8] Hashim SA, Cowling MJ, Laerty S. The integrity of bonded joints in large composite pipes. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 1998; 18: 421-429.

- [9] Esmael RA, Taheri F. Influence of adherend's delamination on the response of single lap and socket tubular adhesively bonded joints subjected to torsion. *Composite Structures* 2011; 93: 1765–1774.
- [10] Woo KS, Ahn JS, and Yang SH. Cylindrical discrete-layer model for analysis of circumferential cracked pipes with externally bonded composite materials. *Composite Structures* 2016; 143: 317–323.
- [11] Grassi M, Cox B, Zhang X. Simulation of pin-reinforced single-lap composite joints. *Composites Science and Technology* 2006; 66: 1623–1638.
- [12] Li H, Zhang X, Qi D, Cai X, Ding N, Wei B, Qi G. Failure analysis of the adhesive metal joint bonded on anticorrosion plastic alloy composite pipe. *Engineering Failure Analysis* 2015; 47: 49–55.
- [13] Das RR, Baishya N. Failure Analysis of Bonded Composite Pipe joints subjected to internal Pressure and Axial loading. *Procedia Engineering* 2016; 144: 1047 – 1054.
- [14] Ayaz Y, Çitil Ş, Şahan MF. Repair of small damages in steel pipes with composite patches. *Materials Science & Engineering Technology* 2016; 47: 503-511.
- [15] Zarrinzadeh H, Kabir MZ, Deylami A. Experimental and numerical fatigue crack growth of an aluminium pipe repaired by composite patch. *Engineering Structures* 2017; 133: 24–32.
- [16] Parashar A, Mertiny P. Adhesively bonded composite tubular joints: Review. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2012; 38: 58–68.
- [17] ISO 527–1: Plastics-determination of tensile properties. Part 1: General principles, 1993.
- [18] ISO 527–2: Plastics-determination of tensile properties. Part 2: Test conditions for moulding and extrusion of plastics. 1993.
- [19] ANSYS. The general purpose finite element software (version 15) Inc., 275 Technology Drive, Canonsburg, PA, USA, 15317, 2015.