

HASAR GÖREN GALVANİZLİ BORULARIN EPOKSİ ESASLI YAPIŞTIRICI İLE TAMİRATINDA BORU YAMA GEOMETRİSİ İLE BORU PATLAMA BASINCI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Fatih ŞAHAN¹ (ORCID: 0000-0002-3334-3945)*

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye

Geliş / Received: 31.10.2017
Kabul / Accepted: 08.03.2018

ÖZ

Bu çalışmanın amacı iç basınca maruz hasarlı galvanizli boruların epoksi esaslı yapıştırıcı ile tamirinde en uygun yama açılarının ve bindirme uzunluklarının tespit edilmesidir. Hasarlı borular, borularda oluşturulan çatlakların yapıştırma bağlantıları tekniği ile tamir için en uygun yama geometrisinin tespit edilmesi amacıyla farklı geometrideki yamalar kullanılarak epoksi yapıştırıcı ile tamir edilmiştir. Farklı boyutlardaki yamalarla tamir yapılmış galvanizli izotropik borular iç basınç testlerine tabi tutulmuş ve boru patlama basınçları elde edilmiştir. Boru patlama mukavemetleri ayrıca ANSYS yazılımı ile elde edilmiş ve deneysel ve nümerik değerler karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu çalışmada, elde edilen deneysel ve sayısal sonuçlar birbirlerine çok yakın olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışma ile yama bindirme açılarının ve yama bindirme uzunluklarının boru patlama basıncı üzerindeki etkileri deneysel ve nümerik olarak ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Boru, çatlak, iç basınç, sonlu elemanlar, yapıştırıcı

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PATCH GEOMETRY AND PIPE EXPLOSION PRESSURE IN THE REPAIR OF DAMAGED GALVANIZED PIPES WITH EPOXY ADHESIVE

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the most suitable patch angles and trap lengths for repairing damaged galvanized pipes exposed to internal pressure using epoxy-based adhesive. Damaged pipes are repaired using adhesive bonding technique. Patches were used in different geometries to determine the optimal patch geometry for this repair. Galvanized isotropic pipes repaired using different geometries were subjected to internal pressure tests and pipe explosion pressures were obtained. Pipe explosion pressures were also determined by ANSYS analyzes and experimental and numerical values were given comparatively. In this study, the experimental and numerical results obtained have emerged as very close to each other. With this study, the effects of patch overlap angles and patch overlays on pipe explosion pressures have been presented experimentally and numerically.

Keywords: Pipe, crack, internal pressure, finite elements, adhesive

*Corresponding author / Sorumlu yazar, e-mail / e-posta: fatihsahan@gmail.com

1. GİRİŞ

Boru hatlarında sıcaklık değişimi, ani basınç değişiklikleri, korozyon, titreşimler, dış yükler vb. nedenlerden dolayı borularda hasarlar oluşabilmektedir. Ayrıca korozyon sebebiyle borularda zamanla hasar meydana gelmekte ve oluşan hasarlar sistemin durmasına sebebiyet vermektedir. Boru hasarlarının tamiri hem uzun zaman almakta hem de maliyet ve işçilik üzerinde büyük etki oluşturmaktadır.

Literatürde borularda meydana gelen hasarların onarılmasına yönelik pek çok çalışma mevcuttur. Matsui [1] kayma gerilmelerine maruz dikdörtgen ve boru bindirme yapıştırma bağlantılarının geometrik ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Kumar [2] yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların, bağlantı ömrü ve dayanımının bağlantı boyunca düzenli bir gerilme dağılımı ve bindirme uçlarındaki gerilme yoğunluğuna bağlı olduğunu söylemiş ve eksenel yüklere maruz boru yapıştırma bağlantılarının bağlantı hattı boyunca fonksiyonel modüllü olarak gerilme analizlerini teorik olarak incelemiştir. Lees [3] yapmış olduğu çalışmada, gerek gaz dağıtım şebekelerinde gerekse şehir şebekelerinde korozyondan dolayı boru hatlarında meydana gelen hasarların sadece 2005 yılında getirmiş olduğu maliyetin yaklaşık olarak 40 milyon doları bulduğunu görmüş ve çözüm önerisi olarak çelik boru yerine korozyona daha dayanıklı cam lif takviyeli polimer kompozit boru ve yapıştırma bağlantılarını önermiştir. Zou ve Taheri'nin [4] en genel yüklerden biri olan burulma yüküne maruz yapıştırıcı ile boru bağlantılarında çeşitli bağlantı tipleri üzerinde analitik ve nümerik çalışmalar yapmıştır. Yapmış oldukları analiz sonucunda gerilme üzerinde bağlantı tipleri ve parametrelerin önemli bir etkiye sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Liu ve ark. [5] yapmış oldukları çalışmada kaynakla yapılan boru bağlantılarında artık gerilmelerin, dış ve iç yüzeylerde kaynak bölgesi ve kaynağa yakın bölgelerde oluştuğunu tespit etmişlerdir. Korozyondan kaynaklanan ve kaynakla yapılan bağlantı ve tamir işlemlerinde oluşan bu olumsuz ve istenmeyen durumlar, bilim adamlarını farklı materyallere, birleştirme ve tamir tekniklerine yönlendirmiştir. Shamsuddoha ve ark. [6] yapmış oldukları çalışmada hasarlı bölgenin tamirinde fiber takviyeli kompozit yapıların kullanılmasını çözüm olarak önermiştir. Su, gaz ve petrol endüstrisinde, galvanizli çelik borular ve kompozit borular farklı konfigürasyonlarla birleştirilmektedir. Boru bağlantılarında bağlantı bölgeleri sistemdeki en zayıf kısımlardır. Kara ve ark. [7] yapmış oldukları çalışmada düşük hızda darbe sonucu hasar gören boruların tamirinde kompozit yama kullanmış, kompozit yama tabaka sayısının etkilerini araştırmışlar ve boru cidar kalınlığının önemli bir faktör olduğunu tespit etmişlerdir. Ayaz ve ark. [8] çalışmalarında düşük hasarlı çelik boruların kompozit yama ile tamirini gerçekleştirmiş ve değişik yama sarım açıları ile yama bindirme uzunlukları için hem deneysel çalışmalar hem de nümerik analizler yapmışlardır. Ayrıca çalışmalarına ilaveten birleştirme işleminde hasarlı boru ile kompozit yama arasındaki yapıştırıcının mekanik davranışlarına etki eden parametreleri ortaya koymuşlardır. Çitil [9] hasar görmüş çelik boruların yamalarla tamiri üzerinde yaptığı çalışmada sabit boyutlarda çelik, alüminyum ve kompozit yamalar kullanmak suretiyle çelik boruların farklı malzemeler ile tamiratında yapıştırıcının davranışı araştırmıştır. Yazar çalışması sonucunda hasarlı boruların tamirinde malzeme uyumu açısından daha iyi verim elde edilmesi için borunun malzemesine mukavemet değerlerine yakın malzeme seçilmesi gerektiğini önermiştir. Çitil ve ark. [10] yaptıkları çalışmada çatlak hasarına uğranmış boruları ele alarak akrilik yapıştırıcı kullanmak suretiye tamir etmişler ve yama kalınlığı, bindirme açısı ve bindirme uzunluğunun boruların gerilme dağılımlarını ve mukavemeti üzerindeki neleri değiştireceğini göstermişlerdir. Çitil ve ark. [11] Hasarlı parçaların onarımı için orta kısmı ve ara parçalı derzler arasındaki çift başlı yama modeli oluşturulmuş ve modelinde yapıştırıcı olarak epoksi film kullanmıştır. Yazarlar çalışmalarında önerdikleri modelin performansını deneysel ve nümerik olarak incelemiştir.

Yapılan literatür çalışması sonucunda galvanizli boruların çelik yamalar ile tamiratında epoksi esaslı yapıştırıcının performansı üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma, galvanizli boruların çelik yamalar kullanılarak epoksi esaslı yapıştırıcı ile yapılan tamiratında yama geometrisi ile boru patlama basınçları arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılmıştır. Bu çalışmada, hasara uğramış boruların yama ile tamiri için epoksi esaslı yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmanın boru tamiratında işçilik hızının artırılması suretiyle giderlerin düşürülmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

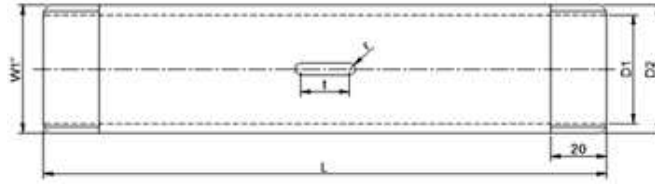
2.1. Deneysel Analiz

Galvanizli boruların epoksi esaslı yapıştırıcı olan DP410 kullanılarak değişik geometrilerdeki yamalar ile yapılan tamirati sonunda yapıştırma bağlantısının performansını test etmek üzere boru patlatma deneyleri yapılmıştır. Deneyler için için iç çapı (D_1) 26.9 mm, dış çapı (D_2) 33.7 mm, boyu (L) 170 mm olan galvanizli borular kullanılmıştır. Hasarı idealize etmek amacıyla galvanizli boru üzerine yarıçapı (r) 1 mm, uzunluğu (t) 15

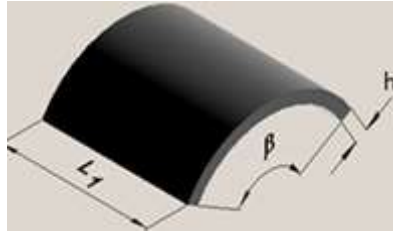
HASAR GÖREN GALVANİZLİ BORULARIN EPOKSİ ESASLI YAPIŞTIRICI İLE TAMİRATINDA BORU YAMA GEOMETRİSİ İLE BORU PATLAMA BASINCI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

mm olan bir kanal açılmıştır. Boru patlatma deneylerinin yapılabilmesi için her iki tarafın kapatılabilmesi amacıyla uç kısımlarına whitworth 1" vidalar açılmıştır. Galvanizli borunun çatlak oluşturulmuş iki boyutlu parametrik ölçüleri Şekil 1'de verilmiştir. Yapıştırma bağlantısında kullanılacak yama malzemesi olarak galvanizli çelik levhalar kullanılmıştır. Galvanizli çelik levhalar $h=2$ mm kalınlıkta, $L_1=30, 40, 50$ mm bindirme uzunluklarında olup, üç farklı bindirme açısına sahiptir ($\beta=90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$). Yamaya ait parametrik ölçü sembolleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Yapıştırma bağlantılarında yapıştırma için 3M Scotch-Weld firmasının ürettiği iki bileşenli epoksi yapısal sıvı yapıştırıcı olan DP410 kullanılmıştır.

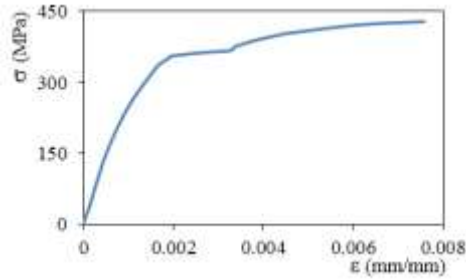
Çalışmada kullanılan galvanizli boru malzemesinin ve yama malzemesinin gerilme birim deformasyon eğrilerinin bulunması için TS 138 EN 10002-1 standardı [12] yapıştırıcının gerilme birim deformasyon eğrilerinin bulunması içinse ASTM D1002 standardı [13] kullanılmış ve bu standartlara göre bulk numuneleri oluşturmak suretiyle çekme deneyleri yapılmıştır. Yapılan çekme deneylerine mukabil galvanizli boru, yama ve yapıştırıcı için oluşturulan gerilme birim deformasyon eğrileri sırasıyla Şekil 3-5'te verilmiştir.



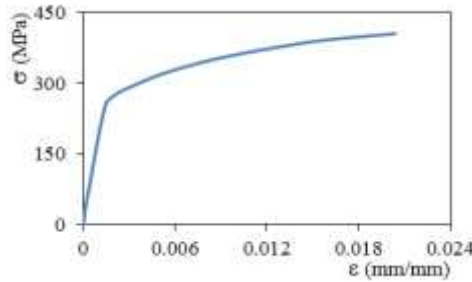
Şekil 1. Galvanizli borunun iki boyutlu parametrik ölçüleri



Şekil 2. Yamaların parametrik ölçü sembolleri

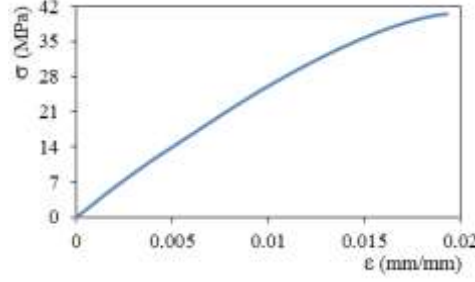


Şekil 3. Galvanizli borunun Gerilme-Birim deformasyon eğrisi



Şekil 4. Yamanın Gerilme-Birim deformasyon eğrisi

M. F. ŞAHAN



Şekil 5. Yapıştırıcının (DP410) Gerilme-Birim deformasyon eğrisi

Yamalar borulara DP410 epoksi esaslı yapısal sıvı yapıştırıcıyla yapıştırıldıktan sonra kalıp içerisine yerleştirilmiş ve akabinde kalıp içerisindeki numuneler preste 12 MPa basınç ve 130 °C sıcaklıkta 30 dakika bekletilerek küre tabii tutulmuşlardır. Kürleşme şartları üretici firmanın kılavuzlarında verilen önerilere göre seçilmiştir. Boru patlatma deneyleri için yamaları yapıştırılarak hazırlanmış olan boruların uç kısımları akışkan girişi ve hava çıkışı sağlanmış ve kapaklarla kapatılmıştır. Yapılan deneylerde giriş kapağından akışkanın girmesi ve çıkış kapağından da boru içerisinde bulunan havanın dışarı atılması sağlanmıştır. Akışkanın deney numunelerine basılması için hidrolik pompa kullanılmıştır. Boruda çatlağın olduğu bölgede hasar oluşana kadar hidrolik pompa yardımıyla hidrolik bir iç basınç oluşturmuş ve patlama anındaki değerler hidrolik pompa üzerindeki basınçölçerle ölçülmüştür. Hidrolik pompa ve deney düzeneği Fotoğraf 1’de gösterilmiştir. Oluşan hasar, kademeli olarak arttırılan iç basınç sonrasında yapıştırıcı katmanda gerçekleşmiştir.



Fotoğraf 1. Deney düzeneği

2.2. Nümerik Analiz

Bu çalışmada nümerik analizler ANSYS 15 [14] yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Modelin kurulması için 20 düğümlü 3 boyutlu dörtgen prizmalı Solid186 elemanı kullanılmıştır. Analizler lineer olmayan duruma dikkate alınarak yapılmıştır. Nümerik modelde yer alan boru, yama ve yapıştırıcının mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de verilen elastisite modülleri,

$$E = \frac{\sigma_{(ger.ort)2} - \sigma_{(ger.ort)1}}{\varepsilon_{(ger.ort)2} - \varepsilon_{(ger.ort)1}}$$

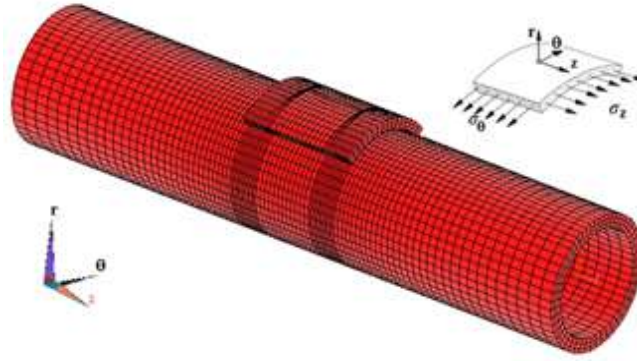
denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Galvanizli boru, Galvanizli sac yama ve yapıştırıcı (DP410) için mekanik özellikler

	Boru (Galvanizli çelik)	Yama (Galvanizli levha)	Yapıştırıcı (DP410)
E_a (MPa)	186450	168190	2639
ν_e	0.29	0.29	0.28
σ_y (MPa)	350	260.90	25
σ_r (MPa)	428	405.81	40.47
ε_r (mm/mm)	0.0075	0.0204	0.0193

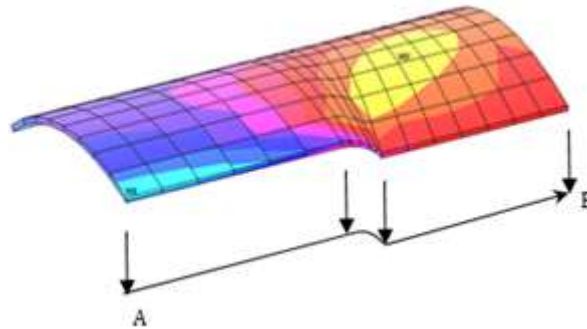
HASAR GÖREN GALVANİZLİ BORULARIN EPOKSİ ESASLI YAPIŞTIRICI İLE TAMİRATINDA BORU YAMA GEOMETRİSİ İLE BORU PATLAMA BASINCI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada plastik deformasyonun başlangıcı için Von Mises Akma Kriteri kullanılmıştır. Modelde ağ yapısı oluşturulurken gerilmelerin daha iyi elde edilebilmesi için kritik olabilecek bölgelerde daha küçük ağ aralıkları seçilmiştir. Modelde ağ aralıkları seçimi yapılırken öncelikle daha kaba ağ aralıkları seçilmiş ve gerilme analizi yapılmıştır. Ardından ağ aralıklarının küçültülmesi suretiyle gerilme analizleri tekrarlanmış ve her aşamada elde edilen gerilmeler bir önceki adımda elde edilen gerilmeler ile karşılaştırılmıştır. Bu tekrar durumu ağ aralıklarının küçültülmesi sonucunda elde edilen gerilme değerlerinin sabit kalmasına kadar devam ettirilmiş ve böylece analiz için yeterli ağ aralıkları tayini yapılmıştır. Bu durumda mesh sonucunda en küçük ve en büyük ağ aralıkları teğetsel yönde 1.06-1.58 mm olarak, çatlak kenarlarında 0.31-1.42 mm olarak ortaya çıkmıştır. Boruda en büyük ağ aralığı boru uçlarında 3.4 mm olarak oluşurken radyal yönde ise ağ aralığı 1.13 mm olarak ortaya çıkmıştır. Modelin ağ yapısı Şekil 6'da verilmiştir. Boru, yama malzemesi ve yapıştırıcı malzemenin birbiri ile bağlantısı bonded olarak yapılmıştır. Ansys yazılımı ile oluşturulan nümerik modelden elde edilen değerlerin doğrulanması için boru patlatma deneylerinden elde edilen veriler kullanılmıştır.



Şekil 6. Sistemin üç boyutlu nümerik modeli

Nümerik çalışma için ilk aşamada tamir edilmiş borunun patlama mukavemetlerini belirlemek için boru içerisinden geçen akışkanın temas edeceği boru ve çatlak iç yüzeylerinde iç basınç kademeli olarak artırılarak lineer ötesi analiz yapılmıştır. Yapılan analiz yardımıyla farklı yama sarım açıları ve yama bindirme boyları ile tamir edilmiş boru patlama mukavemetleri tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise farklı yama sarım açıları ve yama bindirme boyları ile tamir edilmiş boru ve çatlak içi yüzeylerine 25 MPa sabit iç basınç uygulanarak yapıştırıcı üzerinde oluşan gerilmeler nümerik olarak incelenmiştir. Yapıştırıcının iki ekseninde simetrik olması nedeniyle yapıştırıcının dörtte birlik bölümü alınmış ve çatlak merkezi başlangıç olmak üzere bu yapıştırıcının boyuna doğrultudaki kenarı (A-B hattı) boyunca (Şekil 7) oluşan teğetsel (σ_r), radyal (σ_θ), aksenal (σ_z) gerilmeler grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. Yapıştırıcının çeyrek sonlu eleman modeli ve bu modeldeki A-B hattı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Galvanizli boruların hasara uğrama durumlarını test etmek için yamanın bindirme uzunluğu (L_1) değerleri sırasıyla 30, 40 mm boru sarım açısı (β) ise sırasıyla 90° , 120° alınarak numuneler hazırlanmış kalıp kullanılarak 0.2 mm kalınlıkta yapıştırıcı tabakası oluşacak şekilde küre tabi tutulmuştur. Kür sonrası borular patlatılarak

M. F. ŞAHAN

patlama mukavemet değerleri bulunmuştur. Boru, yama ve yapıştırıcının dayanım değerleri dikkate alındığında en düşük değerinin yapıştırıcı malzemeye ait olması nedeniyle hasarın yapıştırıcıda olması beklenmektedir. Nümerik model üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen gerilmelerin incelenmesi neticesinde hasarın yapıştırıcıda olduğu ortaya çıkmaktadır. Yapıştırıcıda oluşacak hasarın yama geometrisi ile ilişkisini ortaya koymak amacıyla yamanın bindirme uzunluğu (L_1) değerleri sırasıyla 30, 40 ve 50 mm yama sarım açısı (β) ise sırasıyla 90° , 120° ve 150° olarak alınarak nümerik analizler yapılmıştır. Deneysel olarak elde edilen patlama mukavemetleri ve nümerik olarak elde edilen değerler karşılaştırmalı olarak Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneysel ve nümerik iç basınç değerlerinin karşılaştırılması

Yama Sarım Açısı	Yama Uzunluğu (mm)	Patlama Mukavemeti (MPa)		Fark (Yüzde)
		Deneysel	Nümerik	
90°	30	25.5	26.6	0.96
	40	27.5	26.9	1.02
120°	30	30.5	30.9	0.99
	40	31.0	31.2	0.99

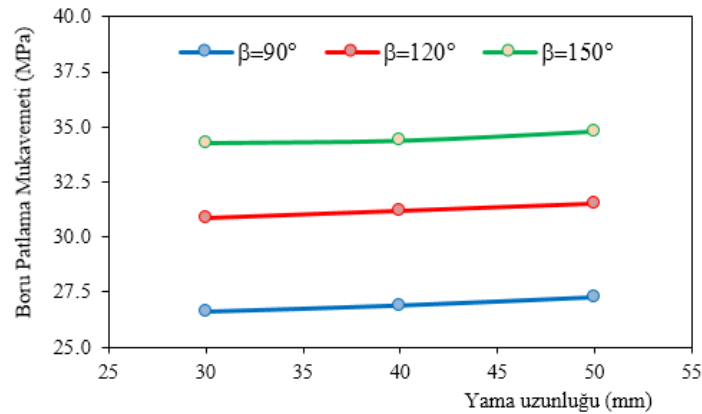
Tablo 2’nin incelenmesi neticesinde deneysel ve nümerik sonuçların birbiri ile çok uyumlu olduğu ve en küçük uyumun %96 oranında olduğu görülmektedir.

Galvanizli boruların yama geometrilerine göre hasara uğrama durumlarını nümerik olarak ortaya koymak amacıyla yama sarım açısı (β) sırasıyla 90° , 120° ve 150° yamanın bindirme uzunluğu (L_1) değerleri ise sırasıyla 30, 40 ve 50 mm olarak alınarak nümerik analizler yapılmıştır. Farklı yama geometrileri için elde edilen boru patlama mukavemetleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Nümerik olarak elde edilen boru patlama basınç değerleri

Yama Sarım Açısı	Yama Uzunluğu (mm)	Nümerik Patlama Mukavemeti (MPa)
90°	30	26.6
	40	26.9
	50	27.3
120°	30	30.9
	40	31.2
	50	31.5
150°	30	34.3
	40	34.4
	50	34.8

Farklı yama geometrileri için elde edilen boru patlama basınç değerlerinin değişimi Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Farklı sarım açlarına ve farklı bindirme uzunluklarına göre oluşan boru patlama basınçları

HASAR GÖREN GALVANİZLİ BORULARIN EPOKSİ ESASLI YAPIŞTIRICI İLE TAMİRATINDA BORU YAMA GEOMETRİSİ İLE BORU PATLAMA BASINCI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Tablo 3'te verilen değerlerin incelenmesi sonucunda bindirme uzunluğunun artırılması sonucunda boru patlama mukavemetlerindeki artışın az olduğu ortaya çıkmaktadır. İç basınca maruz boruların şekil değiştirmesi dikkate alındığında teğetsel ve radyal yönlerde şekil değiştirmeye maruz kalmaktadırlar. Bu durum dikkate alındığında eksenel yönde yama bindirme uzunluğunun değişiminin artırılmasına rağmen oluşan hasar yükünde pek bir değişiklik olmamıştır. Şekil 8'in incelenmesi sonucunda sarım açısının artırılması sonucunda boru patlama mukavemetlerindeki artışın dikkate değer olduğu ortaya çıkmıştır. Uygulanan iç basınç ile borularda radyal ve teğetsel yönde şekil değiştirme oluşacağı ve bindirme açısının artırılması ile teğetsel doğrultuda yüzey alanının büyüyeceği dikkate alındığında karşı konabilecek iç basınç değerinin önemli ölçüde arttığı ortaya çıkmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda iç basınca maruz hasarlı boruların tamirinde yama bindirme boyundan ziyade sarım açısının çok daha kritik olduğu ortaya çıkmaktadır.

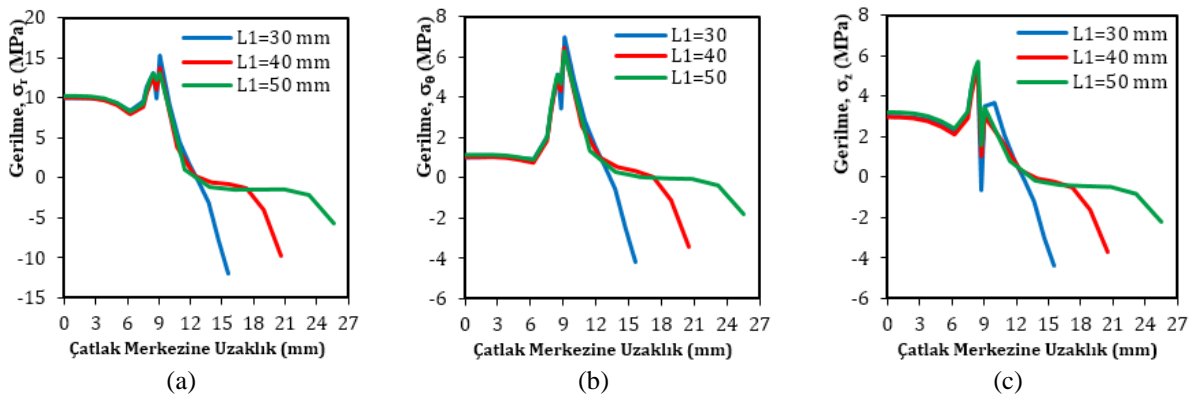
Yama geometrisi ile yapıştırıcıda oluşan gerilmeler arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapıştırıcı ve yama ile tamir edilmiş boruya 25 MPa iç basınç uygulanarak yapıştırıcı üzerinde oluşan gerilmeler nümerik olarak incelenmiştir.

Birinci aşamada yama bindirme uzunluklarının değişmesi sonucu yapıştırıcıda oluşan gerilmelerin karşılaştırılması amacıyla sarım açıları sabitken yama uzunluklarının değiştirilmesi ile Şekil 7'de verilen A-B hattı boyunca yapıştırıcıda oluşan gerilmelerin grafikleri elde edilmiştir. $\beta=90^\circ$ sarım açısı sabitken farklı bindirme uzunluklarında yamalar kullanılarak yapılan analizler sonucunda yapıştırıcıda A-B hattı boyunca oluşan gerilmeler Şekil 9'da verilmiştir. $\beta=120^\circ$ sarım açısı sabitken farklı bindirme uzunlukları için yapılan analizler sonucunda yapıştırıcıda A-B hattı boyunca oluşan gerilmeler Şekil 10'da verilmiştir. Aynı şekilde $\beta=150^\circ$ sarım açısı sabitken farklı bindirme uzunlukları için yapılan analizler sonucunda yapıştırıcıda A-B hattı boyunca oluşan gerilmeler Şekil 11'de verilmiştir.

Şekil 9-11'in incelenmesi sonucunda yama geometrisinde sarım açısı sabitken farklı bindirme uzunlukları ele alınarak yapılan analizler sonucunda elde edilmiş gerilme değerlerinin çatlak kenarlarında birbiri ile örtüştüğü görülmektedir. Çatlaktan sonra boyuna eksenide gidildiğinde değerlerin önemli ölçüde birbirine yakın olduğu fakat yama sonlarına gelindiğinde oluşan gerilme değerlerinin yama uzunluğu arttıkça az oranda küçüldüğü görülmektedir. Buradan sabit sarım açıları için yama bindirme uzunluğunun yapıştırıcıda oluşan gerilmelerin büyüklükleri üzerinde kritik bir etkisinin olmadığı sonucuna varılabilir.

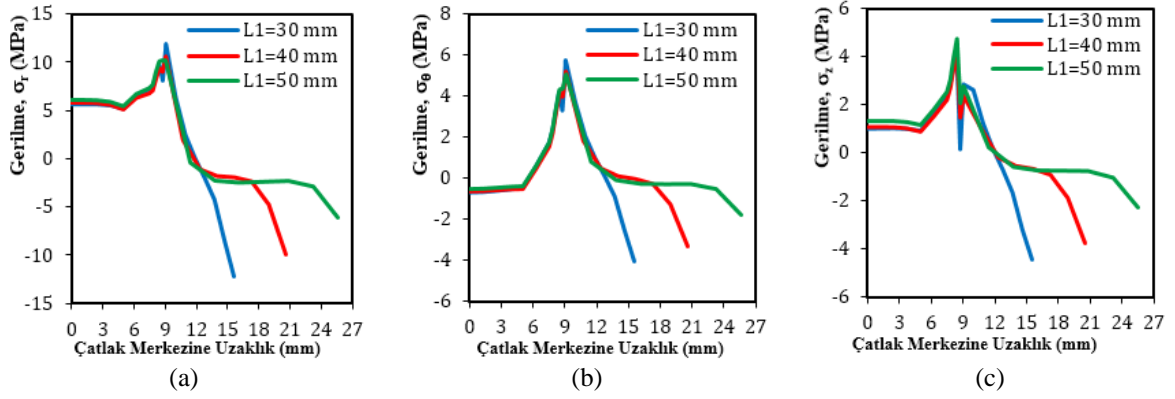
İkinci aşamada yama sarım açılarının değişmesi sonucu yapıştırıcıda oluşan gerilmelerin karşılaştırılması amacıyla yama bindirme uzunlukları sabitken yama sarım açılarının değiştirilmesi sonucu A-B hattı boyunca yapıştırıcıda oluşan gerilmelerin grafikleri elde edilmiştir. $L_1=30$ mm bindirme uzunluğu için farklı sarım açıları ele alınarak yapılan analizler sonucunda yapıştırıcıda oluşan gerilmeler Şekil 12'de verilmiştir. $L_1=40$ mm bindirme uzunluğu için farklı sarım açıları ele alınarak yapılan analizler sonucunda yapıştırıcıda A-B hattı boyunca oluşan gerilmeler Şekil 13'te verilmiştir. Benzer şekilde $L_1=50$ mm için farklı sarım açıları ele alınarak yapılan analizler sonucunda yapıştırıcıda A-B hattı boyunca oluşan gerilmeler Şekil 14'te verilmiştir.

Şekil 12-14'ün incelenmesi neticesinde bindirme uzunluğu sabitken sarım açısının artırılması ile birlikte yapıştırıcıda oluşan gerilmelerin oldukça azaldığı görülmektedir. Bu durum sarım açısının artırılması ile birlikte taşınabilecek iç basıncın da artacağını göstermektedir.

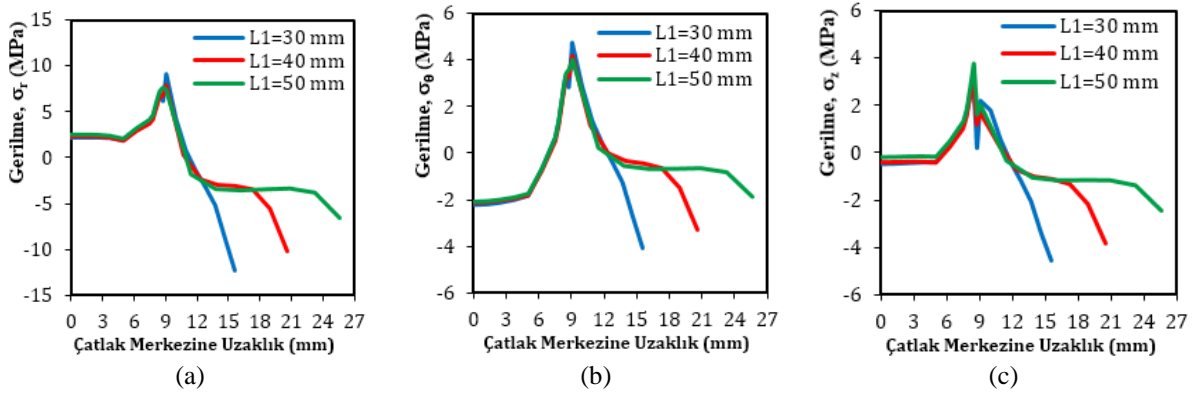


Şekil 9. $\beta=90^\circ$ sarım açısı ve farklı bindirme uzunlukları için yapıştırıcıda oluşan gerilmeler a) σ_r , b) σ_θ , c) σ_z

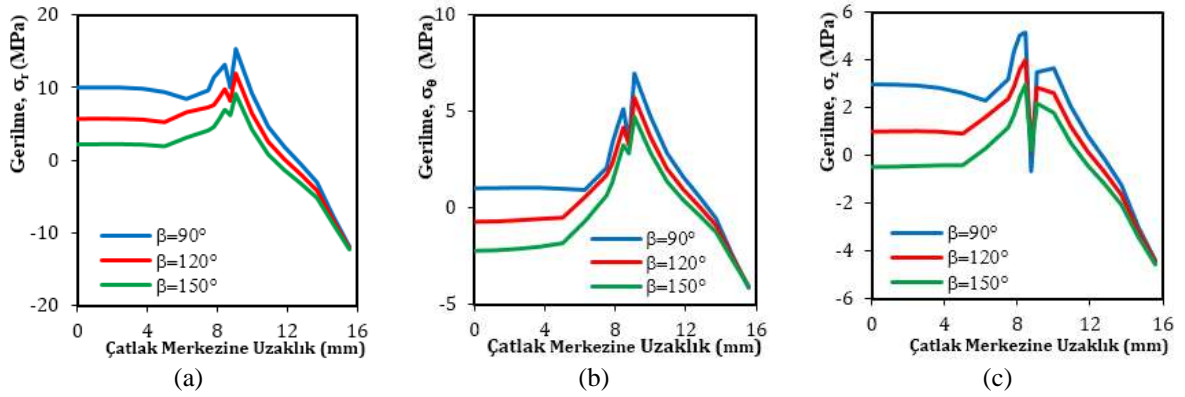
M. F. ŞAHAN



Şekil 10. $\beta=120^\circ$ sarım açısı ve farklı bindirme uzunlukları için yapıştırıcıda oluşan gerilmeler a) σ_r , b) σ_θ , c) σ_z

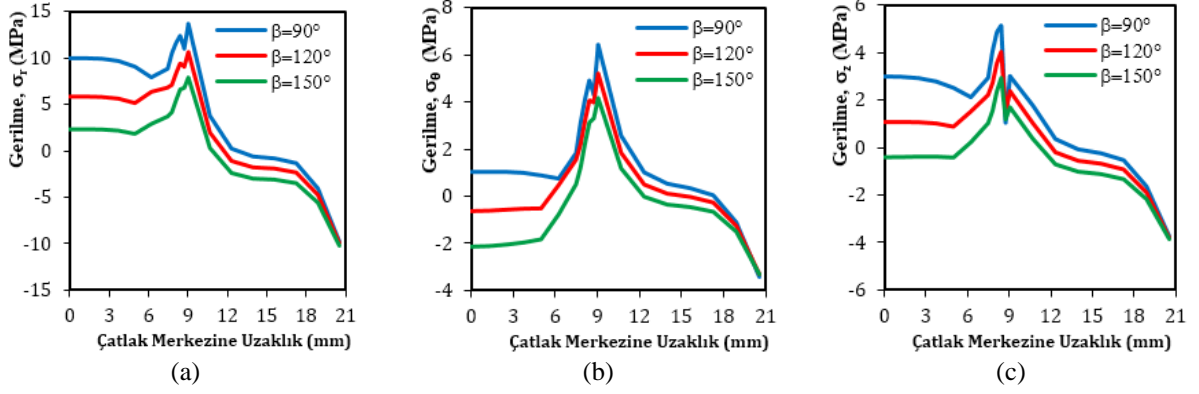


Şekil 11. $\beta=150^\circ$ sarım açısı ve farklı bindirme uzunlukları için yapıştırıcıda oluşan gerilmeler a) σ_r , b) σ_θ , c) σ_z

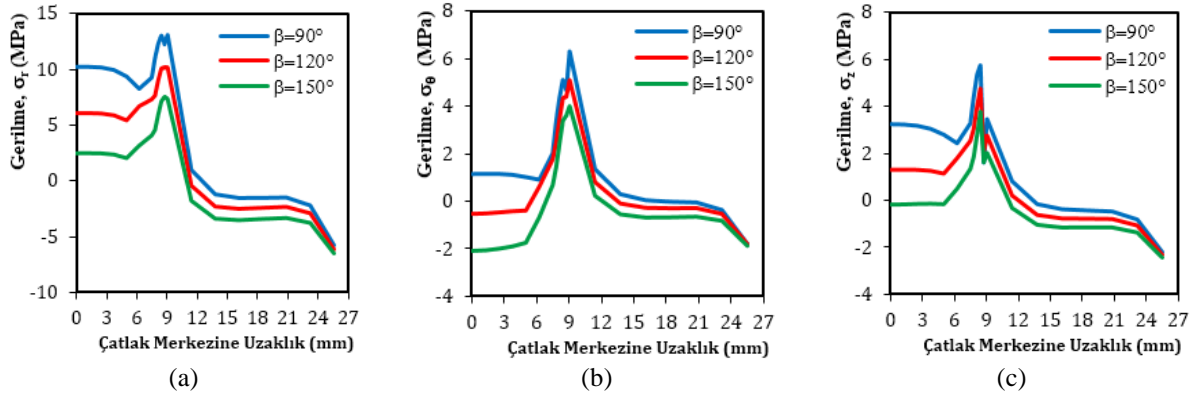


Şekil 12. $L_1=30$ mm ve farklı sarım açıları için yapıştırıcıda oluşan gerilmeler a) σ_r , b) σ_θ , c) σ_z

HASAR GÖREN GALVANİZLİ BORULARIN EPOKSİ ESASLI YAPIŞTIRICI İLE TAMİRATINDA BORU YAMA GEOMETRİSİ İLE BORU PATLAMA BASINCI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ



Şekil 13. $L_1=40$ mm ve farklı sarım açıları için yapıştırıcıda oluşan gerilmeler a) σ_r , b) σ_θ , c) σ_z



Şekil 14. $L_1=50$ mm ve farklı sarım açıları için yapıştırıcıda oluşan gerilmeler a) σ_r , b) σ_θ , c) σ_z

4. SONUÇLAR

Galvanizli boru-yama yapıştırma bağlantılarında epoksi yapıştırıcı kullanmak suretiyle yama sarım açıları ve bindirme boylarının boru patlama mukavemetleri arasındaki ilişki deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda;

Deneysel ve nümerik değerlerin örtüştüğü görülmektedir. Bindirme uzunluğunun boru patlama mukavemeti üzerine etkisi incelendiğinde; iç basınca maruz boruların eksenel yönden ziyade teğetsel ve radyal yönlerde şekil değiştirmeye maruz kalması nedeniyle bindirme uzunluğunun arttırılması sonucunda boru patlama mukavemetlerindeki artışın az olduğu ortaya çıkmıştır. Yama sarım açısının boru patlama mukavemeti üzerine etkisi incelendiğinde; iç basınca maruz boruların özellikle teğetsel ve radyal yönlerde şekil değiştirmeye maruz kalması nedeniyle sarım açısının arttırılması sonucunda boru patlama mukavemetlerindeki artışın dikkate değer olduğu ortaya çıkmıştır. Dünyada kullanılan şehir içi temiz su hatlarındaki su basınçlarının 0.6- 6 MPa arasında olduğu düşünülürse su hatlarının epoksi yapıştırıcılar kullanılarak yamalarla tamirinin uygun olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma sonucunda iç basınca maruz hasarlı boruların tamirinde boruların eksenel yönden ziyade teğetsel ve radyal yönlerde şekil değiştirmeye maruz kalması nedeniyle yama bindirme boyundan ziyade sarım açısının çok daha kritik olduğu ortaya çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKLAR

- [1] MATSUI, K. “Size-effects on average ultimate shear stresses of adhesive-bonded rectangular or tubular lap joints under tension-shear”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 10 (2), 81–89, 1990.
- [2] KUMAR, S., “Analysis of tubular adhesive joints with a functionally modulus graded bondline subjected to axial loads” ,*International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29(8), 785–795, 2009.
- [3] LEES, J.M. “Behavior of GFRP adhesive pipe joints subjected to pressure and axial loadings” *Composites: Part A*, 37, 1171–1179, 2006.
- [4] ZOU, G.P., TAHERİ, F. “Stress analysis of adhesively bonded sandwich pipe joints subjected to torsional loading” *International Journal of Solids and Structures*, 43, 5953–5968, 2006.
- [5] LIU, C., ZHANG, J.X., XUE, C.B. “Numerical investigation on residual stress distribution and evolution during multipass narrow gap welding of thick-walled stainless steel pipes” *Fusion Engineering and Design* 86, 288–295, 2011.
- [6] SHAMSUDDOHA, M., ISLAM, M.M., ARAVINTHAN, T., MANALO, A., LAU, K-T. “Effectiveness of using fibre-reinforced polymer composites for underwater steel pipeline repairs” *Composite Structures* 100, 40–54, 2013.
- [7] KARA, M., UYANER, M., AVCI, A. “Repairing impact damaged fiber reinforced composite pipes by external wrapping with composite patches”. *Composite Structures*, 123, 1-8, 2015.
- [8] AYZAZ, Y., ÇİTİL, Ş., ŞAHAN, M.F. “Repair of small damages in steel pipes with composite patches”. *Materials Science & Engineering Technology*, 4 (5-6), 503-511, 2016.
- [9] ÇİTİL, Ş. “Hasarlı boruların tamirinde yama malzemesinin yapıştırıcı üzerine etkilerinin incelenmesi”. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 23(4), 422-426, 2017.
- [10] ÇİTİL, Ş., AYZAZ, Y., TEMİZ, Ş., AYDIN, M.D. “Mechanical behaviour of adhesively repaired pipes subject to internal pressure”. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 75, 88–95, 2017.
- [11] ÇİTİL, Ş., AYZAZ, Y., TEMİZ, Ş. “Stress analysis of adhesively bonded double strap joints with or without intermediate part subjected to tensile loading”. *Journal of Adhesion*, 93(5), 343-356, 2017.
- [12] TS 138 EN 10002-1, *Metallik Malzemeler – Çekme Deneyi Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara
- [13] ASTM D1002, *Standard test method for strength properties of adhesives in shear by tension loading*.
- [14] ANSYS. *The general purpose finite element software (version 15) Inc.*, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA, USA, 15317, 2015.