



Hasarlı boruların tamirinde yama malzemesinin yapıştırıcı üzerine etkilerinin incelenmesi

Effects of patch material on the adhesive in the repair of damaged pipes

Şerif ÇİTİL*

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye.
scitil@adiyaman.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 10.06.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 17.10.2016
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.52296
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

İç basınca maruz borular sıcaklık ve basıncın değişmesi sonucunda hasara uğramaktadır. Hasara uğrayan bu boruların onarılması son yıllarda hemen hemen her türlü alanda yaygın bir şekilde kullanılmakta olan yapıştırma bağlantılarıyla yapılmaktadır. Yapıştırma bağlantılarında birleştirilecek olan malzemeler aynı türden ya da farklı türden olabilmektedir. Yapıştırıcılar farklı malzemelerde farklı mukavemet değerleri sergileyebileceğinden dolayı hasara uğramış borunun yapıştırıcı ile tamir edilmesinde malzeme seçimi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, hasara uğramış galvanizli çelik boruların tamirinde kompozit, alüminyum ve çelik olmak üzere üç farklı yama malzemesi seçilerek yapıştırıcı üzerinde nasıl bir mekanik davranış sergileyeceği araştırılmıştır. İç basınca maruz boru tesisatlarında meydana gelen hasarlar, farklı yama malzemeleri kullanılarak tek tip yapıştırıcı ile birleştirilmiş nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için galvanizli borular üzerine çatlak oluşturulmuş 7 (2 mm), 9 (2.6 mm) ve 11 (3.2 mm) tabakadan oluşan düz örgülü karbon fiber kompozit yamalar, alüminyum yamalar ve çelik yamalar iki bileşenli akrilik yapıştırıcı (DP810) ile birleştirilmiştir. Tamir edilen borulara iç basınç uygulanmış, yama kalınlığı, yama bindirme açıları ve bindirme uzunluklarına bağlı olarak yapıştırıcı üzerinde etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Boru, Çatlak, İç basınç, Sonlu elemanlar, Yapıştırıcı

Abstract

Pipes exposed to internal pressure are damaged due to the change in temperature and pressure. In the repair of these damaged pipes, adhesively bonded joints, which have been widely used in almost all kinds of fields in recent years, are used. Materials to be bonded in adhesively bonded joints may be of different types or the same type. Material choice has great importance in the repair of damaged pipe with adhesive because adhesives may exhibit different strength values in different materials. In this study, three different patching materials including composite, aluminum and steel were selected for the repair of damaged galvanized steel pipes, and how they would exhibit a mechanical behavior on the adhesive was investigated. Damages that had occurred in pipe installations exposed to internal pressure were bonded with a uniform adhesive and investigated numerically and experimentally. Therefore, cracks were formed in the galvanized pipes, and flat braided carbon fiber composite, aluminum and steel patches consisting of 7 (2 mm), 9 (2.6 mm) and 11 (3.2 mm) layers were bonded with two-component acrylic adhesives (DP810). Internal pressure was exerted to the repaired pipes, and the effects on the adhesive of patch material depending on the patch thickness, overlapping angles and overlapping length were investigated.

Keywords: Pipe, Crack, Internal pressure, Finite elements, Adhesive

1 Giriş

Genel olarak, ortamdaki iç basınç ve sıcaklığın değişmesi sonucu ya da bir dış basıncın etkisiyle oluşan gerilmeler sonucunda boru cidarlarında küçük çatlaklar oluşturmaktadır. Bu etkilerin tekrarlanması sonucunda da bu çatlaklar büyüyerek boruların hasara uğramasına neden olmaktadır. Sıcaklığın sıfırın altına düşmesi sonucunda suyun içerisinde sınırlı bir bölgede eş merkezli katı bir plak oluşmakta bu katı plak büyüyerek boru cidarlarına iç basınç oluşturmaktadır. Artan iç basınç boruların hasara uğramasına neden olmaktadır [1]. Hasara uğramış borular çatlak bölgesinden kesilerek ek bağlantılarla onarılmakta kesilmeye elverişli olmayan durumlarda ise başka bir tamir şekli olan kaynak aracılığıyla çatlak bölgesinde dolgu oluşturulmakta ya da bir yama kaynatılarak çatlak kapatılmaktadır. Bu tamir şekillerinin olumsuz etkileri vardır. Ek bağlantı ile çözümlenen tamir işleminde maliyet, işçilik, zaman üzerinden olumsuz bir etkiye, kaynakla tamir işleminde ise kaynaklı parçaların ani soğuması sonucunda artık gerilmelerin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Oluşan bu artık gerilmeler iç ve dış basınçlardan doğan gerilmeler ile birlikte beklenmedik anlarda parçanın hasar görmesine neden olmaktadır. Liu ve diğ. [2] yapmış oldukları çalışmada kaynakla yapılan boru bağlantılarında

artık gerilmelerin kaynağa yakın olan bölgelerde oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bu sayılan olumsuzlukların giderilmesi için çözüm önerisi olarak farklı materyal ve birleştirme teknikleri tavsiye edilmektedir.

Yapıştırma bağlantıları yüksek korozyon dayanımı, sızdırmazlık özelliği, düzgün gerilme dağılımı benzer veya farklı malzemeleri birleştirebilir olması nedeniyle birçok endüstride kullanılmaktadır [3]. Günümüz yapıştırma alanındaki teknolojik ilerlemeler bahsedilen olumsuzlukların giderilmesi için çözüm olmuştur. Yapıştırıcıyla birleştirme metodunun en önemli avantajlarından biri metal kompozit, polimer metal, plastik metal gibi birbirinden farklı malzemelerin birleştirilebilmesidir [4]-[6]. Ayrıca bu farklı malzemelerde meydana gelen hızlı gelişmeler beraberinde yapıştırıcıların da gelişmesine sebep olmuştur [7]. Ancak, yapıştırıcı ile farklı malzemeleri birleştirebilmemize rağmen hasarların ya da hasarlı boruların tamirinde malzeme seçimi kesinlikle büyük önem arz etmektedir.

Yapıştırıcıların sağladığı yapışma olayı kimyasal ve fiziksel bir olaydan ibarettir. "Van der Waals bağları" olarak adlandırılan bu kuvvetler, çekim ve yüzeye tutunmada en önemli faktördür [8]. Petrie, bir yapıştırma birleştirmesini zinciri oluşturan halkalar ile ifade etmiştir ve yapıştırma birleştirmesinde,

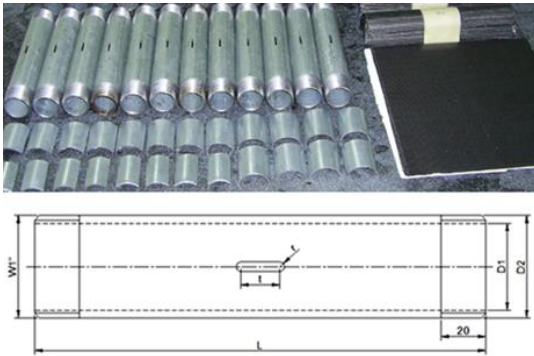
zincirin gücünü belirleyen en zayıf halkanın yapıştırılan malzemeler olacağı belirtmiştir [9]. Farklı malzemeler ile oluşturulan yapıştırma birleştirmelerinde sıcaklığın değişmesi sonucunda ısı genleşme katsayısı farkından dolayı, ortaya çıkan artık gerilmeler birleştirme dayanımını düşürecekler [10]. Isıl genleşme katsayıları sebebiyle ısıl gerilmeler ortaya çıkacaktır. Bu gerilmelerin birleştirilen malzemelerin birbirine benzemeyen malzemeler olması durumunda büyük değerlere ulaşabileceği, aynı tür malzemelerin birleştirmesinde ortaya çıkacak gerilmelerin yapıştırıcı dayanımına etki etmeyeceği belirtilmiştir [8],[11].

Kompozit malzemeler, hafifliği, yüksek mekanik özellikleri, kimyasal direnç gibi özelliklerinden petrol, doğalgaz ve enerji gibi endüstrinin birçok alanında metal boruların yerini almıştır [12]. Kompozitlerle ilgili olarak birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmış ve çalışmalar devam etmektedir [13]-[16]. Boruların birleştirilmesiyle ilgi Zou ve Taheri [17] yapmış oldukları çalışmada bağlantı tiplerinin ve parametrelerin gerilme üzerinde önemli bir etkiye sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Li ve diğ. [18] kompozit-metal boru bağlantısı çalışması sonucunda hasarların bağlantı noktalarına yakın bölgelerde olduğunu tespit etmişler, bunun içinde yüksek sıcaklıklarda anti koroziv alaşımlı kompozit boruları ve termal direnci yüksek reçinelerin kullanılmasını önermişlerdir. Kara ve diğ. [19] yapmış oldukları tamir çalışmasında kompozit yamaların tabaka sayısının etkilerini araştırmışlar ve boru cidar kalınlığının önemli bir faktör olduğunu tespit etmişlerdir. Günümüz yapıştırma teknolojileri, hasara uğramış boruların minimum bir maliyetle onarılmasına imkân tanımaktadır. Yapılan bu çalışmada hasarlı boruların tamirinde aynı boyutlarda fakat üç farklı özellikte malzeme (çelik, alüminyum ve kompozit) seçilerek yapıştırıcı üzerinde nasıl bir mekanik davranış sergileyeceği araştırılmıştır.

2 Malzeme ve metot

2.1 Hasar analizi

Hasar analizi için, Şekil 1'de parametrik ölçüleri verilen (D1= 26.9 mm iç, D2=33.7 mm) St37 çelik borular L=170 mm boyunda kesilmiş olup üzerine r = 1 mm yarıçaplı ve t=15 mm uzunlukta kanallar açılmıştır.

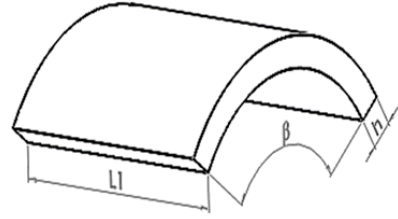


Şekil 1: Deney numuneleri ve St37 çelik borunun parametrik ölçüleri.

Doğrulama deneyleri için yamalar, çelik ve kompozit malzemeden üretilmiştir. Çelik levhalar h=2 mm kalınlıkta, L1=40 mm bindirme uzunluğunda olup, iki farklı bindirme açısına sahiptir ($\beta= 90^\circ, 120^\circ$) (Şekil 2).

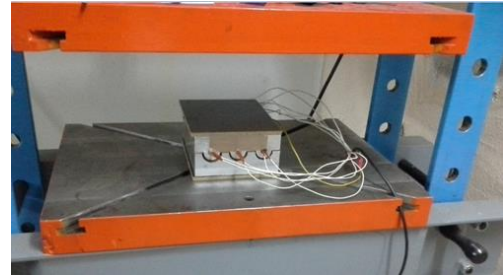
Kompozit yamalar için ise 0-90 oryantasyon açalarına sahip 0.28 mm kalınlıkta düz örgülü karbon fiber dokuma kumaş (3K, A-38) ve reçine olarak çekme dayanımı 78-82 MPa,

elastisite modülü 3500 MPa, kopmadaki uzaması %5 olan malzeme kullanılmıştır.



Şekil 2: Kompozit ve çelik yamanın parametrik değerler.

Kompozit yamalar 2 mm kalınlığa tekabül edecek şekilde 7 tabakadan imal edilmiştir. Bindirme uzunluğu ve bindirme açıları çelik yama ile aynı parametrik değerlere sahiptir. kompozit yamalar imal edilirken yamanın iç çapını oluşturmak için boru dış çapı dikkate alınmış ve yapıştırıcı kalınlığı da ilave edilerek (0.2 mm) 33.9 mm iç çapa ve 35.9 mm dış çapa sahip olacak şekilde üretilmiştir. Üretim kalıplama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3: Kompozit yamaların üretimi.

Yapıştırıcı olarak, birçok alanda hem tamir hem de birleştirme amaçlı olarak kullanılan, rutubetli ortamlara karşı dirençli, nenden dolayı mukavemetlerinde bozulma söz konusu olmayan [20] akrilik yapıştırıcılar kullanılmıştır. Deney numuneleri, 3M Scotch-Weld firmasının ürettiği DP810 iki bileşenli akrilik, yapısal yapıştırıcıyla birleştirilerek tamir edilmiştir. Tamir işlemi yapılmadan önce yüzey hazırlık işlemleri yapılmıştır. Kompozit yamalarla tamir edilen borulara iç basınç oluşturmak için, boruların bir ucu pompaya bağlanarak hidrolik sıvı girişi sağlanmıştır.

Deney düzeneği hazır hale getirildikten sonra, numunelerde hasar oluşana (Şekil 4) kadar hidrolik bir iç basınç oluşturulmuş ve patlama anındaki değerler hidrolik pompa üzerindeki basınçölçerle ölçülmüştür. Hasar sonucu oluşan bölge incelendiğinde yapılan tamir işleminde yapışmanın hem boru yüzeyinde hemde yama yüzeyinde gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 5).



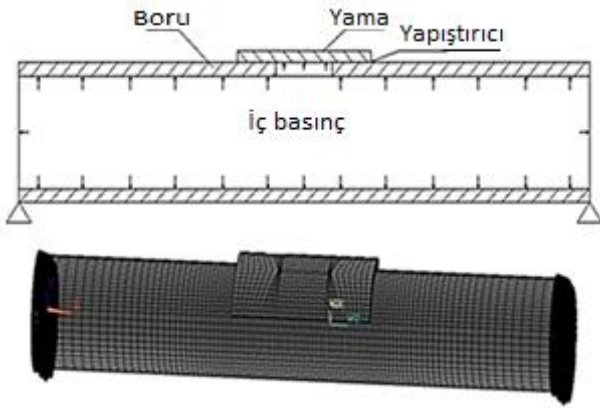
Şekil 4: Deney düzeneği ve iç basınç uygulanarak hasara uğratılmış boru.



Şekil 5: İç basın sonucu, boru ve yamada oluşan hasar bölgeleri.

2.2 Nümerik analiz

Bu çalışmada, ANSYS 15 paket programı [21], kullanılarak lineer olamayan sonlu eleman çözümü yapılmıştır (Şekil 6). Sonlu elemanlar çözümünde üç boyutlu dikdörtgen prizmalı 20 düğüm noktasına sahip solid186 eleman kullanılmıştır.



Şekil 6: Nümerik modele uygulanan sınır şartları.

Boru, yapıştırıcı ve yamaların mekanik özellikleri için bulk numuneleri oluşturularak çekme cihazında çekilmiştir. Elde edilen veriler Tablo 1, Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Çelik boru (ST37), Yapıştırıcı (DP810), çelik ve Alüminyum (AA2024) yamanın fiziksel ve mekanik özellikleri.

	Çelik Boru (St37)	Yapıştırıcı (DP810)	Çelik yama	Alüminyum (AA2024) yama
E_a (MPa)	186450	594.8	168190	71875
ν_e	0.29	0.35	0.29	0.33
σ_y (MPa)	350	2.98	260.899	430
σ_t (MPa)	428	18.859	405.81	482
ϵ_t (mm/mm)	0.0075	0.297	0.0204	0.16

E_a : Young modülü; ν_e : Poisson oranı; σ_y : Akma Mukavemeti; σ_t : Kopma mukavemeti; ϵ_t : Kopma uzaması.

Tablo 2: 3K/A38 Karbon/epoksi kompozit yamanın mekanik özellikleri.

E1, E2; sırasıyla 1,2 yönündeki elastisite modülü,	12.738 GPa
E3; 3 yönündeki elastisite modülü,	10.658 GPa
G12, G13; sırasıyla 1,2 ve 1,3 yönündeki kayma modülü,	5.282 GPa
G23; 2,3 yönündeki kayma modülü,	5.125 GPa
n12, n13; sırasıyla 12- ve 13-yönündeki poisson oranı	0.072
n23; 23-yönündeki poisson oranı	0.147
Tabaka kalınlığı	0.28 mm

Kompozit malzemenin mekanik verilerini elde etmek için ASTM D3039-76 ve ASTM D7078 standartlarına göre numuneler hazırlanmış olup klasik laminent teorisine göre hesaplanmıştır. Çözüm yöntemi olarak Von Mises akma kriteri kullanılmıştır. Gerilme dağılımları açısından kritik bölgeler daha küçük elemanlara bölünmüştür. Nümerik modelin doğrulanması için doğrulama deneyleri yapılmıştır. Nümerik çalışmada akışkanın temas ettiği boru iç yüzeyi, yapıştırıcı yüzeyi ve kapak iç yüzeylerine iç basınç oluşturularak hasar yükleri tespit edilmiştir.

3 Araştırma bulguları

3.1 Nümerik sonuçlar

Sonlu elemanlar analizlerinde yamanın bindirme uzunluğu sırasıyla L1=35, 40 ve 45 mm, kalınlığı h= 2 (7 tabaka), 2.6 (9 tabaka) ve 3.2 (11 tabaka) mm ve boruyu bindirme açısı sırasıyla $\beta=90^\circ$ ve 120° olarak alınmıştır. Boru iç çapı D1=26.9 mm, dış çapı D2=33.7 mm ve boru boyu L=170 mm sabit olarak alınmıştır. Boru üzerinde oluşturulan çatlakın toplam boyu 17 mm ve toplam genişliği 2 mm olup sabittir. Hasar yükü sonuçları Tablo 3, Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 5'te ise deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonrası deneysel ve nümerik sonuçların %97 uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3, 4, 5'te $\beta=90^\circ$ ve $\beta=120^\circ$ bindirme açısı için, yama kalınlıklarına bağlı olarak hasar yüklerini karşılaştırırsak eğer, her üç yama türünde de yama kalınlığı arttıkça taşınan hasar yükünün arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi boru içerisinde iç basınç arttıkça teyetsel ve radyal yönde boru çapını büyümeye zorlamaktadır. Yama kalınlığı arttıkça da teyetsel ve radyal yönde yamanın şekil değiştirmesi zor olacağından taşınan iç basınç yükünde artış sergilemiştir.

L1=35, 40, 45 mm bindirme uzunluklarına bağlı olarak karşılaştırılırsa eğer; elde edilen bulgulara göre bindirme uzunluğunun pek etkisinin olmadığını göstermiştir. İç basınca maruz borular eksenel yönden ziyade, daha çok teyetsel ve radyal yönlerde şekil değiştirmeye maruz kalmaktadırlar. Dolayısıyla da bindirme uzunluğuna bağlı olarak taşınmış olduğu hasar yükünde değişiklik olmamıştır.

$\beta=90^\circ$, 120° bindirme açılarında göre iç basınç yüklerinin nümerik karşılaştırılması yapıldığında ise, her üç yamada da bindirme açısı arttıkça taşınan hasar yükünde artış olmuştur. Ancak çelik yamada daha ciddi bir artış olmuştur. Bindirme açısı arttıkça teyetsel yönde yüzey alanı artacağından dolayı, borular radyal ve teyetsel yönde şekil değiştirmeye maruz kaldıklarından bindirme açısı arttıkça taşınmış olduğu basınç yükünde önemli ölçüde artış gözlemlenmiştir.

Tablo 3: L1=35, 40, 45 mm yama bindirme uzunluğu, h=2, 2.6 ve 3.2 mm yama kalınlığı, $\beta=90^\circ$, 120° bindirme açıları için çelik yamanın nümerik çekme hasar yükleri (MPa).

Yama Kalınlığı	L1= 35 mm, Hasar Yükü, (MPa)		L1=40 mm, Hasar Yükü, (MPa)		L1= 45 mm, Hasar Yükü, (MPa)	
	Bindirme Açısı (β)		Bindirme Açısı (β)		Bindirme Açısı (β)	
h (mm)	90°	120°	90°	120°	90°	120°
2	53	59	53.2	60	53.2	60
2.6	54.6	61	55	61.4	55.2	61.8
3.2	56.4	62.6	56.8	63.2	57	63.6

Tablo 4: L1=35, 40, 45 mm yama bindirme uzunluğu, h=2, 2.6 ve 3.2 mm yama kalınlığı, $\beta=90^\circ$, 120° bindirme açıları için Alüminyum yamanın nümerik çekme hasar yükleri (MPa).

Yama Kalınlığı	L1= 35 mm, Hasar Yükü, (MPa)		L1=40 mm, Hasar Yükü, (MPa)		L1= 45 mm, Hasar Yükü, (MPa)	
	Bindirme Açısı (β)		Bindirme Açısı (β)		Bindirme Açısı (β)	
h(mm)	90°	120°	90°	120°	90°	120°
2	50.6	55.6	50.8	55.8	50.8	55.8
2.6	52.2	57.4	52.4	57.6	52.4	57.8
3.2	53.4	59	53.8	59.4	54	59.6

Tablo 5: L1=35, 40, 45 mm yama bindirme uzunluğu, h=2, 2.6 ve 3.2 mm yama kalınlığı, $\beta=90^\circ$, 120° bindirme açıları için kompozit yamanın nümerik çekme hasar yükleri (MPa).

Yama kalınlığı	L1= 35 mm, Hasar Yükü, (MPa)		L1=40 mm, Hasar Yükü, (MPa)		L1= 45 mm, Hasar Yükü, (MPa)	
	Bindirme Açısı (β)		Bindirme Açısı (β)		Bindirme Açısı (β)	
h(mm)	90°	120°	90°	120°	90°	120°
2	48.7	50.1	48.7	50.2	49	50.3
2.6	50	51.4	50	51.6	50	51.8
3.2	50.4	52.7	51.5	53	51.6	53

Tablo 6: h=2 mm kalınlık, L1=40 mm bindirme uzunluğu, L=170 mm boru uzunluğu ve $\beta=90^\circ$, 120° bindirme açıları için deneysel ve nümerik iç basınç yükleri (MPa).

Kompozit Yama						
h (mm)	L1 (mm)	L (mm)	β (°)	Num. P _N (MPa)	Den. P _E (MPa)	P _N /P _E
2	40	170	90	48.7	50	0.97
2	40	170	120	50.2	52	0.96
Çelik Yama						
2	40	170	90	53.2	55	0.97
2	40	170	120	60	63	0.95

4 Sonuçlar

İç basınca maruz borular sıcaklık ve basınç değişmesi sonucunda hasara uğramaktadır. Hasara uğrayan bu boruların onarılmasında son yıllarda yaygınlaşan yapıştırma bağlantıları kullanılmaktadır. Yapıştırıcılar farklı malzemelerde farklı mukavemet değerlerine sahiptir, dolayısıyla da hasara uğramış borunun yapıştırıcı ile tamir edilmesinde malzeme seçimi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada hasarlı boruların tamirinde yama malzemesine bağlı olarak yapıştırıcının mekanik davranışları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda;

1. Deneysel ve nümerik veriler uyumlu çıkmıştır,
2. İç basınca maruz borular özellikle teyetsel ve radyal yönde şekil değiştirmeye maruz kaldıklarından, bindirme açısına (β) bağlı olarak taşınan iç basınç yükünün önemli ölçüde etki ettiği gözlemlenmiştir. Her üç yama malzemesi için bindirme açısı arttıkça taşıdıkları hasar yükleri de artmıştır. Çünkü bindirme açısı arttıkça yapıştırılan yüzey alanında artış olmuştur. Dolayısıyla da taşıdığı iç basınç artmıştır,

3. İç basınca maruz borular ekstenel yönden ziyade daha çok teyetsel ve radyal yönde şekil değiştirmeye zorlanmaktadır. Her üç yama malzemesinde bindirme uzunluğuna bağlı olarak taşınan iç basınçta bir değişiklik olmamıştır,
4. Kapak kalınlığına bağlı olarak incelendiğinde, kapak kalınlığı arttıkça her üç yama malzemesi de daha yüksek bir iç basınç taşımıştır,
5. Yama malzemesine bağlı olarak, hasarlı çelik boruların tamirinde çelik yamaların alüminyum ve kompozit yamalara göre daha fazla hasar yükü çekmektedir. Hasarlı olan boru malzemesi çelik olduğundan dolayısıyla da çelik yamanın diğer yama türlerine göre daha iyi uyum sağladığı gözlenmiştir. Hasarlı boruların tamirinde malzeme uyumu açısından daha iyi verim elde edilmesi için borunun malzemesine mukavemet değerlerine yakın malzeme seçilmelidir.

Sonuç olarak iç basınca maruz hasarlı boruların tamirinde, Malzemenin cinsi yama kalınlığı ve bindirme açısı büyük önem arz ederken bindirme uzunluğunun çok fazla etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

5 Teşekkür

Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerinin desteklerinden (MÜFBAP/2014-0004) dolayı teşekkür ederim.

6 Kaynaklar

- [1] Akyurt M, Türkmen N. "Harnessing the energy accompanying freezing". *Energy Conversion and Management*, 52(5), 2241-2246, 2011
- [2] Liu C, Zhang JX, Xue CB. "Numerical investigation on residual stress distribution and evolution during multipass narrow gap welding of thick-walled stainless steel pipes". *Fusion Engineering and Design*, 86(4-5), 288-295, 2011
- [3] Hosseinzadeh R, Taheri F. "Non-linear investigation of overlap length effect on torsional capacity of tubular adhesively bonded joints". *Composite Structures*, 91(2), 186-195, 2009.
- [4] Ayaz Y, Çitil Ş, Temiz Ş. "Çekmeye maruz ara parçalı çift takviyeli yapıştırma bağlantılarında gerilme analizi". *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 49-59, 2014.
- [5] Ayaz Y, Çitil Ş, Şahan MF. "Repair of small damages in steel pipes with composite patches". *Materials Science & Engineering Technology*, 4(5-6), 503-511, 2016.
- [6] Çitil Ş, Ayaz Y, Temiz Ş. "Stress analysis of adhesively bonded double strap joints with or without intermediate part subjected to tensile loading". 93(5), 343-356, *Journal of Adhesion*,
- [7] Da Silva LFM, Adams RD. "Techniques to reduce the peel stresses in adhesive joints with composites". *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 27(3), 227-235, 2007.
- [8] Loctite Corporation. *Loctite Worldwide Design Handbook*. Hartford, USA, Loctite Corporation, 1997.
- [9] Petrie EM. *Handbook of Adhesives and Sealants*. New York, USA, McGraw-Hill, 2000.
- [10] Özel K. Alüminyum-Bakır Boruların Yapıştırma Yöntemiyle Birleştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.

- [11] Da Silva LFM, Adams RD. "Adhesive joints at high and low temperatures using similar and dissimilar adherends and dual adhesives". *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 27(3), 216-226, 2007.
- [12] Parashar A, Mertiny P. "Adhesively bonded composite tubular joints: Review". *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 38, 58-68, 2012.
- [13] Ascione F, Mancusi G. "Axial/bending coupled analysis for FRP adhesive lap joints". *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 17(2), 85-98, 2010.
- [14] Gan YX. "Effect of interface structure on mechanical properties of advanced composite materials". *International Journal of Molecular Sciences*, 10(12), 5115-5134, 2009.
- [15] Banea MD, Silva LD. "Adhesively bonded joints in composite materials: An overview". *Journal of Materials: Design and Applications*, 224, 51-62, 2010.
- [16] Meguid SA, Sun Y. "On the tensile and shear strength of nano-reinforced composite interfaces". *Materials & Design*, 25(4), 289-296, 2004.
- [17] Zou GP, Taheri F. "Stress analysis of adhesively bonded sandwich pipe joints subjected to torsional loading". *International Journal of Solids and Structures*, 43(20), 5953-5968, 2006.
- [18] 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*, 47, 49-55, 2015.
- [19] 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.
- [20] Aydın S, Solmaz MY, Turgut A. "Determination of the mechanical properties of epoxy and acrylic-based adhesives". *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.
- [21] ANSYS. The general purpose finite element software (version 15) Inc., 275 Technology Drive, Canonsburg, PA, USA, 15317, 2015.