

Filaman Sarım ile Üretilen CTP Kompozit Borularda Tabaka Sayısının Teğetsel Gerilme Dayanımına Etkisi

Memduh KARA*¹, Mesut UYANER²

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, 42090, Konya

²Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 42130, Konya

(Alınış / Received: 25.09.2016, Kabul / Accepted: 14.02.2017, Online Yayınlanma / Published Online: 28.04.2017)

Anahtar Kelimeler

CTP kompozit boru,
Halka çekme testi,
Statik patlatma testi,
Teğetsel gerilme dayanımı

Özet: Cam takviyeli plastik (CTP) kompozit boruların diğer boru çeşitlerine göre birçok üstün özelliği vardır. Bunlar, kimyasal maddelerin oluşturacağı korozyona karşı dayanım, olumsuz hava koşullarına ve UV ışınlarına karşı dayanım, istenilen boyutlarda seri üretim imkânı ve uzun ömürlü olması gibi özelliklerdir. Bütün bu özellikleri nedeniyle petrol ve doğalgaz iletim hatlarında ve kimyasal akışkanların iletim hatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanı hızla artmakta olan CTP kompozit boruların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için birçok test yöntemi geliştirilmiştir. Cam takviyeli plastik boruların teğetsel gerilme dayanımı; ASTM D 1599 standardına göre hidrolik basınç testi ve ASTM D 2290 standardına göre halka çekme testi ile tespit edilmektedir. Bu çalışmada 6, 8 ve 10 tabakalı olacak şekilde filaman sarım yöntemiyle $\pm 55^\circ$ sarım açısında üretilen E-camı/epoksi kompozit boruların teğetsel gerilme dayanımı her iki yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca CTP kompozit borularda statik iç basınç patlatma testi esnasında ve halka çekme testi esnasında oluşan hasar gelişimi değerlendirilmiştir.

Effect of the Number of Layers to Hoop Tensile Strength of Filament Wound GRP Composite Pipes

Keywords

GRP composite pipe,
Hoop tensile strength test,
Static burst pressure test,
Hoop tensile strength

Abstract: Glass-reinforced plastic (GRP) composite pipes have many superior properties compared to other types of pipes. These are resistance to many chemicals, resistance to many weather conditions and resistance to UV rays, producing possibility for any size, mass production and high strength. For these reason GRP pipes are used for conducting of fluids containing chemicals, removing industrial waste and for oil and natural gas transmission lines. To determine the mechanical properties of GRP composite pipes which application areas increasing rapidly, several test methods have been developed. Hoop tensile strength of Glass reinforced plastic pipes is determined by static internal burst pressure tests according to ASTM D 1599 and hoop tensile strength tests according to ASTM D 2290. In this study, hoop tensile strength of 6, 8 and 10 layered E-glass epoxy composite pipes which are manufactured by the filament wound method for winding angle $\pm 55^\circ$ was determined using both methods. Results obtained from both methods were evaluated in comparison with each other. Moreover, damage development of GRP composite pipes that occurs during the static internal pressure tests and hoop tensile strength tests were evaluated.

1. Giriş

Cam elyaf takviyeli plastik malzemeler (CTP), reçinenin içerisine takviye malzemesi olarak cam liflerinin katılmasıyla üretilen kompozit malzemelerdir. Cam elyaflar, kompozit malzeme

içerisinde sürekli veya süreksiz fazda yer alabilirler. CTP kompozit malzemelerin birçok üstün özelliği vardır. Bunlar; mukavemetinin yüksek olması, istenilen boyutlarda seri olarak üretilebilme imkânı, kimyasal maddelerin oluşturacağı korozyona karşı dayanıklı olması, UV ışınlar ile olumsuz ortam

şartlarına karşı dayanıklı olması, ısıl dayanımının yüksek olması, farklı mekanik özellikler elde etmek için değişik tabaka sayılarında ve farklı kombinasyonlarda malzeme üretilebilme imkanları gibi özelliklerdir. CTP kompozit malzemeler bu üstün özellikleri nedeniyle mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedirler. CTP borular ANSI/AWWA C950 standardına göre basınç sınıflarına ayrılmıştır. Bu basınç sınıflarına göre CTP borular, su taşıma, isale ve kanalizasyon hatları, kimyasal ve endüstriyel atıkların uzaklaştırılması, doğalgaz ve petrol iletim hatları, deniz suyu toplama ve deşarj hatları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar [1]. Son yıllarda sürtünme kayıplarının düşük olması ve servis süresi boyunca iç yüzeyinin pürüzsüz olarak kalabilmesi nedeniyle su iletiminde de beton, çelik ve asbest boruların yerine kullanılmaya başlanmıştır [2]. CTP borular elastisite modülünün diğer borulardan daha düşük olması nedeniyle ani iç basınç değişimlerinden kaynaklanan şoklara karşı (su koçu darbesi) daha uzun ömürlüdür [3]. Toprak basıncının dikey yönde olması ve dolgudan sonra oluşan hareketli yükler nedeniyle, toprakaltı uygulamalarında kullanılan CTP borularda oluşan deformasyonun gelişimi, tipik esnek borularda görülen deformasyon gelişim özelliklerine benzer şekildedir [4].

CTP boruların kullanım alanlarının hızla artması ve endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlaması nedeniyle mekanik özelliklerinin araştırılması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Xia ve ark. [5] iç basınç altındaki çok katmanlı kompozit boruların gerilme ve deformasyon analizi için basitleştirilmiş elastik bir çözüm ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında iç basınç altındaki üç farklı sarım açısı tasarımı için gerilme ve yer değiştirme dağılımlarını teorik olarak detaylı bir şekilde incelemiştir. Rousseau ve ark. [6] filaman sarım boruların çeşitli yükler altındaki hasar davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Filaman sarım desenlerinin kompozit boruların mekanik performansına etkilerini karakterize etmişlerdir. Be'akou ve ark. [7] çalışmalarında filaman sarım tabakalı kompozitler için en uygun sarım açısının ne olduğunu teorik olarak incelemiştir. En uygun sarım açısı üzerindeki etkin faktörlerin kompozit yapının maruz kaldığı iç basınç kaynaklı çevresel gerilme dayanımı ile fiber ve matris çekme gerilmelerine bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Cohen ve ark. [8] filaman sarım kompozit yapılarıdaki elyaf hacim oranı ile hasar basıncı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Cohen [9] başka bir çalışmada filaman sarım parametrelerinin kompozit yapıların üretim ve tasarım kalitesine etkilerini ortaya koymuştur. Bu parametrelerin mukavemete, elyaf hacim oranına ve hasardaki elyaf zorlanmalarına etkilerini incelemiştir. Hawa ve ark. [10] hidrotermal şartlarda yaşlandırılmış cam elyaf/epoksi kompozit boruların darbe davranışlarını ve patlama mukavemetini incelemiştir. Çalışmalarında $\pm 55^\circ$ sarım açısına sahip 6 tabakalı kompozit boruları 80° sıcaklıkta su

içerisinde farklı sürelerde bekleterek hidrotermal yaşlanmaya maruz bırakmışlardır. Yaşlandırdıkları borulara farklı enerji seviyelerinde düşük hızlı darbeler uygulayarak hasar oluşturmuşlardır. Hasarlı borularda ASTM D 1599 standardına göre statik iç basınç patlama testi ile mukavemet kayıplarını tespit etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda hidrotermal yaşlandırma süresi arttıkça mukavemet kaybının arttığını tespit etmişlerdir. Demir ve ark. [11] Basınçlı kompozit kapların patlama mukavemeti üzerine, enine tekrarlı darbenin etkisini incelemiştir. Basınçlı kapları; filaman sarım yöntemi ile 55° sarım açısına sahip E-cami/epoksi malzemeden 4 tabaka olacak şekilde üretmişlerdir. Darbe testlerinde boş kaplar için; 10, 15, 20, 25 ve 30 J enerji seviyelerini; 25 ve 70°C sıcaklıklarda su ile doldurulmuş kaplar için ise 10, 15, 20 ve 25 J enerji seviyelerini seçmişlerdir. Enine darbe yükünü; tek ve üç kez tekrarlı darbe olacak şekilde yapmışlardır. Deneyler sonucunda; içi boş basınçlı kapların patlama basıncının içi su dolu kaplardan daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Tekrarlı yükün, kapların patlama mukavemetini azalttığını belirtmişlerdir. 25°C 'de su ile dolu kabın patlama basıncının, 70°C olana kıyasla daha yüksek olduğunu; böylelikle patlama basıncının su sıcaklığının artışı ile de azaldığını bulmuşlardır. Arıkan [12] İç basınç altında, eğimli yüzey çatlağına sahip E-cami/epoksi malzemeden yapılmış $[\pm 55^\circ]_3$ sarım açılı filaman kompozit boruların statik patlama hasar davranışlarını incelemiştir. Testlerinde; çatlak boyu-numune kalınlığı oranını 0,50 olarak belirleyip; 0° , 15° , 30° , 60° , 45° , 75° ve 90° olmak üzere altı farklı çatlak açısı olacak şekilde numuneler hazırlamıştır. Eğimli çatlaklara sahip numunelerin patlama mukavemet değerini belirlemişlerdir ve patlama mukavemetinin çatlak açısına bağımlılığını incelemiştir. Deney sonucunda; numunelerde çatlak açısının büyümesiyle, patlama mukavemetinin arttığı gözlemlenmiş ve çatlak açısının etkisinin azaldığını bulmuştur. Rafiee [13] çalışmasında ağırlıkça farklı oranlarda kuvars kumu içeren CTP boruların halka çekme dayanımını ve eksenel çekme dayanımını belirlemek üzerine teorik ve deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Öncelikle CTP boru sektöründe yaygın olarak kullanılan ağ analizini incelenmiş ve ağ analizinin halka çekme ve boylamasına çekme dayanımını tahmin edemeyeceğini ortaya çıkarmıştır. Daha sonra ardışık hasar modellemesi geliştirmiştir. Ardışık hasar modellemesi katman hasarın oluşumunu inceleyen ileri bir modellemedir. Ardışık hasar modellemesini değerlendirmek için kapsamlı bir deneysel çalışma yaparak modellemeden elde etmiş olduğu veriler i doğrulamıştır. Kompozit boruların statik iç basınç patlama deneyi ve halka çekme deneyi ile teğetsel mukavemetlerinin belirlenip karşılaştırıldığı bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.

Bu çalışmada; cam takviyeli plastik boruların teğetsel gerilme dayanımı; ASTM D 1599 standardına göre statik iç basınç patlama testi ve ASTM D 2290

standardına göre halka çekme testi ile tespit edilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. CTP kompozit boruların üretimi

E-camı/epoksi filaman sarım kompozit borular İzoreel (İzmir, Türkiye) firması tarafından $\pm 55^\circ$ sarım açında 6, 8 ve 10 tabaka olacak şekilde üretilmiştir. Cam elyaf olarak $17 \mu\text{m}$ çapında Vetrotex 1200 teks E camı, matris malzemesi olarak ise Ciba Geigy, Bisphenol A, Epoksi CY 225 kullanılmıştır. Kompozit boruların uzunlukları 300 mm ve iç çapları 72 mm'dir. Cidar kalınlıkları ise 6, 8 ve 10 tabakalı borular için sırasıyla 2,375 mm, 3,0 mm ve 3,625 mm'dir. Üretimden sonra yapılan görsel gözlem sonucu, makro boyutta bir hasar gözlemlenmemiştir. Tablo 1'de kompozit malzeme üretiminde kullanılan elyaf ve matrisin mekanik özellikleri verilmiştir.

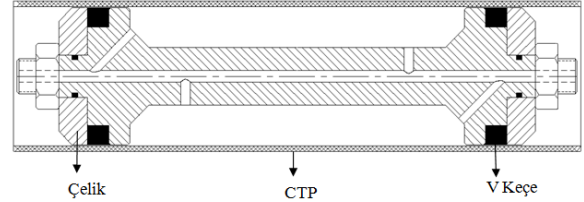
Tablo 1. Kompozit boru üretiminde kullanılan elyaf ve matrisin mekanik özellikleri [1]

| | E (GPa) | $\sigma_{çek}$ (MPa) | ρ (g/cm ³) | ϵ_{kop} (%) |
|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| Elyaf: E-camı | 73 | 2400 | 2,6 | 1,5-2 |
| Matris: Epoksi Reçine | 3,4 | 50-60 | 1,2 | 4-5 |

2.2. Açık uçlu statik iç basınç deneyleri ile teğetsel gerilme dayanımının bulunması

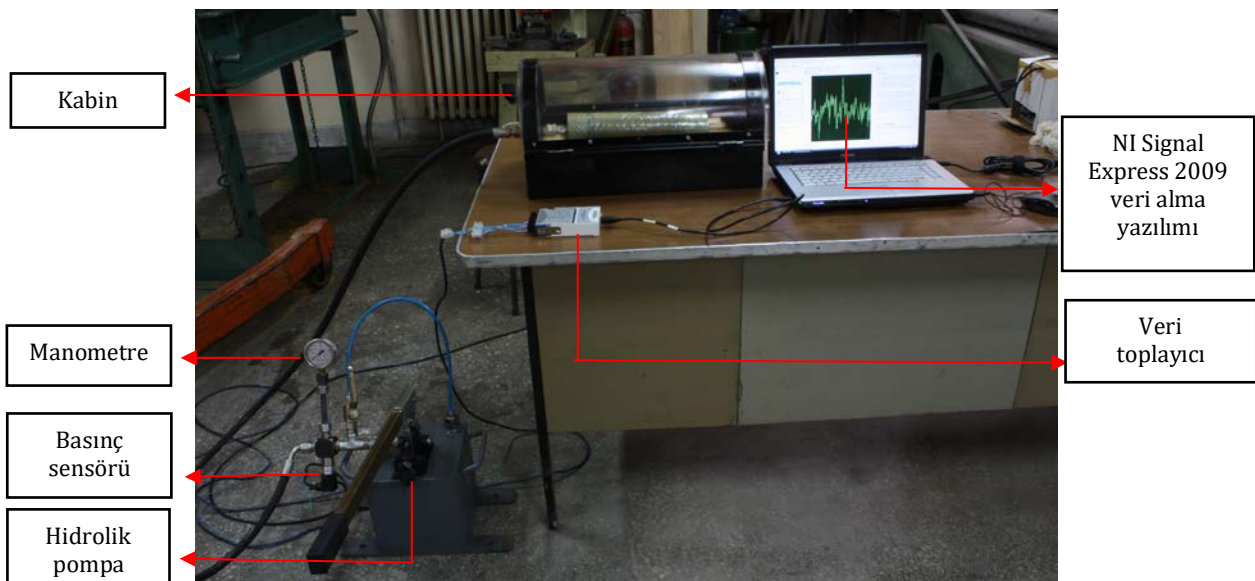
6, 8 ve 10 tabakalı CTP kompozit boruların teğetsel gerilme dayanımlarının bulunması için ASTM D 1599 standardına göre açık uçlu statik iç basınç patlama deneyleri yapılmıştır. ASTM D 1599 standardına göre; test esnasında numuneye uygulanan iç basınç artmaya başladıktan sonra 60-70 saniye zaman aralığında numunede sonuç hasarının (örneğin patlama) meydana gelmesi istenmektedir. Numunede

oluşacak sonuç hasarının olması gereken zaman aralığında gerçekleşmemesi durumunda deneylerin tekrar edilmesi gerekmektedir. Statik iç basınç patlama deneylerinin gerçekleştirilmesi için Şekil-1'de verilen aparat kullanılmıştır. CTP boruya uygulanan basıncın statik olarak artmasıyla boru numunesinin çapı artarken boyu kısalabilmektedir. Bu nedenle statik patlatma testi açık uçlu iç basınç deneyi olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 1. Serbest uçlu iç basınç test aparatı [1]

CTP kompozit borular statik iç basınç deneylerinde çok yüksek basınçlarda, bazen infilak ederek sonuç hasarına ulaşmaktadır. Bu nedenle bazı tehlikeli durumların ortaya çıkması muhtemeldir ve güvenliğin sağlanması gerekir. Güvenli bir şekilde deneyleri gerçekleştirmek için boru numunesi Şekil-2' de görülen üzeri şeffaf muhafaza kabini içerisine yerleştirilmiş ve deneyler izole ortamda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca şeffaf kapaktan deney esnasında numunelerde meydana gelen hasarlar gözlenmiştir. İç basınç deney düzeneği Şekil-2'de görülmektedir. Deney düzeneğindeki hidrolik pompa vasıtasıyla boru numunesi içerisine basınç yüklemesi yapılarak değişim manometreden gözlemlenmiştir. İlaveten deney düzeneğindeki basınç sensörü aracılığı ile zamana göre basınçta meydana gelen değişim tespit edilmiş ve bir veri toplayıcısına aktarılmıştır. Veri toplayıcısından NI Signal Express 2009 veri alma yazılımına gönderilen veriler ile zamana göre basıncın değişim grafiği elde edilmiştir [14].



Şekil 2. Serbest uçlu iç basınç deneyi seti [14]

Serbest uçlu statik iç basınç deneyinde boru numunelerinde sadece teğetsel gerilme (σ_T) oluşur. Eksenel yönde oluşacak gerilme (σ_E) sıfırdır. Ancak Poisson etkisi sebebiyle, numunede teğetsel gerilmeden oluşan hem teğetsel hem de eksenel şekil değişimleri meydana gelir. İnce cidarlı ve açık uçlu bir silindirde oluşan teğetsel gerilme (σ_T):

$$\sigma_T = \frac{pd}{2t} \quad (1)$$

şeklindedir. Burada t , cidar kalınlığı, p iç basınç (borunun patlama basıncı değeri alınmıştır), d ortalama çap olup, iç (d_i) ve dış (d_d) çapların toplamının yarısına eşittir:

$$d = \frac{d_i + d_d}{2} \quad (2)$$

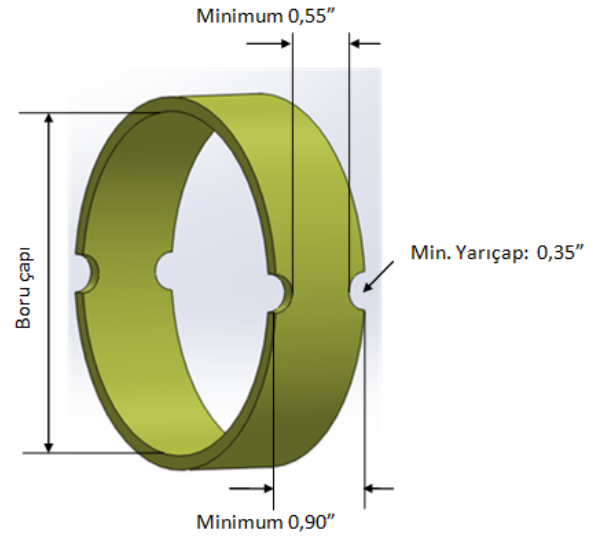
2.3. Halka çekme testi ile teğetsel gerilme dayanımının bulunması

Halka çekme deneyleri ASTM D 2290 Prosedür A'ya göre yapılmıştır. Bu standartta verilen test yöntemi, birçok plastik ürünün bölünmüş bir disk veya halka parçası kullanarak sıcaklık, nem ve test hızı gibi belirli ön koşullar altında karşılaştırmalı çekme dayanımını tespit etmeye yönelik çalışmaları kapsar. Bu test takviyelendirilmiş termoset reçine borulara, üretim yönteminden bağımsız olarak uygulanabilir. Prosedür A takviyelendirilmiş termoset reçine borular için kullanılmaktadır. 6, 8 ve 10 tabakalı CTP kompozit borulardan Şekil-3'te verilen ölçülere uygun olarak halka çekme numuneleri hazırlanmıştır. Prosedür A'ya göre numunenin her iki tarafına azaltılmış bölge açılması kullanıcının tercihine bırakılmıştır. Halka çekme testlerinde test makinesi çenesinin çekme hızı, nem, sıcaklık ve numune kalınlığı gibi şartlar dikkate alınmıştır. Sıcaklık; standart laboratuvar atmosfer sıcaklığı olan $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, nem; $\%50 \pm 5$ 'dir. Test hızı en az 0,1 inç/dk' dır. Şekil-4'te halka çekme testinin yapılışı görülmektedir. Deneylerde kullanılan Halka Çekme Cihazı (Şekil-4) Kalitest Makine tarafından üretilen universal çekme basma test cihazıdır. Cihaz farklı özelliklerde test numuneleri için 50 den fazla test imkânı sağlamaktadır. Cihaza uygun yazılımıyla tüm test sonuçları raporlanabilmekte ve istenildiği takdirde saklanabilmektedir. Cihaz çok sayıda test sonucunu (gerilme, kopma kuvveti, kopma uzaması, % uzama vb.) verebilme imkânına sahiptir.

Teğetsel gerilme değerinin hesaplanması Prosedür A'ya göre Eşitlik 3'te verilen formül ile bulunur:

$$\sigma_T = \frac{P_b}{2A_m} \quad (3)$$

Burada P_b numunenin kırıldığı en büyük kuvvet değeri (N), A_m azaltılmış bölgedeki en küçük kesit alanıdır.



Şekil 3. Prosedür A'ya göre halka çekme numunesi

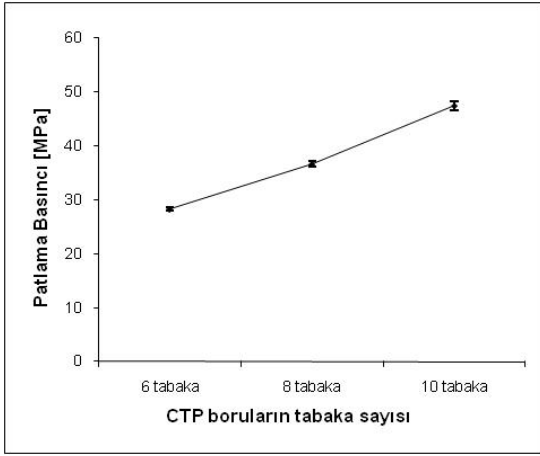


Şekil 4. Halka çekme testi

3. Bulgular ve Tartışma

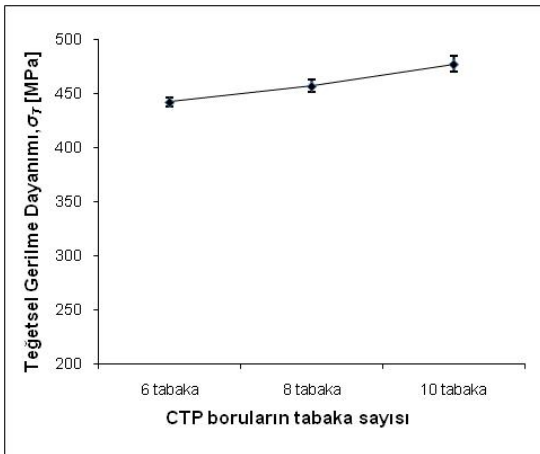
3.1. Açık uçlu statik iç basınç deney sonuçları

Her bir parametre için deneyler üçer kez tekrarlanmış olup sonuçlar ortalama olarak verilmiştir. Açık uçlu statik iç basınç patlama deneylerinden elde edilen tabaka sayısına göre patlama basıncı değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Tabaka sayısı arttıkça deney numunelerinin statik iç basınç patlama değerlerinde artış meydana geldiği Şekil 5'te görülmektedir. 6 tabakalı CTP kompozit boru numune 63 saniyede ve 28,2 MPa basınçta infilak ederek sonuç hasarına ulaşmıştır. 8 tabakalı CTP kompozit boru numune 66 saniyede ve 36,6 MPa basınçta infilak ederek sonuç hasarına ulaşmıştır. 10 tabakalı CTP kompozit boru numune de 65 saniye sürede ve 47,4 MPa basınçta infilak ederek sonuç hasarına ulaşmıştır.



Şekil 5. CTP boruların Tabaka sayısına göre patlama basıncı değişimi

Elde edilen patlama basıncı değerlerine göre teğetsel gerilme dayanımları Eşitlik 1'e göre hesap edilmiştir. Tabaka sayısına göre teğetsel gerilme dayanımlarındaki değişim Şekil-6'da verilmiştir. Eşitlik 1'e göre açık uçlu statik iç basınç patlama deneylerinden elde edilen teğetsel gerilme dayanımları tabaka sayısının artmasıyla artış göstermiştir. Şöyle ki hesaplama sonucunda 6 tabakalı kompozit borunun teğetsel gerilme dayanımı 442,76 MPa bulunmuştur. 8 tabakalı boruda teğetsel gerilme dayanımı 6 tabakalı boruya göre % 3,2 artış gösterirken 10 tabakalı boruda % 7,91 artış göstermiştir. Teğetsel gerilme dayanım oranlarındaki artış patlama basıncı oranlarındaki artışa göre çok düşüktür.



Şekil 6. Açık uçlu statik iç basınç deneyinden elde edilen CTP boruların Tabaka sayısına göre teğetsel gerilme dayanımı değişimi

CTP kompozit boru numunelerinin serbest uçlu iç basınç patlama deneylerinde;

- beyazlaşma başlangıcı,
- yoğun beyazlaşma,
- sızıntı başlangıcı,
- su jeti oluşumu
- sonuç hasarı

olmak üzere beş hasar aşaması meydana gelmektedir. Deney esnasında numuneye uygulanan iç basınç değerinin artmasıyla $\pm 55^\circ$ sarım açısındaki elyaflar

teğetsel doğrultuya yönelmeye çalışmaktadır. Buna bağlı olarak numune çapında büyüme olurken numune boyunda kısalma olmaktadır. İlâveten \pm elyaf demetlerinin kesiştiği noktalarda çoğunlukla kayma ve bir miktar basma gerilmeleri meydana gelmektedir [1]. Şekil-7'de sırasıyla a) 6 tabaka b) 8 tabaka ve c) 10 tabakalı CTP kompozit patlama testi neticesinde elde edilen sonuç hasar fotoğrafları görülmektedir. Deneylerde kullanılan numunelerin hepsi, iç basınç değeri teğetsel gerilme dayanımı değerine ulaştığında infilak ederek patlamıştır. Patlamanın etkisiyle elyaf kopmaları meydana gelmiş ve numuneler aksel yönde yarılarak sonuç hasarı ortaya çıkmıştır. Deney numunelerinde oluşan yarılanın aksel yönde ilerlemesinin başlıca nedeni en büyük gerilme değerinin teğetsel yönde olmasıdır. Deney esnasında hasar aşamalarından sızıntı başlangıcı ve yoğun su jeti oluşumu tespit edilmemiştir. Fotoğraflar incelendiğinde yoğun beyazlaşma görülen bölgeler, tabakalar arası ayrılmaların ve elyaf matris ara yüzey ayrılmalarının gerçekleştiği yerlerdir.



(a)



(b)



(c)

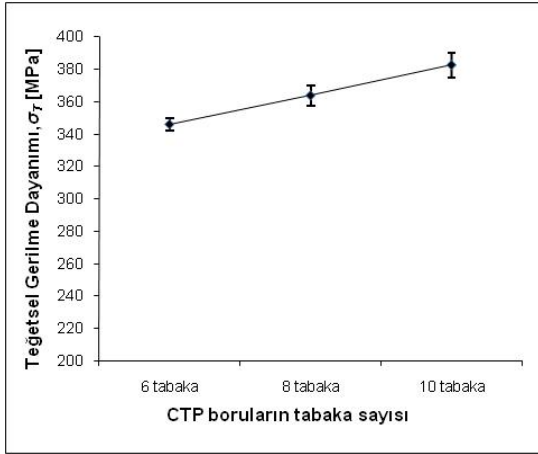
Şekil 7. CTP boruların statik iç basınç testi sonucu a) 6 tabaka b) 8 tabaka c) 10 tabakalı numunede oluşan sonuç hasar görünümü

3.2. Halka çekme testi sonuçları

Halka çekme testleri Bölüm 2.3'te verilen ASTM D 2290 Prosedür A'ya göre yapılmıştır. Her bir deney numune kopuncaya kadar devam etmiştir.

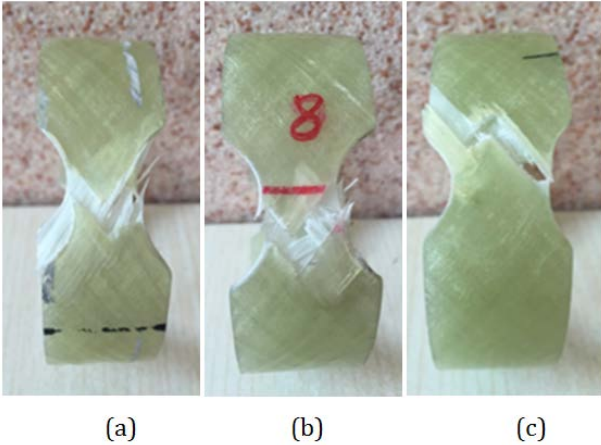
Halka çekme testlerinden elde edilen en büyük çekme kuvveti değerleri kullanılarak Eşitlik 3'e göre teğetsel gerilme dayanımları hesap edilmiştir. Tabaka sayısına göre teğetsel gerilme dayanımlarındaki değişim Şekil-8'de verilmiştir. Hesaplama sonucunda

6 tabakalı kompozit borunun teğetsel gerilme dayanımı 346,08 MPa bulunmuştur. 8 tabakalı boruda teğetsel gerilme dayanımı 6 tabakalı boruya göre % 5,1 artış gösterirken 10 tabakalı boruda % 10,58 artış göstermiştir.



Şekil 8. Halka çekme deneylerinden elde edilen CTP boruların Tabaka sayısına göre teğetsel gerilme dayanımı değişimi

Şekil-9'da sırasıyla a) 6 tabaka b) 8 tabaka ve c) 10 tabakalı CTP kompozit borudan halka çekme testi sonucunda elde edilen son hasar fotoğrafları verilmiştir. Tüm numunelerde teğetsel gerilme dayanımı değerine ulaşıldığında elyafların kopması gerçekleşmiş ve deney numuneleri azaltılmış bölgeden yarılarak ikiye ayrılmıştır. Yarılmanın $\pm 55^\circ$ sarım açısı yönünde olduğu tüm numunelerde görülmektedir.



Şekil 9. CTP boruların halka çekme testi sonucu a) 6 tabaka b) 8 tabaka c) 10 tabakalı numunede oluşan son hasar görünümü

3.3. İki farklı yöntemden elde edilen teğetsel gerilme dayanımlarının karşılaştırılması

Tablo 2.'de statik iç basınç deneyleri ve halka çekme deneyleri neticesinde farklı tabaka sayısına sahip CTP kompozit borulardan elde edilen teğetsel gerilme dayanımları verilmiştir. Buna göre her üç numune için de halka çekme deneylerinden elde edilen

teğetsel gerilme değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2. Statik iç basınç deneyi ve halka çekme deneyi neticesinde farklı kat sayısına sahip CTP kompozit borulardan elde edilen Teğetsel gerilme dayanımları ($X \pm SX$)

| Tabaka Sayısı | Statik iç basınç Deneyi σ_T (MPa) | Halka Çekme Deneyi σ_T (MPa) |
|---------------|--|-------------------------------------|
| 6 | 442,758 \pm 6,223 | 346,080 \pm 4,024 |
| 8 | 457,501 \pm 8,028 | 363,904 \pm 6,007 |
| 10 | 477,771 \pm 9,302 | 382,719 \pm 7,502 |

Halka çekme deneylerinden elde edilen Teğetsel gerilme değerlerinin düşük olmasının birçok nedeni vardır. Öncelikle yükleme durumları çok farklıdır. Statik iç basınç deneylerinde test numunelerinin uç kenarlarına herhangi bir yük gelmemektedir. Halka çekme numunelerinin yükleme durumunda ise tüm kenarlar yüklemenin etkisi altındadır. Özellikle test numunesi hazırlanırken oluşturulan azaltılmış alanlar yüke maruz kalmaktadır. Hasarın kenardan ilerlemeye başlaması halka çekme numunelerinin daha düşük gerilme değerinde sonuç hasarına ulaşmasına neden olmaktadır.

Küçük numune boyutları nedeniyle iç basınç altında kullanılan CTP kompozit borularda teğetsel gerilme dayanımlarının bulunması için *halka çekme deneylerinin* kullanılmasıyla malzemeden ciddi oranda tasarruf sağlayacaktır. Boruların çalışma şartlarının halka çekme deneylerinden elde edilen verilere göre belirlenmesi borular için güvenli bir durum ortaya koyacaktır. Çünkü halka çekme numunelerinden elde edilen gerilme dayanımlarının daha düşük olduğu görülmüştür.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada 6, 8 ve 10 tabakalı cam takviyeli plastik (CTP) boruların teğetsel gerilme dayanımı; ASTM D 1599 standardına göre patlama testi ve ASTM D 2290 standardına göre halka çekme testi ile deneysel olarak tespit edilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen değerler birbirleriyle karşılaştırılmış ayrıca numunelerde testler esnasında ortaya çıkan hasar gelişimleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar;

- Açık uçlu statik iç basınç patlama deneylerinden elde edilen teğetsel gerilme dayanımları tabaka sayısının artmasıyla artış göstermiştir. 8 tabakalı CTP boruda teğetsel gerilme dayanımı 6 tabakalı boruya göre % 3,2 artış gösterirken 10 tabakalı boruda % 7,91 artış göstermiştir.
- Statik iç basınç patlama deneylerinde kullanılan numunelerin hepsi, iç basınç değeri teğetsel gerilme dayanımı değerine ulaştığında infilak ederek patlamıştır. Patlamanın etkisiyle elyaf kopmaları meydana gelmiş ve numuneler

eksenel yönde yarılarak sonuç hasarı ortaya çıkmıştır. Deney numunelerinde oluşan yarılmanın aksel yönde ilerlemesinin başlıca nedeni en büyük gerilme değerinin teğetsel yönde olmasıdır.

- Halka çekme deneylerinde de statik patlatmada olduğu gibi tabaka sayısının artmasıyla teğetsel gerilme dayanımı artış göstermiştir. 8 tabakalı boruda teğetsel gerilme dayanımı 6 tabakalı boruya göre % 5,1 artış gösterirken 10 tabakalı boruda % 10,58 artmıştır.
- Halka çekme deneylerinde tüm numunelerde teğetsel gerilme dayanımı değerine ulaşıldığında $\pm 55^\circ$ sarım açısı yönünde elyafların kopması gerçekleşmiş ve deney numuneleri azaltılmış bölgeden yarılarak ikiye ayrılmıştır.
- Açık uçlu statik iç basınç patlatma testi ve halka çekme testi karşılaştırıldığında her üç numune içinde halka çekme deneylerinden elde edilen teğetsel gerilme değerleri daha düşüktür.
- İç basınç altında kullanılan CTP kompozit borularda Teğetsel gerilme dayanımlarının bulunması için Halka çekme deneylerinin kullanılması yerinde olacaktır. Test numunelerinin boyutları daha küçük olduğu için malzemenin ciddi oranda tasarruf sağlanacaktır. Boruların çalışma şartlarının halka çekme deneylerinden elde edilen verilere göre belirlenmesi borular için güvenli bir durum ortaya koyacaktır.

Kaynakça

- [1] Kara, M., 2012, Düşük Hızlı Darbe Sonrası Yama İle Tamir Edilmiş Filaman Sarım CTP Boruların İç Basınç Altındaki Hasar Davranışı, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 141s, Konya.
- [2] AWWA manual M45. Fiberglass pipe design. 2nd ed. Denver: American Water Works Association; 2005.
- [3] Watkins RK, Anderson LR. Structural mechanics of buried pipes. CRC Press LLC; 2000.
- [4] Jin, N. J., Hwang, H. G., Yeon, J.H., Structural analysis and optimum design of GRP pipes based on properties of materials, Construction and Building Materials, 38 (2013) 316-326.
- [5] Xia M., Takayanagi K., Kemmochi K., Bending behavior of filament-wound fiber reinforced sandwich pipes. Compos Struct, 56 (2002) 201-210.
- [6] Rousseau J., Perreux D., Verdier N., The influence of winding patterns on the damage behavior of filament-wound pipes. Compos Sci Technol, 59 (1999) 1439-1449.
- [7] Be'akou A., Mohamed A., Influence of variable scattering on the optimum winding angle of cylindrical laminated composites. Composite Structure, 53 (2001), 287-293.
- [8] Cohen D., Mantell S.C., Zhao L., The effect of fiber volume fraction on filament wound composite pressure vessel strength. Composites: Part B, 32 (2001) 413-429.
- [9] Cohen D., Influence of filament winding parameters on composite vessel quality and strength. Composites: Part A, (1997) 1035-1047.
- [10] Hawa, A., Majid, M. A., Afendi, M., Marzuki, H. F. A., Amin, N. A. M., Mat, F., Gibson, A. G. Burst strength and impact behavior of hydrothermally aged glass fibre/epoxy composite pipes. Materials & Design, 89 (2016) 455-464.
- [11] Demir, I., Sayman, O., Dogan, A., Arıkan, V., Arman, Y., The effects of repeated transverse impact load on the burst pressure of composite pressure vessel. Composites Part B: Engineering, 68 (2015) 121-125.
- [12] Arıkan, H., Failure analysis of $(\pm 55)_3$ filament wound composite pipes with an inclined surface crack under static internal pressure. Composite Structures, 92 (2010) 182-187.
- [13] R. Rafiee., Experimental and theoretical investigations on the failure of filament wound GRP pipes. Composites: Part B, 45 (2013) 257-267.
- [14] Şahin, A., 2011, Düşük hızlı darbe görmüş filaman sarım e-camı/epoksi boruların iç basınç altında yorulma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 100 s.
- [15] ANSI/AWWA C950-07, 2006, "AWWA Standard for Fiberglass Pressure Pipe" American Water Works Association, 6666 W. Quincy Ave., Denver, USA.
- [16] ASTM D1599-14e1 (2014), Standard Test Method for Resistance to Short-Time Hydraulic Pressure of Plastic Pipe, Tubing, and Fittings", ASTM International, West Conshohocken, PA, <https://doi.org/10.1520/D1599-14E01>, www.astm.org.
- [17] ASTM D 2290-12 (2013), "Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe. American Society for Testing and Materials," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006, DOI: 10.1520/D2290-12., www.astm.org.