

Elyaf Sarma Tekniği İle Üretilen Kompozit Borularda Reçine Ve Cam Elyaf Türünün İç Basınç Dayanımına Etkisi

Kaya, D.¹, Subaşı, S.^{2*} ve Subaşı, A.³

¹Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojileri Bölümü, Düzce, Türkiye.

^{2*}Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye.

³Düzce Üniversitesi, Gümüşova Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Düzce, Türkiye.

Özet

Canlı yaşamı için vazgeçilmez olan su kaynaklarının dünya üzerinde giderek azalması nedeniyle suyun verimli kullanımı ve etkin olarak taşınması çok önemli bir konu haline gelmiştir. İletim hatlarının etkin bir şekilde çalışması ancak uzun ömürlü ve sağlam borular kullanılması ile sağlanır. Bu ihtiyaç Cam elyaf Takviyeli Plastik (CTP) boru sektörüne büyük bir pazar oluşturmaktadır ve aynı zamanda CTP boru konusunda AR-GE çalışmalarının yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmanın amacı sürekli elyaf sarma metodu ile üretilmiş olan CTP kompozit borulardaki reçine ve cam elyafın boruların iç basınç dayanımına olan etkisinin araştırılmasıdır.

Çalışma kapsamında reçine tipi ve elyaf tipi açısından farklı kombinasyonlara sahip boru numuneleri üretilmiştir. Numuneler hazırlanırken ortoftalik, izoftalik ve vinilester olmak üzere üç çeşit reçine tipi; E-camı ve ECR-camı olmak üzere iki çeşit elyaf tipi kullanılmıştır. Bütün numunelerin iç basınç dayanımının tespiti kısa dönem patlatma test metodu kullanılarak yapılmıştır.

Sonuç olarak, reçine ve elyaf türüne bağlı olarak boru iç basınç dayanımlarının değiştiği, Vinilester reçine ve ECR-Cam elyafı ile üretilen borularda en yüksek iç basınç dayanımı değerlerinin elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İç basınç, kompozit boru, cam elyaf, reçine.

Effect of Resin and Glass Fiber Type on the Internal Pressure Resistance of Filament Wound Composite Pipes

Abstract

Water resources, which are vital for living beings, are decreasing all around the world. Thus, the efficient use and transport of water becomes a very important subject in recent years. Transport lines can work efficient only if they are installed with strong and longevous pipes. This requirement creates a big market for Glass fiber Reinforced Plastic (GRP) pipes and necessitates the research and development studies in this area. The subject of this study is to investigate the effect of resin and glass fiber type on the internal pressure resistance of GRP pipes, produced with continuous filament winding technology.

In this study, pipe samples were produced with different combinations of resin and fiber type. Three types of resin were used as ortoptalic, isoptalic, vinylester and two types of fiber were used as E-glass and ECR-glass. Internal pressure resistance of GRP pipes were determined by using short-term burst test method.

As a result, it was observed that internal pressure resistance of GRP pipes changed according to the type of resin and glass fiber used in production. Highest burst pressure values were obtained for the pipe samples produced with vinylester resin and ECR glass-fiber.

Key Words: Internal pressure, composite pipe, glass fiber, resin.

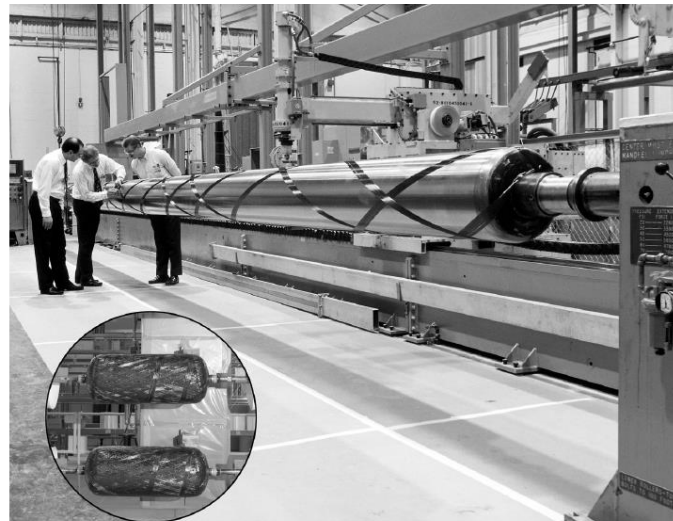
1. Giriş

Sürekli gelişen modern teknoloji, spesifik özelliklere sahip olan malzeme ihtiyacını arttırmaktadır. Çelik ve beton gibi geleneksel mühendislik malzemeleri, bu spesifik özellikleri karşılayamamaktadır. Bu nedenle kompozit malzemeler, diğer geleneksel malzemelere kıyasla sahip oldukları bu faydalı özellikler sayesinde, günümüzde birçok uygulama alanında kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler “matris” ve “takviye” olarak isimlendirilen en az iki bileşenden oluşmaktadır. Matris bileşeni takviye malzemesini tamamen kaplamaktadır. Kompozit malzemeler bir araya getirilmiş matris ve takviye malzemelerinin özelliklerini taşımaktadır. Kompozit malzemenin özellikleri genel olarak bileşenlerin özelliklerine, oranına, yapışma kabiliyetlerine ve takviye malzemesinin geometrisine ve oryantasyonuna bağlıdır. Kompozit yapılarda kullanılan çok çeşitli matris ve takviye malzemeleri bulunmaktadır. Bu malzemelerin farklı kombinasyonlar ile bir araya getirilmesi ile çok farklı uygulama alanlarında kullanılan kompozit malzemeler elde etmek mümkündür.

Cam elyaf Takviyeli Plastik (CTP) malzemeler, yüksek kimyasal ve mekanik dayanımları nedeniyle endüstride en yaygın olarak kullanılan kompozitlerdir. CTP malzemeler havacılık, deniz taşımacılığı, alt yapı, üst yapı ve kara taşımacılığı endüstrilerinde, rüzgar tribünlerinde, depo ve tank üretimlerinde kullanılmaktadır. CTP malzemelerin en önemli endüstriyel uygulamalarından bir tanesi de CTP borulardır. CTP borular plastiklerin yüksek korozyon dayanımına ve metallerin yüksek mekanik mukavemetine ihtiyaç duyulduğu uygulamalarda tercih edilmektedir ve genellikle içme-kullanma suyu veya kanalizasyon hatlarında kullanılmaktadır.

CTP boru üretiminde hammadde olarak cam elyaf takviyesi, termoset reçine ve silis kumu kullanılmaktadır. CTP borular genel olarak üç farklı şekilde üretilebilmektedir: Elyaf Sarma Yöntemi, Savurma Döküm Yöntemi ve El Yatırması Yöntemi. Elyaf sarma yöntemi iki farklı şekilde yapılmaktadır: Açılı Elyaf Sarma Yöntemi ve Sürekli Elyaf Sarma Yöntemi. Açılı elyaf sarma yönteminde boru, Şekil 1’de görüldüğü gibi, dönen bir kalıp üzerine, reçine ile ıslanmış elyafların belli bir gergi ve açı ile sarılması yöntemiyle üretilir. Boru boyu kalıp boyu ile sınırlıdır. Boru üretiminde genellikle yalnız sürekli elyaf kullanılır.



Şekil 1. Açılı Elyaf Sarma Yöntemi

Sürekli elyaf sarma yönteminde ise boru, Şekil 2 ve Şekil 3'te görüldüğü gibi, sonsuz bir mandren üzerine hammaddelerin üstten dökülmesi ve dışarıdan mekanik baskı ile sıkıştırılması yöntemiyle üretilir. Üstten dökülen hammaddelerin yeri, miktarı ve oranı çok önemlidir. Boru üretiminde hem sürekli hem de kesikli elyaf kullanılır. Bu üretim yönteminin diğer açılı elyaf sarma yöntemine göre avantajları boru boyunun istenilen ölçüde üretilebilmesi, üretim hızlı olduğundan ve proseste rahatlıkla dolgu malzemesi kullanılabildiğinden maliyetin düşük olması ve üretilen boru çap aralığının açılı sarma yöntemine göre çok daha geniş olmasıdır.



Şekil 2. Sürekli Elyaf Sarma Makinesi



Şekil 3. Mandren üzerine beslenen hammaddeler

CTP boruların mekanik özellikleri ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde genellikle çalışmaların açılı elyaf sarma veya el yatırması yöntemi ile üretilen borular üzerinde yapıldığı görülmektedir. Oysa bu çalışma, açılı elyaf sarma ve el yatırması yöntemlerine göre avantajları çok olan ve endüstride yaygın olarak kullanılan sürekli elyaf sarma yöntemi ile üretilen borular üzerinde yapılmıştır. Ayrıca boruların çembersel yöndeki mukavemetlerini tespit etmek için uluslararası standartlarda değişik yöntemler mevcuttur. Örneğin bu çalışmada kullanılan ISO 8521 "Plastik Boru Sistemleri- Cam elyaf Takviyeli Plastik (CTP) Borular- Görünür Başlangıç Gerilme Mukavemeti Tayini İçin Test Yöntemleri-" standardında çembersel yöndeki gerilme mukavemetini tespit etmek için 5 farklı test metodu belirtilmiştir.

Metot A: Patlatma Test Metodu

Metot B: Yarık Disk Metodu

Metot C: Çekme Test Metodu

Metot D: Modifiye Edilmiş Çekme Test Metodu

Metot E: Çentikli Plaka Test Metodu

Literatürdeki çalışmaların birçoğunda CTP boruların çembersel yöndeki gerilme mukavemetini tespit etmek için yarık disk metodu veya çekme test metodu kullanıldığı görülmüştür. Bunun en önemli sebebi numunelerin hazırlanma kolaylığı ve standart bir çekme test cihazı ile bu testlerin yapılabilmesidir. Ancak, ISO 8521 standardı, patlatma testini "referans metot" olarak belirtmiştir. Çünkü patlatma testinde, test esnasında numuneye iç basınç direkt olarak uygulanmaktadır. Ancak diğer metotlarda, borudaki iç basınç, farklı şekillerde numune üzerinde gösterilmeye çalışılmaktadır. Bu metotlarda test esnasında numunenin bir miktar düzleşmesinden ve kuvvetin eşit olarak boru duvarına uygulanmamasından dolayı belli bir hata payı kaçınılmazdır. Bu nedenle ISO 8521 standardında "bir metodun sonucu diğer metodun sonucu ile aynı olmayabilir" ibaresi mevcuttur. Sonuç olarak CTP boruların iç basınç dayanımının en doğru şekilde tespit edildiği yöntem patlatma testi olduğu için bu çalışmada patlatma test metodu kullanılmıştır.

Kaynak, C. ve diğer. [1] açılı elyaf sarma yöntemi ile üretilen epoksi kompozit boruların proses parametreleri üzerinde çalışmıştır. 2 farklı epoksi reçine, 5 farklı elyaf ve 5 farklı elyaf açısı ile üretilen boru numuneleri yarı disk metodu kullanılarak test edilmiştir. Epoksi reçinenin mekanik mukavemete bir etkisinin olmadığı ancak karbon elyafı numunelerin cam elyafı numunelere göre daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve 60° nin üzerindeki elyaf açısının mekanik mukavemeti arttırdığı görülmüştür.

Tarakcioglu, N. ve diğer. [2] üzerinde yüzey çatlakları oluşturulan açılı elyaf sarma boruların iç basınç dayanımı konusunda çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda yüzey çatlaklarının $\pm 45^\circ$ ve $\pm 55^\circ$ açı ile sarılmış borulara göre özellikle $\pm 75^\circ$ açılı sarma borularda daha etkili olduğu görülmüştür.

Arikan, H. [3] üzerinde eğik yüzey çatlakları bulunan $\pm 55^\circ$ açılı elyaf sarma kompozit boruların sabit iç basınç altında kırılma analizi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kullanılan numune borular cam elyaf ve epoksi reçine ile hazırlanmıştır. Boruların üzerinde eğik bir şekilde çatlak oluşturulmuş ve borular iç basınca tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda boru yüzeyinde oluşturulan çatlak açısının artması ile patlama basıncının arttığı ve çatlak açısının etkisinin azaldığı görülmüştür.

Saribiyik, M. ve diğer. [4] elyaf hacim oranının cam elyaf takviyeli plastiklerin mekanik özelliklerine olan etkisi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Çalışmada farklı elyaf hacim oranlarına sahip, pultrüzyon yöntemi ile üretilmiş, dokuz adet CTP profili kullanılmış ve yapılan çekme testleri neticesinde elyaf hacim oranı arttıkça malzemenin mekanik mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, farklı termoset reçine ve cam elyaf tipleri kullanılarak, bu malzemelerin sürekli elyaf sarma yöntemi ile üretilmiş CTP boruların patlama basıncı üzerindeki etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Matris malzemeleri olarak ortoftalik, izoftalik ve vinilester reçine; takviye malzemeleri olarak da E-camı ve ECR-camı elyaf kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot:

2.1. Matris Malzemesi

Kompozit malzemelerde matris seçimi nihai üründe istenen özelliklere göre yapılmaktadır. CTP kompozit borularda genellikle ortoftalik, izoftalik ve vinilester reçine kullanılmaktadır.

Bu çalışmada BOYTEK BRE 310W (ortoftalik reçine), BOYTEK BRE 311W (izoftalik reçine) ve REICHHOLD DION IMPACT 9160 (vinilester reçine) kullanılmıştır. Reçinelerin üreticileri tarafından verilen özellikleri Tablo 1., Tablo 2. ve Tablo 3.'te gösterilmiştir.

Tablo 1. Kürleşmiş-takviyesiz ortoftalik reçine mekanik özellikleri [5]

Özellik	Birim	Değer	Test Metodu
Çekme Dayanımı	MPa	65	ISO 527
Kopmada Uzama	%	3	ISO 527
Çekme Modülü	MPa	3500	ISO 527
Eğilme Dayanımı	MPa	110	ISO 178
Eğilme Modülü	MPa	3600	ISO 178
Isıda Eğilme Sıcaklığı	°C	80	ISO 75-A
Sertlik	Barcoll / 934-1	45	ASTMD 2583

Tablo 2. Kürleşmiş-takviyesiz izofoalik reçine mekanik özellikleri [6]

Özellik	Birim	Değer	Test Metodu
Çekme Dayanımı	MPa	70	ISO 527
Kopmada Uzama	%	3,5	ISO 527
Çekme Modülü	MPa	3600	ISO 527
Eğilme Dayanımı	MPa	120	ISO 178
Eğilme Modülü	MPa	3700	ISO 178
Isıda Eğilme Sıcaklığı	°C	90	ISO 75-A
Sertlik	Barcoll / 934-1	40	ASTMD 2583

Tablo 3. Kürleşmiş-takviyesiz vinilester reçine mekanik özellikleri [7]

Özellik	Birim	Değer	Test Metodu
Çekme Dayanımı	MPa	85	ISO 527
Kopmada Uzama	%	5	ISO 527
Çekme Modülü	MPa	3250	ISO 527
Eğilme Dayanımı	MPa	155	ISO 178
Eğilme Modülü	MPa	3500	ISO 178
Isıda Eğilme Sıcaklığı	°C	115	ISO 75-A
Sertlik	Barcoll / 934-1	35	ASTMD 2583

2.2. Takviye Malzemesi

Kompozit malzemelerde takviye malzemesi seçimi çok önemlidir. Takviye malzemesi nihai ürünün fiziksel ve mekanik özelliklerini çok etkilemektedir. CTP borularda takviye malzemesi olarak genellikle cam elyaf kullanılmaktadır. Bu çalışmada 2 farklı çeşit cam elyafı kullanılmıştır. Kullanılan takviye malzemelerinin tipleri aşağıda belirtilmiştir.

E-camı: CAM ELYAF FWR6 (sürekli elyaf) ve CAM ELYAF KCR5 (kesikli elyaf 40 mm)

ECR-camı: OCV R25H (sürekli elyaf) and P246 ADVANTEX (kesikli elyaf 40 mm)

Cam elyafların üreticileri tarafından verilen özellikleri Tablo 4.'de belirtilmiştir.

Tablo 4. E-camı ve ECR-cam elyafların teknik özellikleri

Özellik	Birim	E-camı	ECR-camı
Lineer Ağırlık (Tex)	g/m ²	600 tex FWR6 2400 tex FWR6 2400 tex KCR5	600 tex RH25 2400 tex RH25 2400 tex P246
Yanma Kaybı	%	0,35 – 0,75 FWR 6 0,7-1,5 KCR5	0,35 – 0,75 RH25 0,7-1,5 P246
Çekme Dayanımı	MPa	3300-3900	3400-4000

2.3. Dolgu Malzemesi

Bu çalışmada üretilen numunelerde istenilen rijitlik sınıfını sağlayabilmek için dolgu malzemesi olarak silika kumu kullanılmıştır. Kullanılan silika kumunun özellikleri Tablo 5'te belirtilmiştir.

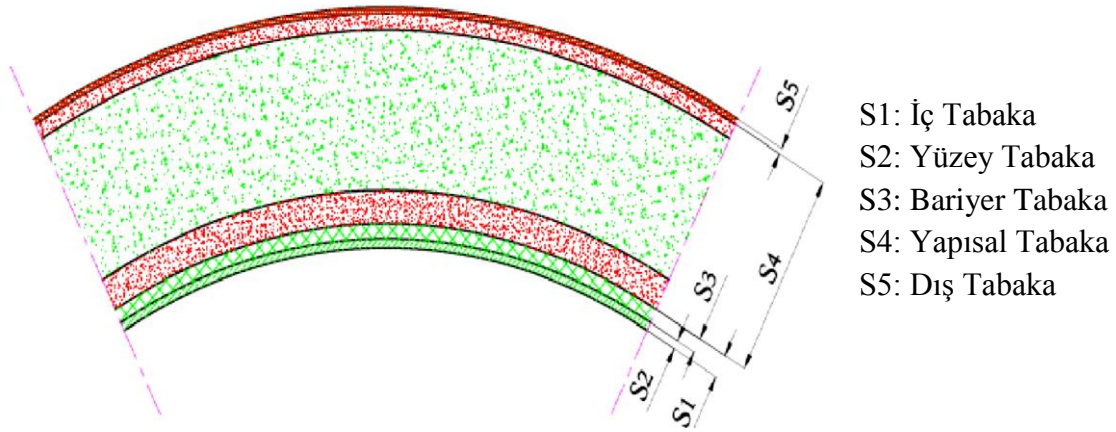
Tablo 5. Silika kumu teknik özellikleri

Özellikler	Birim	Silika Kumu
Yoğunluk	kg/dm ³	2,67
Tanecik Dağılımı	%	0,15mm-0,60mm arası min. %90
SiO ₂ miktarı	%	98
Nem miktarı	%	Maks. 0,5

2.4. Numune Üretimi

Numuneler sürekli elyaf sarma makinesi kullanılarak üretilmiştir. Sürekli elyaf sarma makinesi üzerine öncelikle reçinenin makineyi kirletmemesi için yüksek sıcaklığa dayanıklı ayırıcı film, ardından da boru içerisinde pürüzsüz bir yüzey oluşmasını sağlamak için yüzey tülü sarılmıştır. Daha sonra reçine, elyaf ve dolgu malzemeleri reçeteye uygun olarak belli oranlarda mandren üzerine uygulanmış ve hemen sonrasında reçine ve yüzey tülü kullanılarak borunun dış yüzeyi oluşturulmuştur. Bu çalışmada üretilen sürekli elyaf sarma boruların tabaka yapısı Şekil 4.'te verilmektedir.

İç tabaka (S1), yüzey tabaka (S2) ve bariyer tabakasından (S3) oluşmaktadır. İç tabakanın görevi boruya yüksek korozyon, aşınma ve darbe dayanımı sağlamaktır. Yüzey tabaka (S2) C-camı yüzey tülü ve reçineden oluşmaktadır. Bariyer tabakası (S3) ise reçine ve elyaf takviyesinden oluşmaktadır. Yapısal tabaka (S4) reçine, elyaf ve dolgu malzemesinden oluşmaktadır. Yapısal tabakanın görevi borunun istenen mekanik özellikleri karşılmasını sağlamaktır. Dış tabaka (S5) reçine ve C-camı yüzey tülünden oluşmaktadır. Dış tabakanın görevi boru dışında reçine zengin bir tabaka oluşturmak ve güneş ışınlarına karşı dayanım sağlamaktır.



Şekil 4. Sürekli elyaf sarma boruların tabaka yapısı

CTP borular DN/PN/SN sınıflarına göre üretilirler. DN boruların nominal çapı (mm olarak), PN boruların sürekli çalışabileceği nominal iç basınç değeri (bar olarak), SN ise boruların sürekli çalışabileceği nominal tepe yükü dayanımı (N/m^2) değeridir. Bu çalışmada üretilen tüm boru numuneleri 500/10/5000 sınıfındadır. Çalışma için oluşturulan test grupları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Reçine tipinin borunun patlama basıncına etkisini belirlemek için hazırlanan test grubu

DN/PN/SN	Reçine	Elyaf
500/10/5000	Ortoftalik (BRE 310W)	E-camı
		ECR-camı
	İzoftalik (BRE 311W)	E-camı
		ECR-camı
	Vinilester (DION 9160)	E-camı
		ECR-camı

2.5. Kompozit Boru Tasarım Parametreleri

Boru tasarımında kullanılan tabakaların kalınlık ve ağırlıkça hammadde oranları Tablo 7’de verilmiştir. Bütün boru tasarımlarında kürleşme reaksiyonu için hızlandırıcı olarak %0,8 oranında Kobalt Oktoat ve %2 oranında ise tersiyer bütül peroksi benzoat ve asetil aseton peroksit karışımı (Trigonox 269) kullanılmıştır. Boru üretiminde kullanılan kesikli elyaf boyu 40 mm’dir.

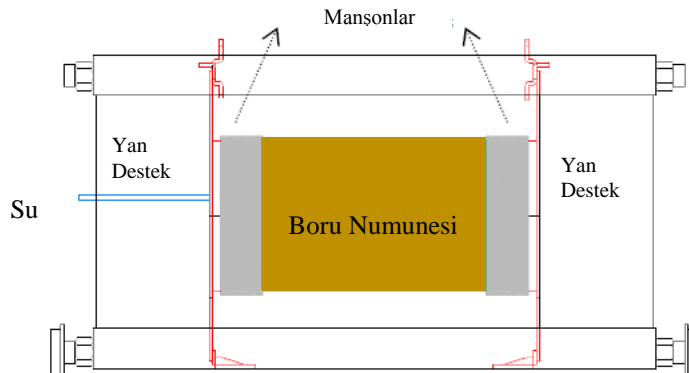
Tablo 7. Boru tasarım parametreleri

Hammadde	Yüzey Tabaka -S2-	Bariyer Tabakası -S3-	Yapısal Tabaka -S4-	Dış Tabaka -S5-	Toplam
Kalınlık	0,2 mm	0,8 mm	6,6 mm	0,2 mm	7,8 mm
Reçine	%90	%60	%25	%90	%28
Kesikli Elyaf	-	%40	%7	-	%11
Sürekli Elyaf	-	-	%17	-	%15
Kum	-	-	%51	-	%46
Yüzey Tülü	%10	-	-	%10	-

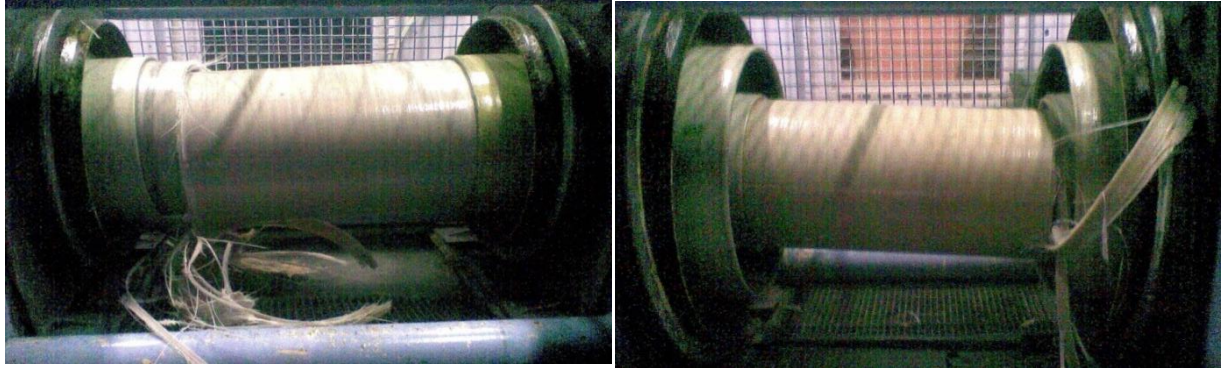
2.6. Deney Metodu

Bu çalışmada CTP boru numunelerinin iç basınç dayanımı, ISO 8521 standardı Metot A’da belirtilen patlatma deneyi yapılarak bulunmuştur. Deney esnasında kullanılan patlatma test cihazı, boru numunesine basınç veren otomatik bir sistem, bir manometre, numunenin aparata bağlanmasını sağlayan ve su kaçağını engelleyen iki manşon, ve iç basınçtan kaynaklanan eksenel yüklerin boru üzerine gelmesini engelleyen yan desteklerden oluşmaktadır. Boru numunesine basınç veren otomatik sistem 1-3 dakika arasında borunun patlamasını sağlayacak şekilde numune içerisine su basmaktadır. Boru numunesi içerisinde ki hava, basınç verilmeden önce tamamen boşaltılmakta ve basınç verme esnasında borunun içerisine hava girmesi engellenmektedir. Patlatma test cihazı çizimi Şekil 5’te gösterilmektedir.

1,5 metre boyundaki boru numunesinin iki ucuna eksenel yükleri taşımayan CTP manşon geçirilmiş ve manşonlu boru numunesi patlatma test cihazına yerleştirilmiştir. Boru numunesinin iki ucu eksenel yükleri karşılayacak yan plakalar ile desteklenmiştir. Boru içerisine tamamen su doldurulmuş ve ardından boru içerisindeki hava tamamen boşaltılmıştır. Boruya 1-3 dakika arasında patlayacak şekilde otomatik bir sistem yardımıyla su pompalanmış ve boru patlayana kadar bu işlem devam ettirilmiştir. Boru patladığında ulaşılan maksimum basınç değeri kaydedilmiştir. Patlayan boru numune resimleri Şekil 6’da gösterilmektedir.



Şekil 5. Patlatma test cihazı çizimi



Şekil 6. Patlatma basıncı testi sonrası hasar gören boru numuneleri

3. Bulgular ve Tartışma

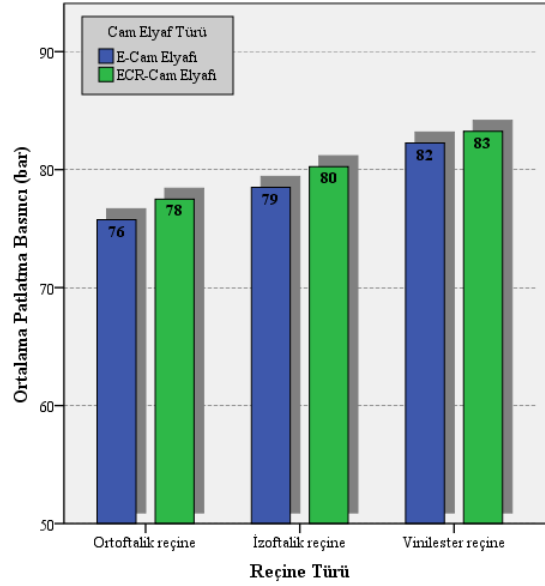
Farklı reçine ve elyaf türlerinden üretilen CTP kompozit boruların kısa dönem patlatma basıncı deneyinden elde edilen sonuçlara ait açıklayıcı istatistikler Tablo 8 de verilmiştir. Ayrıca elde edilen ortalama patlatma basıncı değerlerindeki değişiklik Şekil 7’de görülmektedir.

Tablo 8. Patlatma basıncı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Reçine Türü	Elyaf Türü	N	Ortalama Patlatma Basıncı (bar)	Std. Sapma	Std. Hata	95% güven aralığında ortalamanın		Min.	Maks.
						Alt sınırı	Üst Sınırı		
Ortoftalik reçine	E-Cam	4	75,75	0,957	0,479	74,23	77,27	75	77
	ECR-Cam	4	77,50	1,291	0,645	75,45	79,55	76	79
	Toplam	8	76,63	1,408	0,498	75,45	77,80	75	79
İzoftalik reçine	E-Cam	4	78,50	0,577	0,289	77,58	79,42	78	79
	ECR-Cam	4	80,25	0,957	0,479	78,73	81,77	79	81
	Toplam	8	79,38	1,188	0,420	78,38	80,37	78	81
Vinilester reçine	E-Cam	4	82,25	0,957	0,479	80,73	83,77	81	83
	ECR-Cam	4	83,25	0,957	0,479	81,73	84,77	82	84
	Toplam	8	82,75	1,035	0,366	81,88	83,62	81	84

Patlatma basıncı testinden elde edilen veriler üzerinde reçine ve elyaf türünün patlatma basıncı üzerindeki etkisini test edebilmek için varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucunda elyaf türünün ve reçine türünün patlatma basıncı üzerinde istatistiki olarak önemli düzeyde etkisi olduğu görülmüştür (Tablo 9). Diğer bir ifadeyle reçine ve elyaf türüne bağlı olarak boru patlatma basıncı değerlerinin değiştiği söylenebilir.

Varyans analizi sonucunda görülen farkın hangi gruplardan kaynaklandığını tespit edebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir. Duncan testi sonuçları Tablo 10’da verilmektedir.



Şekil 7. Ortalama patlatma basıncı değerleri

Tablo 9. Varyans analizi sonuç tablosu

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi (p≥0,05)
Reçine türü	150,583	2	75,292	79,721	0,000
Cam elyaf türü	13,500	1	13,500	14,294	0,001
Reçine * cam elyaf	0,750	2	0,375	0,397	0,678
Hata	17,000	18	0,944		
Toplam	152186,000	24			
Düzeltilmiş Toplam	181,833	23			

Tablo 10. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Karşılaştırılan Grup	Alt Gruplar	N	Farklı olan gruplar (p≥0,05)		
			1	2	3
Reçine Türü	Ortoftalik reçine	8	76,63		
	İzofthalik reçine	8		79,38	
	Vinilester reçine	8			82,75
Elyaf Türü	E-cam elyafi	12	78,83		
	ECR-cam elyafi	12		80,33	

Tüm reçine türlerinde patlatma basıncı değerlerinin birbirinden farklı olduğu, ortoftalik reçine ile üretilen kompozit borunun 76,63 bar'lık patlatma basıncı ile en düşük, Vinilester reçine ile üretilen kompozit borunun ise 82,75 bar'lık patlatma basıncı ile en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Vinilester reçine ile üretilen boruların patlatma basıncının ortoftalik reçineye göre yaklaşık %7 oranında daha büyük değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Elyaf türüne bağlı olarak tüp reçine tiplerinde ECR-cam elyafi ile üretilen boruların patlatma basıncının en yüksek değer aldığı ve E-camına göre ECR-cam elyafının yaklaşık % 2 daha büyük patlatma basıncı sağladığı görülmektedir.

Kaynak ve diğerlerinin [1] yaptığı çalışmada 2 farklı türde epoksi reçine kullanmış ve kullanılan epoksi reçinelerin birbirine çok yakın özelliklere sahip olduğundan reçine türünün boru mekanik özelliklerine etkisinin olmadığını ifade etmektedir. Ancak çalışmada boru

patlatma basıncı testi gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca elyaf türüne bağlı olarak boru mekanik özelliklerinin değiştiği ifade edilmektedir. Bizim araştırmamızda kullanılan 3 farklı reçine türü termoset reçine olup kompozit malzeme sektöründe en yaygın kullanılan reçinelerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda epoksi reçinelerinden farklı olarak termoset reçineler arasında vinilester reçinesinin diğer reçinelere göre daha yüksek patlatma basıncı sağladığı görülmüştür.

4. Sonuç

CTP borular genellikle metallerin yüksek mukavemeti ve plastiklerin yüksek korozyon dayanımı özelliklerini bir arada bulundurduğundan birçok uygulamada tercih edilmektedir. Bu çalışma CTP borular için çok önemli bir tasarım kriteri olan patlama basıncı değerinin reçine ve elyaf türüne göre nasıl değiştiğini belirlemek için yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, düşük maliyet ve yüksek dayanım özellikleri nedeniyle dünyada çok tercih edilen bir CTP boru üretim yöntemi olan, sürekli elyaf sarma prosesi ile üretilen borular incelenmiştir.

Bu çalışmada reçine olarak ortoftalik, izoftalik ve vinilester reçine, elyaf olarak E-camı ve ECR-camı kullanılarak boru numuneleri üretilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde reçine ve elyaf tipinin boruların patlama basıncını etkilediği görülmüştür. Reçine türleri içerisinde en yüksek patlatma basıncının vinilester reçine ile üretilen borularda, elyaf türleri içerisinde ise ECR-cam elyafı ile üretilen borularda elde edildiği ve sırasıyla %7 ve %2 oranlarında patlatma basıncını arttırdığı görülmüştür. Cam elyaf takviyeli kompozit boru üretiminde yapısal tabaka üzerinde yapılan farklı reçine ve elyaf türleri üzerinde yapılan bu çalışmanın, özellikle elyaf sektöründeki gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkan yeni elyaf türlerinin farklı boy ve oranlarda kullanımı ile boru mekanik özelliklerdeki değişimlerinin araştırılması daha yüksek performanslı boru üretimine katkı sağlayacaktır. Ayrıca kompozit boru üretiminde nano ve mikro elyaf kullanımı ile mikro yapıda gerçekleştirilecek güçlendirme uygulamaları ile daha yüksek mukavemetli boru üretimi yapılabilmesinin mümkün olacağı düşünülmektedir.

5. Referanslar

- [1] Kaynak, C. ve Erdiller, E.S. ve Parnas, L. ve Senel, F., “Use of Split-Disk Tests For The Process Parameters of Filament Wound Epoxy Composite Tubes”, *Polymer Testing* 24(5), sayfa 648-655, 2005.
- [2] Tarakcioglu, N. ve Akdemir, A. ve Avcı, L., “Strength of Filament Wound GRP Pipes With Surface Crack”, *Composites Part B* 32(01), sayfa 131-138, 2000.
- [3] Arıkan, H., “Failure Analysis of ($\pm 55^\circ$) Filament Wound Composite Pipes With an Inclined Surface Crack Under Static Internal Pressure”, *Composite Structures* 92(10), sayfa 182-187, 2009.
- [4] Sarıbiyik, M. ve Turhan, M. ve Sarıbiyik, A., “Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Mekanik Özelliklerine Elyaf Hacim Oranlarının Etkileri”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- [5] BOYTEK, “BRE 310W Technical Data Sheet”, 2008.
- [6] BOYTEK, “BRE 311W Technical Data Sheet”, 2009.
- [7] REICHHOLD, “DION IMPACT 9160 Product Bulletin”, 2006.
- [8] GLASSFLAKES CO. LTD., “GLASSFLAKES Brochure”, 2010.
- [9] Wakayama, S. ve Kobayashi, S. ve Imai, T. ve Matsumoto, T., “Evaluation of Burst Strength of FW-FRP Composite Pipes After Impact Using Pitch-Based Low-Modulus Carbon Fiber”, *Composites: Part A* 37, sayfa 2002–2010, 2006.
- [10] Cohen, D. ve Mantell, S.C. ve Zhao, L., “The Effect of Fiber Volume Fraction on Filament Wound Composite Pressure Vessel Strength”, *Composites: Part B* 32, sayfa 413–429, 2001.