

## MESNET FARKLILIKLARININ BAZALT ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT BORULARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Turan DEMİRÇİ<sup>1\*</sup>, Uğur YOZGAT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

<sup>2</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği ABD, Konya Türkiye

\*turandemirci@selcuk.edu.tr, uuryozgat@gmail.com

### Özet

Gerçekleştirilen bu çalışmada,  $\pm 55^\circ$  filaman sarım BTP/Epoksi kompozit borulara iç çapı ölçülerinde dolu çelik mil yerleştirilerek, borunun içinden mesnetleme yapılmıştır. Mesnetle yapılmayan içi boş BTP/Epoksi kompozitler ile birlikte çelik mil ile mesnetlenmiş BTP/Epoksi kompozit boruların 20J ve 25J enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testler neticesinde, içi dolu çelik ile mesnetlenmiş BTP/Epoksi ve içi boş BTP/Epoksi kompozit boruların maksimum darbe kuvvetleri, deplasman değişimleri ve absorbe edilen enerji miktarları belirlenmiştir. Mesnetin  $\pm 55^\circ$  filaman sarım BTP/Epoksi kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışlarına etkisi tespit edilmiştir. Mesnetleme ile maksimum kuvvet değerinin arttığı, deplasman miktarının da düştüğü belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bazalt elyaf, Filaman sarım kompozit, Düşük hızlı darbe davranışları

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SUPPORT DIFFERENCES ON LOW VELOCITY IMPACT BEHAVIORS OF BFR/EPOXY COMPOSITE TUBES

### Abstract

In this study,  $\pm 55^\circ$  filament wound BFR / Epoxy composite tubes have been supported by a steel shaft with placing inside the composite tube according to internal diameters. Low velocity impact tests were performed at 20J and 25J energy levels for BFR / Epoxy composite tubes supported by the steel shaft and unsupported. As a result of the tests, maximum impact forces, displacement changes and absorbed energy

amounts of BFR / Epoxy composite tubes supported by the steel shaft and unsupported were determined. The effects of a steel shaft support of  $\pm 55^\circ$  filament wound BFR/Epoxy composites on low velocity impact behavior were investigated. It was determined that the maximum force value increased and the amount of displacement decreased by the steel shaft support.

**Keywords:** Basalt fiber, filament wound composite, low velocity impact behaviors.

## 1. Giriş

Polimer matrisli filaman sarım kompozit borular sağlamış oldukları yüksek dayanım/ağırlık oranından dolayı savunma, uzay ve havacılık, kimya endüstrilerinde kullanılmasının yanında, LPG ve CNG basınçlandırılmış boru hatları ve tankların imallerinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda özel amaçlar için özellikle roket ve roket atar gövdelerinde oluşan yüksek basıncın sağlanması ile beraber getirmiş olduğu hafiflik ile taşımayı kolaylaştırması tercih edilme sebebini oluşturmuştur. Filaman sarım kompozitlerde, elyaf takviyesi olarak cam ve karbon elyaflar tercih edilmektedir. Karbon elyafların maliyetlerinin yüksek olması ve cam elyafların mekanik performanslarının çok yüksek olmaması, bu iki elyaf tipinin arasında maliyet ve mekanik performansları sağlayacak alternatif elyaf takviyelerinin arayışına araştırmacıları sürüklemiştir [1-2, 7-11]. Alternatif takviye malzemesi olan bazalt elyaflar ön plana çıkmaktadır. Bazalt elyafların mekanik özellikleri cam elyaflardan daha iyi olmasına rağmen kimyasal özellikleri oldukça benzemektedir. Bazalt elyafların seramik kimyasal içeriklerinin ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ) cam elyaflardan fazla olması mekanik özelliklerinin yüksek değerler almasını sağlamaktadır [3, 4, 7, 9].

Filaman sarım kompozit borular ile ilgili birçok çalışmalar mevcut olup, bu çalışmalar genel itibariyle cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit borular üzerinde yoğunlaşmış bir durumdadır. Araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen bu çalışmalar, cam ve karbon elyaf takviyeli filaman sarım kompozit boruların yorulma testlerini, iç basınç patlatma testlerini ve düşük hızlı darbe testlerini içermektedir [5, 6, 11]. Demirci ve ark. ise çalışmalarında filaman sarım kompozit borularda takviye malzemesi olarak bazalt elyafları kullanmışlar, iç basınç ve yorulma testlerinin yanında kompozit numunelere nanopartikül katkıları yaparak kırılma tokluklarını da belirlemişlerdir [7, 9]. Kara ve ark. karbon elyaf takviyeli epoksi kompozitlere çok duvarlı karbon nanotüp

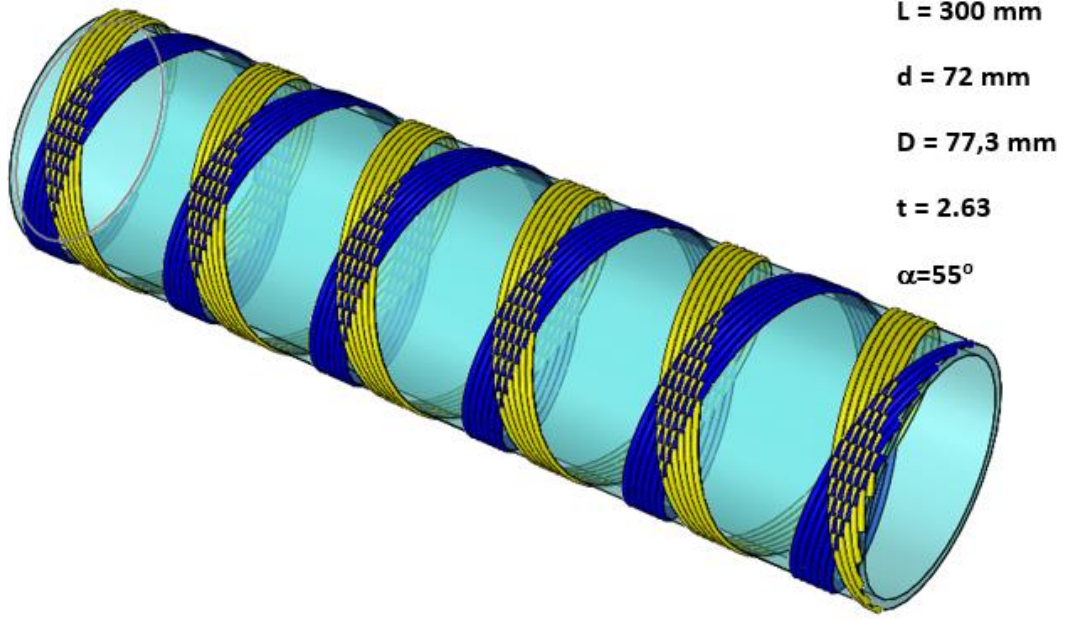
katkısı yaparak, düşük hızlı darbe davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında, çok duvarlı karbon nanotüp katkısıyla maksimum kuvvet değerlerinde artışın olduğunu belirlemişlerdir. Aynı zamanda, nanopartikül katkısıyla deplasman miktarının ve temas süresinin düştüğünü de belirlemişlerdir [12]. Uyaner ve ark. cam elyaf takviyeli filaman sarım kompozit boruların düşük hızlı darbe testlerinde, sarım açısının eğilme rijitliğini önemli derecede etkilediğini ifade etmişlerdir [13].

Gerçekleştirilen bu çalışmada, bazalt elyaf takviyeli  $[\pm 55^\circ]_6$  filaman sarım epoksi kompozit borular içi boş ve içi çelik mil ile mesnetleme yapılarak düşük hızlı darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Düşük hızlı darbe deneyleri 2 farklı enerji seviyesinde gerçekleştirilmiş olup, bunlar 20J ve 25J olarak belirlenmiştir. Testler neticesinde içi mil ile mesnetlenmiş ve mesnetlenmemiş bazalt elyaf takviyeli filaman sarım kompozit boruların maksimum kuvvetleri, deplasmanları ve absorbe ettiği enerjiler belirlenmiştir. Mesnetin bu değerler üzerine olan etkisi yorumlanmıştır.

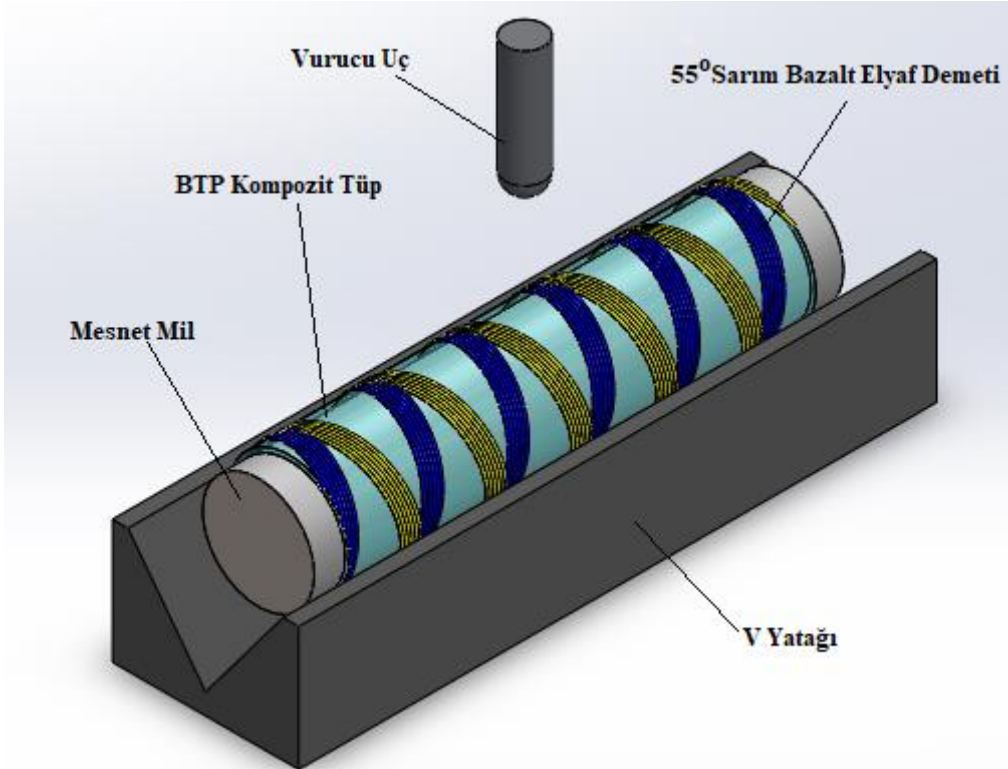
## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan filaman sarım kompozit boruların takviyesi malzemesi olarak, 12KV 400 tex bazalt elyaflar ve matris malzemesi olarak orta viskoziteli DGEBA epoksi kullanılmıştır. Epoksiyi kürleştirmek için %44 oranında sertleştirici kullanılmıştır. Sarım açısı olarak  $\pm 55^\circ$  belirlenmiştir. Kompozit boru  $\pm 6$  tabakadan meydana gelmektedir. Kompozit borular endüstriyel firma tarafından CNC filaman sarım tezgahında sarma prosesi gerçekleştirildikten sonra  $135^\circ\text{C}$  3 saat ön kürleme ve  $150^\circ\text{C}$  3 saat son kürleme yapılarak 1 m boyunda imal edilmiştir. Şekil 1’de verildiği üzere 300 mm boyutlarında kesilerek düşük hızlı darbe testlerine hazır hale getirilmiştir [7].

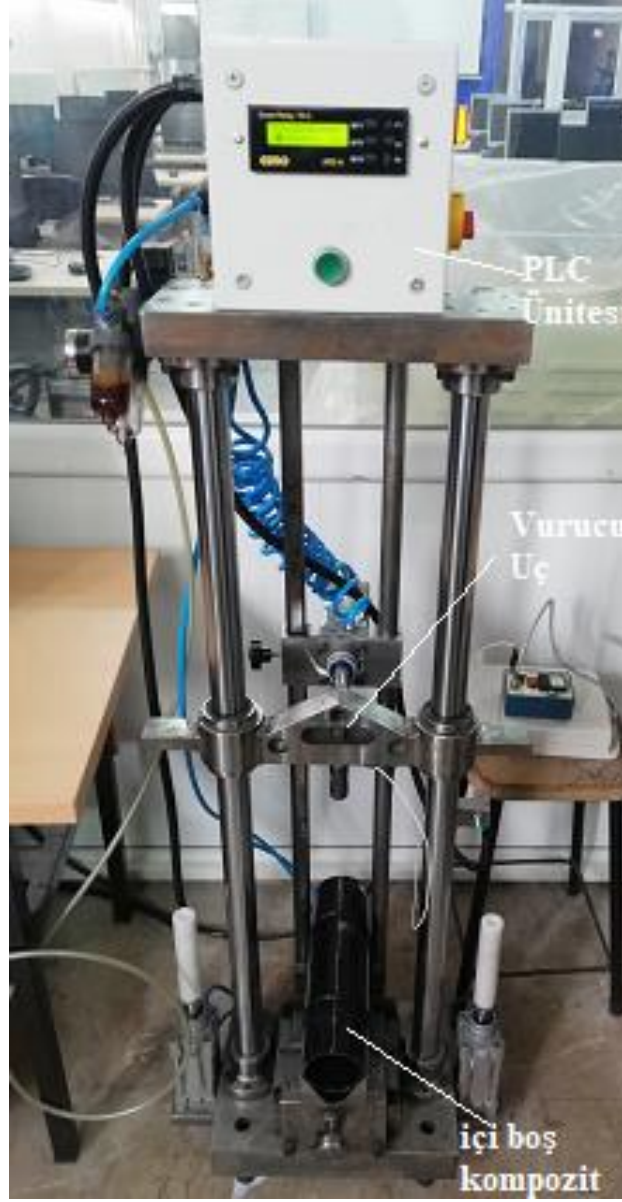
Düşük hızlı darbe deneyleri 20J ve 25J enerji seviyelerinde düşük hızlı test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit borular içi boş ve aynı iç çapta çelik bir mil yerleştirilip mesnetleme yapılarak ASTM D7136/7136M standardına göre düşük hızlı darbe testlerine tabi tutulmuştur. Deneyler üç kez tekrarlanmıştır. Şekil 2.’de mesnetlemenin nasıl yapıldığını gösteren şema ve Şekil 3’de düşük hızlı test cihazı resmi verilmiştir. Deney sonuçlarında; maksimum kuvvet, deplasman miktarı, absorbe edilen enerjiler tespit edilmiştir.



Şekil 1.  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit boruların ölçüleri



Şekil 2. Çelik mil ile mesnetleme yapılan  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit boru

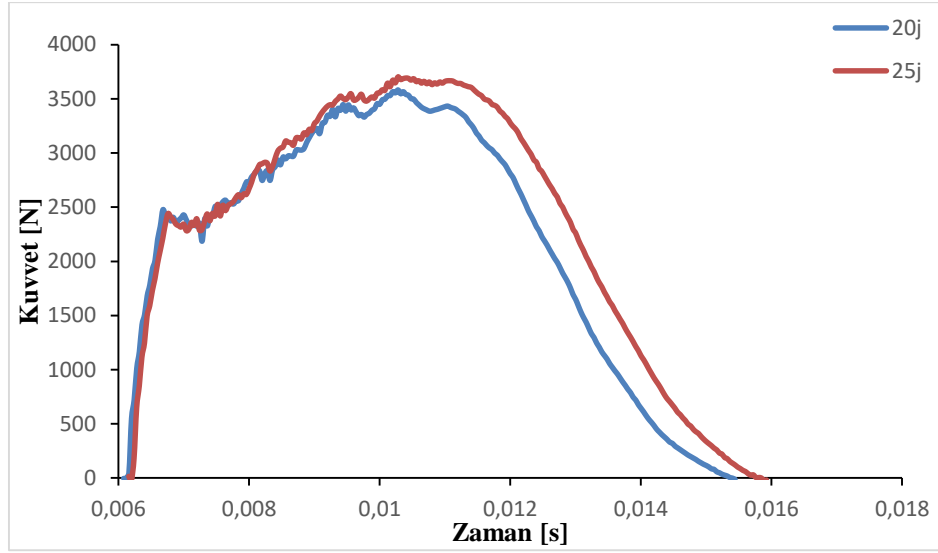


Şekil 3. Düşük hızlı darbe test düzeneği

### 3. Deneysel Sonuçlar

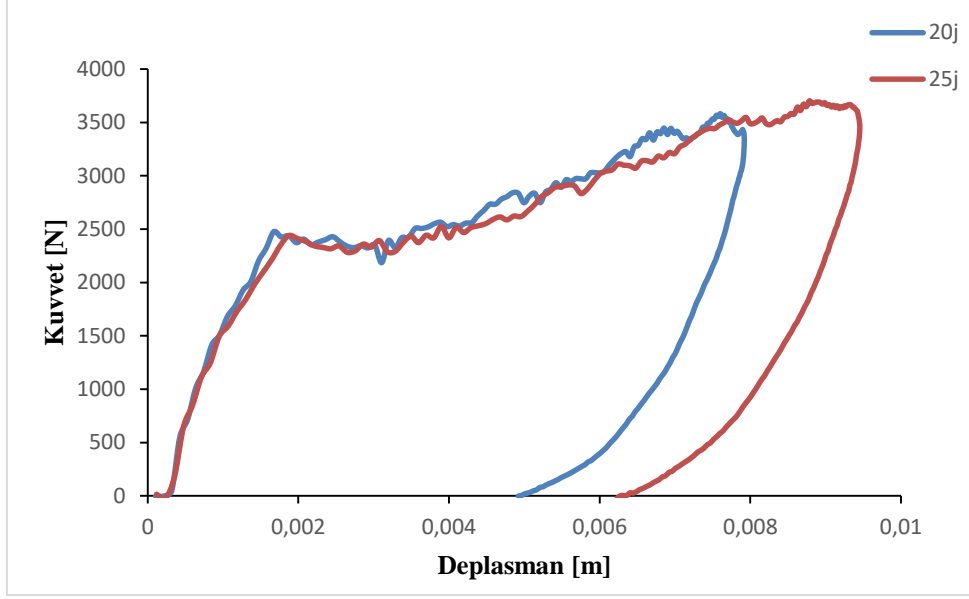
ASTM D 7136/7136M standardına göre düşük hızlı darbe deneyleri iki farklı enerji seviyesinde 3 kez tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde 20J ve 25J enerji seviyeleri belirlenmiştir. İçi boş ve içi çelik mil ile mesnetlenmiş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit boruların düşük hızlı darbe deneyleri sonunda kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman ve absorbe edilen enerji grafikleri elde edilmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5’de içi boş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit borunun 20J ve 25J enerji seviyelerindeki kuvvet-zaman ve kuvvet-deplasman grafikleri sırasıyla sunulmuştur.

Şekil 4'deki kuvvet-zaman grafiği incelendiğinde enerji seviyesinin 20J'den 25J'e çıkmasıyla birlikte, maksimum kuvvet değerinin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda temas süresinin de artan enerji seviyesi ile birlikte arttığı grafik üzerinde açık bir şekilde gözlemlenmektedir. İçi boş kompozit boruların 20J enerji seviyesinde ortalama alınmış olduğu maksimum kuvvet değeri 2896,76 N olarak belirlenmiştir. 20J enerji seviyesinde ortalama alınmış olan deplasman değeri 0,010242 m olarak kaydedilmiştir. 25J enerji seviyesinde ise ortalamaları alınmış maksimum kuvvet değeri 3118,099 N, maksimum deplasman değeri 0,012077 m tespit edilmiştir. Artan enerji seviyesi ile beraber, deplasman değerinin de tıpkı kuvvet değerinde olduğu gibi arttığı gözlemlenmiştir.

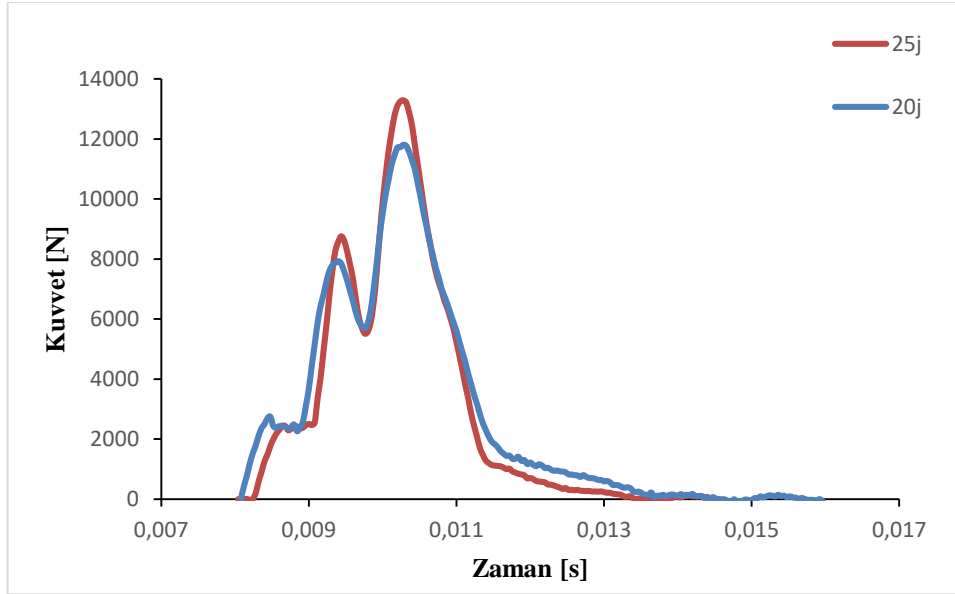


Şekil 4. İçi boş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit borunun 20J ve 25J enerji seviyelerinde kuvvet-zaman grafiği.

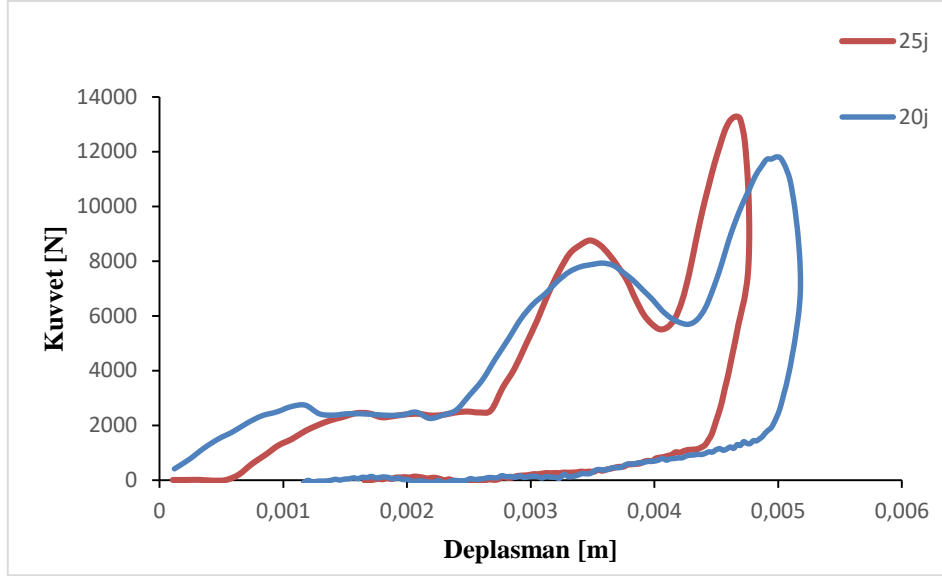
İçi çelik mil ile mesnetlenmiş boruların 20J enerji seviyesinde ortalaması alınan maksimum kuvvet değeri 4 kat artarak 11805,64 N, maksimum deplasman değeri 0,00518 m olarak kaydedilmiştir. 25J enerji seviyesinde ortalaması alınan maksimum kuvvet değeri 13285,84 N, maksimum deplasman değeri 0,005467 m şeklinde belirlenmiştir.



Şekil 5. İçi boş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit borunun 20J ve 25J enerji seviyelerinde kuvvet-deplasman grafiği.



Şekil 6. İçi çelik mil ile mesnetlenmiş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit borunun 20J ve 25J enerji seviyelerinde kuvvet-zaman grafiği.

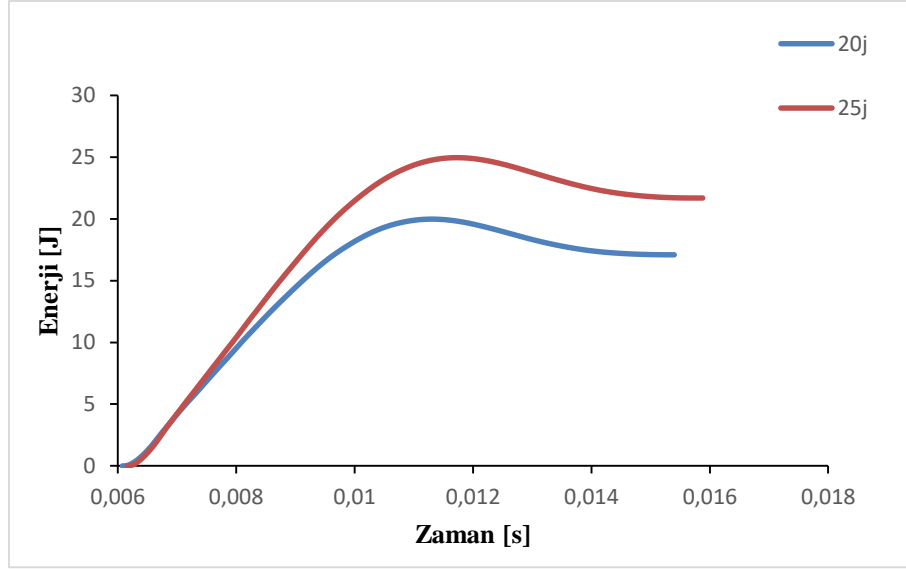


Şekil 7. İçi çelik mil ile mesnetlenmiş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit borunun 20J ve 25J enerji seviyelerinde kuvvet-deplasman grafiği

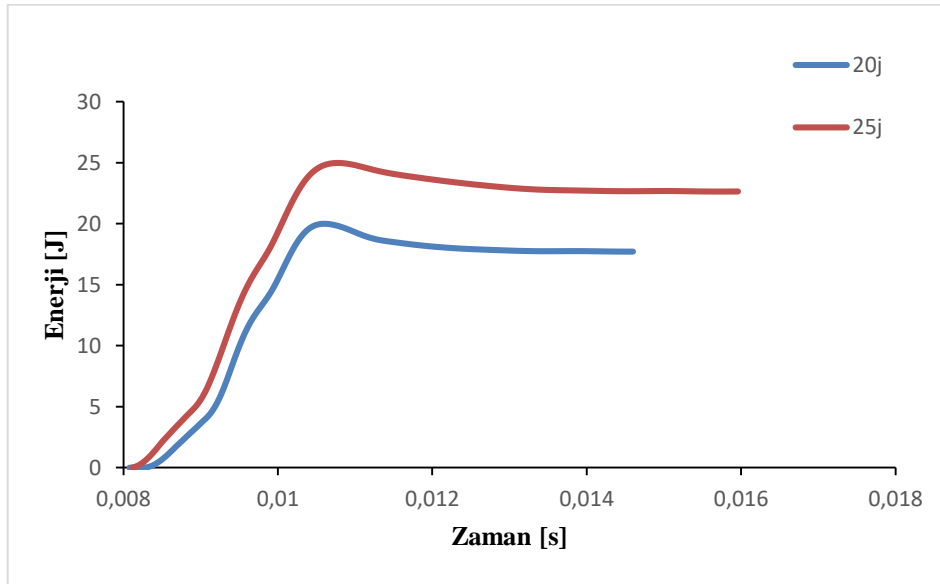
Şekil 6. ve Şekil 7.'daki kuvvet-zaman ve kuvvet-deplasman grafikleri incelendiğinde, içi boş kompozit borularda gözlemlenen durumların benzeri tespit edilmiş olup; artan enerji seviyesiyle maksimum kuvvet değerinin arttığı belirlenmiştir. Fakat deplasman değerinde artan enerji seviyesiyle beraber gözle görülür bir deplasman artışının olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda, çelik mil ile içi mesnetlenen BTP/Epoksi kompozit borunun tabakalarında eğilme ile hasarların oluşmadığı, ezilmeler neticesinde hasarların meydana geldiği yorumlanmıştır.

İçi boş ve çelik mil ile mesnetlenmiş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit boruların düşük hızlı darbe davranışları grafiklerde de görüldüğü üzere kuvvet ve deplasman değerlerinde büyük farklılıklar göstermiştir. Aynı enerji seviyesinde, içi çelik mil ile mesnetlenmiş kompozit boruların maksimum kuvvet değerlerinde yaklaşık 4 kat artış belirlenirken, deplasman miktarlarında ise yaklaşık 2 kat azalmanın olduğu hesaplanmıştır. Çelik mil ile mesnetlenme yapılıncaya deplasmanı ifade eden çökme miktarının azalması, kompozit tabakaların eğilmeden ziyade vurucu uç tarafından ezilmeye zorlandığı yorumlanmıştır.





Şekil 8. İçi boş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit borunun 20J ve 25J enerji seviyelerinde enerji-zaman grafiği



Şekil 9. İçi çelik mil ile mesnetlenmiş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit borunun 20J ve 25J enerji seviyelerinde kuvvet-deplasman grafiği.

İçi boş kompozit boruların 20J enerji seviyesinde ortalaması alınan maksimum enerji değeri 16,0742 J, 25J enerji seviyesinde 20,5366 J olarak kaydedilmiştir. İçi çelik mil ile mesnetlenmiş boruların 20J enerji seviyesinde ortalaması alınan maksimum enerji değeri 19,97961 J, 25J enerji seviyesinde ortalama maksimum enerji değeri 24,97291 J olarak belirlenmiştir. Enerji seviyesinin artmasıyla her iki tip deneyde absorbe edilen enerji miktarının arttığı Şekil 8 ve Şekil 9'da görülmektedir. Çelik mil ile

mesnetlenme yapıldığında sekme enerjisinin çok düşük değerler aldığı anlaşılmaktadır. Bu durumda, içi boş kompozit boruların darbeye maruz kalan tabakalarında eğilme ile birlikte yaylanmanın olduğu ve dolayısıyla sekme enerjisinin arttığı düşünülmektedir. İçi dolu mil ile mesnetlendiğinde ise tabakalarda eğilme ile beraber yaylanmanın olmadığından dolayı sekme enerjisinin çok düşük değerler aldığı belirlenmiştir.

İçi boş ve çelik mil ile mesnetlenmiş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit boruların 20J ve 25J enerji seviyelerindeki temas rijitlikleri mukayese edildiğinde, içi çelik mil ile dolu kompozit borunun temas rijitliğinin yaklaşık 5-6.5 kat arasında yüksek değerler aldığı görülmüştür. Eğilme rijitlikleri incelendiğinde ise, içi çelik mil ile dolu kompozit borunun eğilme rijitliğinin içi boş kompozit boruya göre yaklaşık 5-6 kat fazla değerler gösterdiği tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar

İçi boş ve çelik mil ile mesnetlenmiş  $[\pm 55]_6$  BTP/Epoksi kompozit boruların 20J ve 25J enerji seviyelerindeki düşük hızlı darbe davranışlarının sonuçları aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Artan darbe enerjisi seviyesi ile birlikte maksimum kuvvet değerleri ve temas süreleri artış göstermektedir.
- Aynı darbe enerji seviyesinde içi çelik mil ile mesnetlenmiş boruların içi boş borulara kıyasla 4 kat daha yüksek maksimum kuvvet değerleri ve 2 kat daha düşük deplasman değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- İçi çelik mil ile mesnetlenmiş boruların artan darbe enerjisi ile deplasman değerlerinde kayda değer bir artış belirlenmemiş, bunun sebebinin kompozit boru tabakalarının eğilme yerine ezilmeye maruz kalması olduğu yorumlanmıştır.
- Darbe enerji seviyesinin artışıyla birlikte absorbe edilen enerjide artmaktadır. İçi çelik mil ile mesnetlenmiş borularda, darbe sırasında tabakalar arasında eğilme ve yaylanma olmamasından kaynaklı olarak düşük sekme enerji verileri elde edilmiştir.
- İçi çelik mil ile mesnetlenince, kompozit borunun temas ve eğilme rijitliklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

## **Teşekkür**

Bu çalışmanın bir kısmında Uğur YOZGAT'ın Yüksek Lisans Tez çalışmasından faydalanılmıştır.

## **Kaynaklar**

- [1] Manikandan, V. ve ark. Investigation of the effect of surface modifications on the mechanical properties of basalt fibre reinforced polymer composites. 2012; 43(2): 812-818.
- [2] Zhu, L. ve ark. Frequency features of basalt filament tows under quasi-static and high strain rate tension. 2012;46(11): 1285-1293.
- [3] Deák, T. ve T. J. T. R. J. Cziganý. Chemical composition and mechanical properties of basalt and glass fibers: A comparison. 2009;79(7): 645-651.
- [4] Kim, M. T. ve ark. Study on an oxygen plasma treatment of a basalt fiber and its effect on the interlaminar fracture property of basalt/epoxy woven composites. 2011;42(3): 499-504.
- [5] Pavlovski, D. ve ar. CNG cylinder manufacturers test basalt fibre. 2007; 51(4): 36-39.
- [6] Kara, M. Düşük hızlı darbe sonrası yama ile tamir edilmiş filaman sarım CTP boruların iç basınç altındaki hasar davranışı,doktora, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [7] Demirci, M. T. SiO<sub>2</sub> nanopartikül katkısının yüzey çatlaklı ve çatlaksız bazalt elyaf takviyeli kompozit boruların yorulma davranışlarına etkisi, doktora, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [8] Demirci M.T.; Tarakcioglu, N.; Avcı A.; Yakut R. Burst failure of basalt fiber reinforced filament wound pipe. In: 14th International materials symposium (IMSP'2012), 10-12 October 2012, Pamukkale University-Denizli-Turkey.
- [9] Demirci M.T.; Tarakçıoğlu N.; Avcı, A.; Akdemir, A.; Demirci, İ.: Fracture Toughness (Mode I) characterization of SiO<sub>2</sub> nanoparticle filled basalt/epoxy filament wound composite ring with split-disk test method, Composite Part B 119, 114-124 (2017).
- [10] Demirci, M.T.; Tarakçıoğlu N.; Avcı A.: The burst failures of the elliptical surface cracked BFR/Epoxy Composite Pipes, In: 4th International Conference on Advanced Technology&Sciences (ICAT' Rome), 23-25 November (2016) Rome, Italy.

- [11] Arikan, H.: Failure analysis of  $(\pm 55^\circ)_3$  filament wound composite pipes with an inclined surface crack under static internal pressure, *Composite Structures* 92:182-187 (2010).
- [12] Kara M, Kırıcı M, Tatar AC, Avcı A. Impact behavior of carbon fiber/epoxy composite tubes reinforced with multi-walled carbon nanotubes at cryogenic environment. *Composites Part B: Engineering*. 2018;145:145-54.
- [13] Uyaner M, Kara M, Şahin A. Fatigue behavior of filament wound E-glass/epoxy composite tubes damaged by low velocity impact. *Composites Part B: Engineering*. 2014;61:358-64.