



Open Access Journal
e-ISSN: 2619 – 8991

Araştırma Makalesi (Research Article)

Cilt 8 - Sayı 3: 793-798 / Mayıs 2025
(Volume 8 - Issue 3: 793-798 / May 2025)

CAM ELYAF/POLİPROPİLEN MELEZ İPLİKLERİNDEN ELYAF SARMA YÖNTEMİYLE KOMPOZİT BORU ÜRETİMİ

Aylin ALTINBAY^{1*}, Mustafa DOĞU², Ahmet ÜNAL¹

¹Yildiz Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 34220, Istanbul, Türkiye

²Mir Arastirma ve Gelistirme Inc., Istanbul University Entertech Teknopark, No: 37/1(51), 34320, Istanbul, Türkiye

Özet: Polipropilen (PP), otomotiv, ambalaj, ev eşyaları ve tekstil endüstrisi gibi pek çok alanda kullanılan termoplastik bir polimer türüdür. Boru sektöründe de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunun başlıca nedeni metallerde olduğu gibi korozyon oluşmaması ve buna karşı ek bir korumaya ihtiyaç duyulmamasıdır. Bu sayede çelik ve çimento sistemlerinin yerini almaktadır. Boru sistemlerinde kompozit malzemelerin kullanılması daha hafif ve ince yapılar sağlamakta ve maliyetleri azaltmaktadır. Ancak, özellikle boru çapları büyüdükçe, kompozit yapı gerekliliği artmaktadır. Bu amaçla termoset kompozitler kullanılsa da PP kompozitlerin bunlara göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar yüksek dayanım, hafiflik, yüksek kimyasal direnç, düşük su emilimi, düşük maliyetli ve geri dönüşüm kabiliyetidir. Ancak PP kompozit üretimindeki temel sorun fiber-matris arayüzey oluşumudur. Bu sorunun üstesinden gelmek için melez iplikler geliştirilmiştir. Çeşitli türleri olmakla birlikte genel olarak takviye elyaf ve polimer elyaf karışımlarından oluşmaktadır. Bu sayede, sıcaklık altında işlenmesi sırasında polimer elyaf ergiyip takviye elyafları içine daha iyi emdirilebilir. Bu çalışmada cam elyaf takviyeli PP borular elde etmek amacıyla elyaf sarma işlemi uygulanmıştır. PP'yi daha kolay takviyelendirmek için cam elyaf/PP melez iplikler kullanılmıştır. Geleneksel olarak termosetlerin işlenmesinde kullanılan elyaf sarma işlemi, ısı ve basınç sistemleri ilavesiyle melez iplikler için modifiye edilmiştir. Helisel ve çevresel sarım teknikleri, ayrıca bunların kombinasyonu uygulanmıştır. Üretilen borulardan çevresel ve eksenel yönlerde numuneler alınmıştır. Çekme, eğme ve darbe testleri yapılarak, sonuçlar takviyesiz borular ile karşılaştırılmıştır. Üretilen tüm melez iplikli borular takviyesiz boruya göre daha yüksek modül ve dayanım göstermiştir. Genel olarak kombinasyonlu sarım tekniğiyle üretilen kompozit borudan özellikle çevresel yönde en yüksek sonuçlar alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Termoplastik kompozit, Melez iplik, Polipropilen, Boru, Mekanik özellikler

Thermoplastic Composite Pipe Production from Glass Fiber/Polypropylene Hybrid Yarns using Filament Winding Method

Abstract: Polypropylene (PP) is a type of thermoplastic polymer used in many areas such as automotive, packaging, household goods and textile industries. It has also begun to be widely used in the pipe industry. The main reason for this is that corrosion does not occur as in metals and there is no need for additional protection against it. Thus, it replaces steel and cement systems. The use of composite materials in piping systems provides lighter and thinner structures and reduces costs. However, the composite structure is necessary, especially when pipe diameters increase. Although thermoset composites are used for this purpose, PP composites have many advantages over them. These are high strength, lightness, high chemical resistance, low water absorption, low cost and recyclability. However, the main problem in PP composite production is fiber-matrix interface formation. Hybrid yarns have been developed to overcome this problem. Although there are various types, they generally consist of mixtures of reinforcement fibers and polymer fibers. Thus, polymer fibers can melt and be better absorbed into the reinforcement fibers during processing under temperature. In this study, the filament winding process was applied to obtain glass fiber reinforced PP pipes. Glass fiber/PP hybrid yarns were used to reinforce PP more easily. The filament winding process, traditionally used to process thermosets, has been modified for hybrid yarns with the addition of heat and pressure systems. Helical and circumferential winding techniques, as well as combinations of these, have been applied. Samples were taken from the produced pipes in circumferential and axial directions. Tensile, bending and impact tests were performed, and the results were compared with unreinforced pipes. All hybrid yarn pipes produced showed higher modulus and strength than unreinforced pipes. In general, the highest results were obtained from the composite pipe produced with the combination winding technique, especially in the environmental direction.

Keywords: Thermoplastic composite, Commingled yarn, Polypropylene, Pipe, Mechanical properties

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 34220, Istanbul, Türkiye

E mail: aylin.altinbay@yildiz.edu.tr (A. ALTINBAY)

Aylin ALTINBAY <https://orcid.org/0000-0003-2356-1452>

Mustafa DOĞU <https://orcid.org/0000-0003-1258-7702>

Ahmet ÜNAL <https://orcid.org/0000-0002-0069-8061>

Gönderi: 17 Ekim 2024

Kabul: 28 Mart 2025

Yayınlanma: 15 Mayıs 2025

Received: October 17, 2024

Accepted: March 28, 2025

Published: May 15, 2025

Cite as: Altinbay A, Doğu M, Ünal A. 2025. Thermoplastic composite pipe production from glass fiber/polypropylene hybrid yarns using filament winding method. BSJ Eng Sci, 8(3): 793-798.



1. Giriş

Ticari bir polimer olan polipropilen yüksek süneklik ve tokluk gösteren, su emmesi, yoğunluğu ve maliyeti düşük termoplastik türü bir polimerdir (Gahleitner vd., 2019). Geri dönüştürülebilir olması da önemli bir avantajdır. Bu avantajları sayesinde otomotiv, ambalaj, ev eşyaları ve tekstil endüstrisi gibi pek çok sektörde kullanımı olmakla birlikte boru sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Alsabri ve Al-Ghamdi, 2020; Domaneschi, 2012; Litvinov ve Soliman, 2005; Walsh, 2011). Boru üretiminde dökme demirler, düşük ve orta karbonlu çelikler (st37, st44) ve boru çelikleri (X60, X70, X80, vb) kullanılmaktadır (Wasim vd., 2018; Akhmetov vd., 2018; Rachmawati vd., 2022; Ohaeri vd., 2018). Ancak korozyon sorunları yaşanması ve korozyondan korumaya ihtiyaç duyulmasından ötürü boru sektöründe geleneksel olarak kullanılan demir esaslı sistemlerinin yerini polimer malzemeler almaktadır. Isı ve kimyasal direncinin yüksek olması nedeniyle çeşitli kimyasallar, atık su ve tehlikeli atıkların yanı sıra içme suyu taşımacılığında da kullanılabilir (Boragno vd., 2017; Connell vd., 2016; Hametner, 1999). Ayrıca hafif ve esnek olduğundan makaralara sarılarak taşınması kolaydır (Cao vd., 2017; Hastie vd., 2022). Bunun yanı sıra termoplastik olmalarından dolayı alın kaynağı ile birleştirilebilir (Balkan vd., 2008; Barber ve Atkinson, 1974).

Bu tür boruların imalatında ekstrüzyon prosesi kullanılırken (Huang vd., 2000; Pongthong vd., 2018; Yu vd., 2014), bağlantı parçaları imalatında enjeksiyon kalıplama kullanılmaktadır (Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality, 2016; Gebrehiwot ve Espinosa-Leal, 2022; Pontes ve Pouzada, 2004). Her iki işlemde de PP eritmekte ve daha sonra eriyik açık veya kapalı kalıplara itilmektedir. Bu işlemler sırasında, ürünlerin özelliklerini iyileştirmek için bazı dolgu maddeleri veya süreksiz fiber eklenebilir (Bush, 1999; Delli vd., 2021; Mattausch, 2015; Moussa vd., 2022; Singer vd., 2021). Ancak süreksiz fiber takviyeli kompozitlerde mekanik özellikler fiber boy oranı ile ilişkilidir. Örneğin, Deng vd. 0.5–1.0 mm uzunluktaki süreksiz fiber katkılı PP borularda en fazla yaklaşık 40 MPa çekme dayanımı elde edebilmiştir (Deng vd., 2019). Daha yüksek mekanik performans için sürekli elyafarla takviyelendirme gerekmektedir (Vaneker, 2017). Boruların takviyelendirilmesinde elyaf sarma yöntemi bunun için en uygun işlemlerden biridir (Yu vd., 2017). Geleneksel olarak termoset türü reçine ile ıslatılan elyaf lar dönen hareketli bir mandrel üzerine sarılarak üretim yapılmaktadır. Ancak termoplastik kompozit üretimi için bu işlemin modifiye edilmesi gereklidir. Bunun için hareketli mandrele termoplastikten bir taban astarı yerleştirilip, üzerine elyaf lar sarılabilir (Bai vd., 2015; Gibson A G, 2003; Rafiee ve Mazhari, 2016; Yu vd., 2015b). Sarma işleminde önceden termoplastik polimer emdirilmiş prepreg veya melez ipliklerin kullanılması fiber-matris arayüzeyi gelişmiş ürünler elde etmek için daha uygundur (Yu vd., 2015b). Sarımla eş zamanlı olarak ısı ve basınç uygulaması da gereklidir (Alabtah vd., 2021;

Lou vd., 2020). Isıtıcı nozulunun sıcaklığı, sıkıştırma silindiri basıncı ve mandrel dönüş hızı fiber-matris konsolidasyonu için kritik proses parametreleridir (Karbuz vd., 2024). Son olarak ekstrüzyon kaplama veya film kaplama ile proses tamamlanmalıdır (Alabtah vd., 2021; Lou vd., 2020; Yu vd., 2015a). Termoplastikler için geliştirilmiş bu modifiye elyaf sarma prosesi ile ikincil bir konsolidasyon adımı ortadan kaldırılarak yerinde konsolidasyon sağlanmıştır (Özbay vd., 2020; Karbuz vd., 2024).

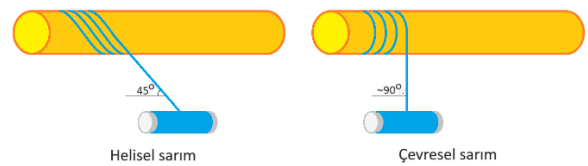
Melez iplikler, takviye ve termoplastik polimer elyafı karışımından oluşan iplik demetleridir ve ergitildiğinde polimerin homojen bir şekilde takviye elyaflara emdirilmesine olanak tanımaktadır (Ford, 2004; Friedrich, 1999; Lynam vd., 2014; Selver ve Potluri, 2017). Bu sayede elyaf sarma veya otomatik elyaf yerleştirme gibi proseslerde gelişmiş arayüzeye sahip ürün elde etmekte kullanılabilir (Boon vd., 2021).

Bu çalışmanın amacı sürekli E-cam takviyeli PP boru üretmek ve mekanik performanslarını değerlendirmektir. Bunun için cam elyaf/PP karışımı melez iplik, PP astar üzerine sarılmış ve takviye tabakası üzerine PP film kaplanmıştır. Sarma işleminde helisel, çevresel ve bunların kombinasyonu yöntemleri denenmiştir. Borulara çekme, eğme ve darbe testleri uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Borular iç astar, takviye katmanı ve dış astar olmak üzere üç katmandan olacak şekilde tasarlanmıştır. İç astar olarak 160 mm PP atık su borusu (Dizayn Teknik Boru ve Elemanları San. ve Tic A.Ş.) kullanılmıştır. Takviye olarak %ağ. 60 E-cam ve PP elyaf karışımından oluşan melez iplik (Twintex RPP60N265) kullanılmıştır. Kullanılan melez ipliğin ağırlığı 1872 Tex'tir (265 yarda/libre). Ortalama kalınlık değeri $5,46 \pm 2,2$ mm ve genişliği ortalama $0,44 \pm 0,09$ mm'dir.

Elyaf sarma prosesinde nozul sıcaklığı 220°C, sıkıştırma silindiri basıncı 1 bar ve mandrel dönüş hızı 6 mm/dakika olarak ayarlanmıştır. Melez iplikler iki farklı teknikte sarılmıştır. Bunlar Şekil 1'de görülmektedir. Helisel sarımda 45°, çevresel sarımda ise ~90°'lik sarım açıları kullanılmıştır. Ayrıca bunların birlikte kullanıldığı bir üretim de yapılmıştır.



Şekil 1. Uygulanan sarım teknikleri.

Dış astar ise PP'den (Sabice Vestolen P) cast film makinesinde (Gülner Plastik Makinaları San ve Tic. Ltd. Şti.) $0,70 \pm 0,05$ mm kalınlığında film şeklinde üretilmiştir. Bu filmler takviye katmanı üzerine helisel olarak sarılarak elyaf ların üzeri kaplanmıştır. İç astar, takviye katmanı ve

dış astardan oluşan PP kompozit borulardan ilgili standartlarda numeneler çevresel ve eksenel yönlerde numuneler çıkartılmıştır. Ayrıca üretilen kompozit boruların performanslarını karşılaştırmak için iç astar olarak kullanılan takviyesiz PP borudan da numuneler alınmıştır (PP kodlu).

EN ISO 527-4'e göre kemik şekilli alınan numuneler 5 mm/dakika hızda çekme testine maruz bırakılmıştır. Çekme gerilme-gerinim eğrileri üzerinden çekme dayanımı [MPa] ve kopma uzaması [%] doğrudan okunmuş, elastisite modülü [GPa] %0,2 uzama sınırından ve tokluk [MPa/(mm/mm)] ise eğri altında kalan alan üzerinden hesaplanmıştır. EN ISO 14125'e göre 10 mm/dakika hızda eğme testi yapılmış ve eğme modülü [GPa] ve dayanımı [MPa] bulunmuştur. Çekme ve eğme testlerinde Instron 3369 Universal test cihazı kullanılmıştır. EN ISO 179'a göre çentikli darbe testi 6 J'luk çekice sahip Devotrans Charpy darbe cihazında yapılmış ve darbe dayanımları [kJ/m²] hesaplanmıştır. Mekanik testlerde her grup için en az beş numune test edilmiş ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

Çekme testi sonrası kırık yüzey analizleri taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntüleri alınarak yapıldı. Phenom G3 Pro marka cihazda geri-saçılan elektron dedektörü ile 5 kV ivmelendirme voltajında görüntüler çekildi. Görüntü alınmadan önce Quorum Q150R S marka cihazda altın kaplama işlemi yapıldı.

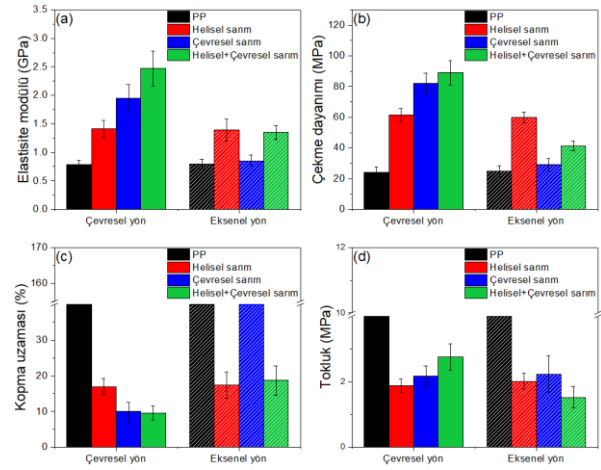
3. Bulgular ve Tartışma

Elyaf sarma, silindirik geometrilili termoset matrisli kompozit parçaların yüksek verimlilikte üretiminde kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Bu çalışmada elyaf sarma yöntemi termoplastik matrisli boruların üretime olanak sağlayacak şekilde ısıtıcı ilavesiyle modifiye edilmiştir. Ayrıca daha iyi konsolidasyon sağlanması için melez iplik kullanılmıştır. Çeşitli sarma teknikleri ile üretilen borulardaki çevresel ve eksenel yönlerdeki mekanik özellikler değerlendirilmiştir.

Borularda oluşan eksenel ve çevresel yönlerdeki yükler arasındaki etkileşim karmaşıktır ve yapısal bütünlüğün sağlanması için kapsamlı test ve modelleme gerektirir. Borulara gelen eksenel yöndeki çekme ve basma yükleri boruların taşıma, yerleştirilmesi ve montajı esnasında önemlidir (Malta vd., 2014; Kristoffersen vd., 2017). Çevresel yöndeki özellikler ise özellikle iç basınçla maruz sistemlerde önemlidir. Çember gerilimi olarak da bilinen çevresel basınç, boruların yapısal bütünlüğü ve performansında kritik bir faktördür. Bu basınç, boru duvarlarına etki eden iç akışkan basıncı tarafından üretilir ve boru hattı sistemlerinin tasarımı ve analizinde önemli bir husustur. Çember gerilimi, iç basınç, boru çapı ve duvar kalınlığına göre hesaplanır. Borunun hasar oluşmadan iç basınçlara dayanma yeteneğini belirlemek için önemlidir (Zhu vd., 2005; Menon, 2011). Çekme dayanımı bu hesaplamalarda kullanılan başlıca veri olduğundan öncelikle çekme sonuçları incelenmiştir.

Şekil 2'de çekme testi sonucunda elde edilen veriler yer almaktadır. Buna göre elastisite modülü ve çekme

dayanımı değerleri çevresel yönde çevresel sarımda helisele göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Çekme dayanımı takviyesiz PP'de 24±3,74 MPa iken helisel sarım ile 61,5±4,25 MPa, çevresel sarım ile 82±6,55 MPa olmuştur. Helisel+çevresel sarım kombinasyonunda ise 89±8,01 MPa ile en yüksek sonuçlar alınmıştır. Kopma uzamasında ise bu sonuçların tam tersi elde edilmiştir ve helisel sarımda %17±2,3, çevresel sarımda %10±2,55 ve helisel+çevresel sarım kombinasyonunda %9,5±1,99 değerleri alınmıştır. Fiberler kopma uzamasını engellediği için tokluk değerleri takviyesiz PP kadar yüksek elde edilememiştir, ancak helisel+çevresel sarımda tokluk 2,76±0,41 MPa'ya kadar artmıştır.



Şekil 2. Çekme testi sonuçları: a) elastisite modülü, b) çekme dayanımı, c) kopma uzaması, d) tokluk.

Eksenel yönde ise helisel sarım ve helisel+çevresel sarımda belirgin derece yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Çekme dayanımı helisel sarımda 60±3,6 MPa, helisel+çevresel sarımda 41,2±3,13 MPa olmuştur. Ancak kopma uzaması ve tokluk değerlerinde bu sonuçların tam tersi alınmıştır. Hem çevresel hem de eksenel yönde kopma uzaması ve tokluk değerleri takviyesiz numunelerde en yüksek sonuçları vermiş ve sarımlar sonucunda değerler ciddi oranda azalmıştır. İyi arayüze sahip kompozitlerde bu sonuçlar beklenmektedir. Takviye malzemesi fiberler uzama değeri oldukça düşük bir malzeme olduğundan kompozitin uzamasına da izin vermeyecektir.

Tablo 1'de eğme testi sonuçları gözükmektedir. Çekme testinde olduğu gibi takviyesiz numuneler en düşük sonuçları vermiştir ve sarım sonucu elastisite modülü (E_f) ve eğme dayanımı değerleri (σ_f) artmıştır. Çevresel yönde sırasıyla helisel, çevresel ve helisel+çevresel kombinasyonunda artan değerler elde edilmiştir. Heliselde 42,25±2,97 MPa, çevreselde 49,19±4,43 MPa ve helisel+çevresel kombinasyonunda 51,15±6,21 MPa eğme dayanımı elde edilmiştir. Eksenel yönde ise 2,13±0,22 GPa modül ve 43,84±3,03 MPa dayanım ile helisel sarım sonucu en yüksek değerleri göstermiştir.

Tablo 2'de verilen darbe testi sonuçlarına göre sarım sonrası darbe dayanımı ciddi oranda artmıştır. Çevresel ve eksenel yönlerde de helisel+çevresel sarım sonucu,

sırasıyla 103,48±11,55 kJ/m² ve 81,65±9,11 kJ/m², ile en yüksek değerlere ulaşılmıştır. Benzer bir çalışma Baali vd. tarafından geleneksel elyaf sarma yöntemiyle farklı sarma açıları ve katman kalınlığında E-camı/polyester borularda yapılmış (%55

fiber hacim oranında) ve çevresel yönde çekme dayanımı 70°'lik sarımda 460-503 MPa arasında iken, 45°'lik sarımda 201,4 MPa bulunmuştur. Aynı çalışmada eksenel yönde ise 70°'lik sarımda dayanım 25 MPa iken 45°'lik sarımda 57,50 MPa'dır (Baali vd., 2020).

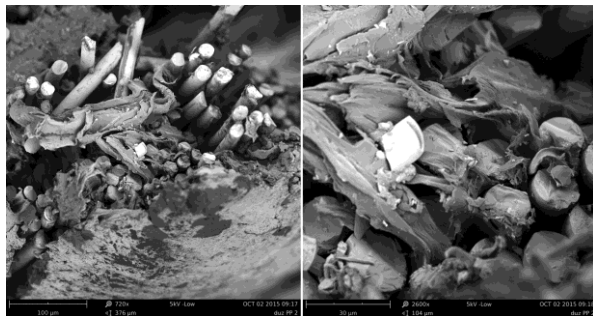
Tablo 1. Eğme testi sonuçları

	Çevresel yön			Eksenel yön	
	E _f [GPa]	σ _f [MPa]		E _f [GPa]	σ _f [MPa]
PP	1,72±0,17	30,17±2,25	PP	1,74±0,19	32,25±2,10
Helisel sarım	2,08±0,25	42,25±2,97	Helisel sarım	2,13±0,22	43,84±3,03
Çevresel sarım	2,57±0,32	49,19±4,43	Çevresel sarım	1,82±0,21	32,36±3,13
Helisel+Çevresel	2,83±0,39	51,15±6,21	Helisel+Çevresel	1,96±0,20	43,51±5,45

Tablo 2. Darbe testi sonuçları

	Çevresel yön		Eksenel yön
	α _{cN} [kJ/m ²]		α _{cN} [kJ/m ²]
PP	25,25±3,05	PP	26,72±4,13
Helisel sarım	62,75±6,84	Helisel sarım	66,36±7,75
Çevresel sarım	86,42±7,20	Çevresel sarım	45,98±6,42
Helisel+Çevresel	103,48±11,55	Helisel+Çevresel	81,65±9,11

Çevresel yönden daha yüksek dayanım değerlerini ulaşılmasının nedeni anlamak için çekme testi sonrası kırık kesitler SEM'de incelenmiş ve görüntüler Şekil 3'te verilmiştir. Çevresel yönde dayanımındaki bu azalmanın başlıca nedenlerinden biri, fiberler ile PP matris arasındaki zayıf yapışma olduğu görülmüştür. Görüntülerde fiber sıyrılması türü hasar olduğu görülmüştür. Bu hasar türü zayıf fiber-matris arayüzey oluşumlarında görülen bir türdür. Ancak matris içinde kopmuş fiberler de görülmektedir. Üstelik sıyrılmış fiberlerin yüzeylerinde polimer kalıntıları olduğu görülmüştür. Ayrıca çoğu bölge fiberler matris ile çevrelenmiştir. Bu bölgelerde fiber-matris arayüzey bağlantısının güçlü bir şekilde olduğu yorumlanabilir. Bu durumda arayüzey oluşumunda homojenlik yakalanamamış olduğu sonucuna varılabilir. Bunun geliştirilmesi için proses parametrelerinden sıkıştırma silindiri basıncı ve mandrel dönüş hızı üzerinde çalışmalar devam ettirilebilir.



Şekil 3. Helisel+çevresel sarım yapılmış numunenin kırık kesit SEM görüntüleri (720X ve 2600X).

4. Sonuç

Bu çalışmada cam elyaf/PP melez iplikler kullanılarak elyaf sarma yöntemiyle PP kompozit borular üretilmiştir. Helisel, çevresel ve bunların kombinasyonu sarma teknikleri kullanılarak üretilen borular çevresel ve eksenel yönlerde mekanik olarak test edilmiştir. Takviyesiz boru ile kıyaslandığında, uygulanan bütün sarım teknikleri ile modül ve dayanım değerlerde artış gözlenmiştir. Helisel sarımda hem çevresel hem de eksenel yönde benzer sonuçlar alınmışken, çevresel sarımda çevresel yönde çok daha yüksek sonuçlar alınmıştır. Genel olarak en yüksek sonuçlar helisel+çevresel sarımın kombinasyonunda elde edilmiştir. Bu davranışın temel sebebi çevresel sarımda çevresel yönde dayanım değerlerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Helisel sarım 45°'lik bir takviyelendirme sağladığı için her iki yönde de benzer özellikler sergilemiştir. Kopma uzaması ve tokluk takviyesiz PP'de çok yüksektir ve sarım işlemleri ile bu değerler azalmıştır. SEM incelemelerinde fiber sıyrılmaları gözlenmiştir. Öte yandan fiber yüzeylerinde polimer kalıntıları ve fiberlerin arasına polimerin geçtiği görülmüştür. Buradan fiber-matris arayüzeyinin bazı yerlerde zayıf bazı yerlerde iyi seviyede oluşmuştur. Bu nedenle çalışmanın devamı proses parametreleri optimizasyonu ile sürdürülebilir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	A.A.	M.D.	A.Ü.
K	40	30	30
T	40	30	30
Y	40	30	30
VTI	40	30	30
VAY	40	30	30
KT	40	30	30
YZ	40	30	30
KI	40	30	30
GR	40	30	30
PY	40	30	30
FA	40	30	30

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi 2014-07-02-GEP-02 kodlu proje kapsamında ve Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı San-Tez Programı 01549.STZ.2012-2 kodlu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Akhmetov RR, Krainov SA, Nazarova MN, Tsenev AN, 2018. Research of main gas pipeline (steels X65, X60, 17G1S) susceptibility to stress corrosion cracking, hydrogen uptake and ST 37-2 steel fatigue testing. *Earth Environ Sci*, 194: 042018.
- Alabtah FG, Mahdi E, Eliyan FF, 2021. The use of fiber reinforced polymeric composites in pipelines: A review. *Compos Struct*, 276: 114595.
- Alsabri A, Al-Ghamdi SG, 2020. Carbon footprint and embodied energy of PVC, PE, and PP piping: Perspective on environmental performance. *Energy Rep*, 6: 364–370.
- Baali B, Benmounah A, Rokbi M, 2020. Mechanical characterization and optimum design of wound glass-fiber-reinforced polymer pipes based on the winding angle and the number of plies. *Mech Compos Mater*, 56: 673–684.
- Bai Y, Yu B, Cheng P, Wang N, Ruan W, Tang J, Babapour A, 2015. Bending behavior of reinforced thermoplastic pipe. *J Offshore Mech Arct Eng*, 137(2): 021701.
- Balkan O, Demirel H, Ezdeşir A, Yıldırım H, 2008. Effects of welding procedures on mechanical and morphological properties of hot gas butt welded PE, PP, and PVC sheets. *Polym*

Eng Sci, 48(4): 732–746.

- Barber P, Atkinson JR, 1974. The use of tensile tests to determine the optimum conditions for butt fusion welding certain grades of polyethylene, polybutene-1 and polypropylene pipes. *J Mater Sci*, 9(9): 1456–1466.
- Boon YD, Joshi SC, Bhudolia SK, 2021. Filament winding and automated fiber placement with in situ consolidation for fiber reinforced thermoplastic polymer composites. *Polymers*, 13(12): 1951.
- Boragno L, Braun H, Hartl AM, Lang RW, 2017. Polypropylene for pressure pipes—from polymer design to long-term performance. In: Grellmann W, Langer B, editors. *Deformation and Fracture Behaviour of Polymer Materials*. Springer, New York, USA, pp: 189–201.
- Bush SF, 1999. Long glass fibre reinforcement of thermo plastics. *Int Polym Process*, 14(3): 282–290.
- Cao Y, Yu X, Liu Z, Bai Y, Gong X, 2017. On critical design parameters of reinforced thermoplastic pipes associated with the pipe-lay installation. *Ships Offshore Struct*, 12(sup1): 134–143.
- Connell M, Stenson A, Weinrich L, LeChevallier M, Boyd SL, Ghosal RR, Dey R, Whelton AJ, 2016. PEX and PP water pipes: Assimilable carbon, chemicals, and odors. *J AWWA*, 108(4): 192–204.
- Delli E, Giliopoulos D, Bikiaris DN, Chrissafis K, 2021. Fibre length and loading impact on the properties of glass fibre reinforced polypropylene random composites. *Compos Struct*, 263: 113678.
- Deng C, Jin B, Zhao Z, Shen K, Zhang J, 2019. The influence of hoop shear field on the structure and performances of glass fiber reinforced three-layer polypropylene random copolymer pipe. *J Appl Polym Sci*, 136(3): 46985.
- Domaneschi M, 2012. Experimental and numerical study of standard impact tests on polypropylene pipes with brittle behaviour. *Proc Inst Mech Eng B*, 226(12): 2035–2046.
- Ford RA, 2004. Semi-finished thermoplastic composites-realising their potential. *Mater Des*, 25(7): 631–636.
- Friedrich K, 1999. Commingled yarns and their use for composites. In: Karger-Kocsis J, editor. *Polypropylene: An A-Z Reference*. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp: 148.
- Gahleitner M, Tranninger C, Doshev P, 2019. Polypropylene Copolymers. In: Karger-Kocsis J, Bárány T, editors. *Polypropylene handbook*. Springer, Cham, London, UK, pp: 585–602.
- Gebrehiwot SZ, Espinosa-Leal L, 2022. Characterising the linear viscoelastic behaviour of an injection moulding grade polypropylene polymer. *Mech Time-Depend Mater*, 26(4): 791–814.
- Gibson AG, 2003. The cost effective use of fibre reinforced composites offshore. HSE, Bootle, London, UK, pp: 123.
- Goodship V, 2016. Injection Molding of Thermoplastics. In: Goodship V, Middleton B, Cherrington R, editors. *design and manufacture of plastic components for multifunctionality*. William Andrew Publishing, New York, USA, pp: 103–170.
- Hametner Ch, 1999. Polypropylene pipes for drinking water supply. *J Macromol Sci A*, 36(11): 1751–1758.
- Hastie JC, Guz IA, Kashtalyan M, 2022. Numerical modelling of spoolable thermoplastic composite pipe (TCP) under combined bending and thermal load. *Ships Offshore Struct*, 17(9): 1975–1986.
- Huang Y, Gentle CR, Lacey M, Prentice P, 2000. Analysis and improvement of die design for the processing of extruded plastic pipes. *Mater Des*, 21(5): 465–475.
- Karbuş P, Dogu M, Ozbek B, 2024. Manufacturing of hexagonal cross-section thermoplastic matrix composite parts with

- automatic filament winding system. *J Manuf Proc*, 129: 62–76.
- Kristoffersen M, Børvik T, Langseth M, Iltstad H, Levold E, 2017. Transverse deformation of pressurised pipes with different axial loads. *J Offshore Mech Arct Eng*, 3B: 1-10.
- Litvinov VM, Soliman M, 2005. The effect of storage of poly(propylene) pipes under hydrostatic pressure and elevated temperatures on the morphology, molecular mobility and failure behaviour. *Polymer*, 46(9): 3077–3089.
- Lou M, Wang Y, Tong B, Wang S, 2020. Effect of temperature on tensile properties of reinforced thermoplastic pipes. *Compos Struct*, 241: 112119.
- Lynam C, Milani AS, Trudel-Boucher D, Borazghi H, 2014. Predicting dimensional distortions in roll forming of comingled polypropylene/glass fiber thermoplastic composites: On the effect of matrix viscoelasticity. *J Compos Mater*, 48(28): 3539–3552.
- Malta ER, De Arruda Martins CA, 2014. Finite element analysis of flexible pipes under compression. *J Offshore Mech Arct Eng*, 6A.
- Mattausch H, 2015. Development of halogen-free flame retardant polypropylene compounds for pipe application. PhD thesis, University of Leoben, Leoben, Austria, pp: 182.
- Menon ES, 2011. Pipe strength and wall thickness. *Pipeline Planning and Construction Field Manual*. Gulf Prof Publ, 2011: 105–121.
- Moussa HK, Challita G, Yared W, Rizk MA, 2022. Predictive analysis of the influence of a polypropylene-talc composite layer on the ring stiffness of a multilayer plastic pipe. *Mech Compos Mater*, 57(6): 749–758.
- Ohaeri E, Eduok U, Szpunar J, 2018. Hydrogen related degradation in pipeline steel: A review. *Int J Hydrogen Energy*, 43(31): 14584–14617.
- Özbay B, Bekem A, Ünal A, 2020. Manufacturing of hybrid yarn thermoplastic composites by the method of filament winding. *Gazi Univ J Sci*, 33(1): 214–227.
- Pontes AJ, Pouzada AS, 2004. Ejection force in tubular injection moldings. Part I: Effect of processing conditions. *J Polym Eng*, 44(5): 891–897.
- Poungthong P, Kolitawong C, Saengow C, Giacomini AJ, 2018. Plastic pipe solidification in extrusion. *J Polym Eng*, 38(6): 591–603.
- Rachmawati P, Ma'arif S, 2022. Comparison of corrosion rate on mild steel welded joints using acid and alkaline solutions. *AIP Conf Proc*, 2499(1): 040004.
- Rafiee R, Mazhari B, 2016. Evaluating long-term performance of Glass Fiber Reinforced Plastic pipes subjected to internal pressure. *Constr Build Mater*, 122: 694–701.
- Selver E, Potluri P, 2017. Glass/Polypropylene Comingled Yarns for Damage Tolerant Thermoplastic Composites. *Eur Mech Sci*, 1(3): 93–103.
- Singer R, Ollick AM, Elhadary M, 2021. Effect of cross-head speed and temperature on the mechanical properties of polypropylene and glass fiber reinforced polypropylene pipes. *Alex Eng J*, 60(6): 4947–4960.
- Vaneker THJ, 2017. Material extrusion of continuous fiber reinforced plastics using comingled yarn. *Procedia CIRP*, 66: 317–322.
- Walsh T, 2011. The plastic piping industry in north america. In: Kutz M, editor. *Applied Plastics Engineering Handbook*. William Andrew Publishing, New York, USA, pp: 585–602.
- Wasim M, Shoaib S, Mubarak NM, Inamuddin, Asiri AM, 2018. Factors influencing corrosion of metal pipes in soils. *Environ Chem Lett*, 16: 861–879.
- Yu K, Morozov EV, Ashraf MA, Shankar K, 2015a. Analysis of flexural behaviour of reinforced thermoplastic pipes considering material nonlinearity. *Compos Struct*, 119: 385–393.
- Yu K, Morozov EV, Ashraf MA, Shankar K, 2015b. Numerical analysis of the mechanical behaviour of reinforced thermoplastic pipes under combined external pressure and bending. *Compos Struct*, 131: 453–461.
- Yu K, Morozov EV, Ashraf MA, Shankar K, 2017. A review of the design and analysis of reinforced thermoplastic pipes for offshore applications. *J Reinf Plast Compos*, 36(20): 1514–1530.
- Yu L, Wu T, Chen T, Yang F, Xiang M, 2014. Polypropylene random copolymer in pipe application: Performance improvement with controlled molecular weight distribution. *Thermochim Acta*, 578: 43–52.
- Zhu XK, Leis BN, 2005. Analytic prediction of plastic collapse failure pressure of line pipes. *ASME Conf Proc*, 3: 109–118.