

YÜKSEK DAYANIM-YOĞUNLUK ORANINA SAHİP GERİ DÖNÜŞÜM KARBON FİBER TAKVİYELİ PPS KOMPOZİT MALZEME GELİŞTİRİLMESİ

Tuğçe Uysalman¹, Merve Sağlam², Yoldaş Seki³, Özgür Bigün⁴, Akın İşbilir⁵, Lütfiye Altay⁶, Mehmet Sarıkanat⁷

1. GİRİŞ

Küresel ısınma, günümüz dünyasının en büyük ve önemli sorunlarından biridir. Bu sorunun çözümüne yardımcı olabilmek için hem akademik, hem de sanayi tarafında çalışmalar gün geçtikçe artmakta ve hemen hemen her uygulama için karbon ayak izi düşük malzeme geliştirme çalışmaları yapılmaktadır [1]. Özellikle ağırlık faktörünün önemli olduğu uygulamalarda, örneğin otomotiv ve havacılık sektörlerinde, araç komponentlerinin malzeme seçimi ve tasarımı, karbondioksit salınımını azaltabilecek ve daha çevre dostu araçlar üretebilecek şekilde yapılmakta ve mevcutta kullanılan komponentler için ise hafifletme çalışmaları devam etmektedir. Birçok uygulamada üstün mekanik, termal ve elektriksel özelliklerinden dolayı

metalik malzemeler ön plana çıksa da özellikle yoğunluk dezavantajından dolayı alternatif malzeme geliştirme çalışmaları uzun yıllardır yapılmaktadır. Uygulama alanına bağlı olarak metal yerine geçebilecek, daha hafif ve benzer dayanıma sahip termoset ya da termoplastik kompozit malzemelerin geliştirilme çalışmaları günümüzde de devam etmektedir. Termoplastik bazlı kompozit malzemeler ise termoset malzemelere göre geri dönüştürülebilir olduklarından çevre dostu malzeme geliştirme anlamında yeğlenmektedirler.

Metal yerine geçebilecek kompozit malzeme üretebilmek için elyaf ve matris (çevresel faktörlerin vermiş olduğu kimyasal ve fiziksel zararlara karşı kompozit malzemeyi koruyan madde) seçimi oldukça önemlidir. Elyaf seçiminin

¹ Kimya Mühendisi, İzmir Eğitim Sağlık Sanayi Yatırım A.Ş., Ar-Ge Merkezi - tugce.uysalman@imspolymers.com

² Kimya Mühendisi, İzmir Eğitim Sağlık Sanayi Yatırım A.Ş., Ar-Ge Merkezi - merve.saglam@imspolymers.com

³ Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi Kimya Bölümü, İzmir - yoldasseki@gmail.com

⁴ Malzeme ve Metalurji Mühendisi, İzmir Eğitim Sağlık Sanayi Yatırım A.Ş., Ar-Ge Merkezi - ozgur.bigun@imspolymer.com

⁵ Makina Mühendisi, İzmir Eğitim Sağlık Sanayi Yatırım A.Ş., Ar-Ge Merkezi - akin.isbilir@imspolymers.com

⁶ Doç. Dr., Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir - lutfiyebulut@gmail.com

⁷ Doç. Dr., Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir - sarikanat.mehmet@gmail.com

de; metallerin mekanik dayanımlarını sağlayabilmek ve termal ve elektriksel iletkenlik özelliklerini kompozit malzemeye taşıyabilmek adına, karbon elyafın kullanımı tercih edilmektedir. Kırpılmış şekilde kısa halde ya da sürekli uzun elyaf formunda, orijinal ya da geri dönüştürülmüş karbon elyaf ile yapılan çalışmalar, literatürde bulunmaktadır.

Maliyet açısından bakıldığında, geri dönüşüm karbon fiberler ile orijinal karbon fiberler arasında 2021 yılı itibarıyla iki katı fiyat farkı olduğu görülmüştür. 2021 yılı geri dönüşüm kısa karbon fiber fiyatları yaklaşık olarak 10-16 Euro/kg seviyesinde iken; geri dönüştürülmemiş, orijinal kırılmış kısa karbon fiberlerin fiyatları ise ortalama 24-32 Euro/kg bandındadır. Geri dönüşüm karbon fiberin orijinal haline kıyasla daha ucuz olması ve kullanımının çevreye olumlu etkisi düşünüldüğünde, mekanik performanslarının ölçümü ve uygun uygulamalarda metal yerine kullanılacak malzemeler geliştirilmesine olan katkıları nedeniyle tercih edilmektedirler [2, 3].

Matris malzemesi seçiminde; Polifenilen sülfid (PPS), belirgin bir sağlamlık ve olağanüstü kimyasal ve çözücü direnci sunan yarı kristalin termoplastik bir polimer olarak tercih edilmektedir. Aynı zamanda kendi doğasından gelen yanma direnci ve düşük duman emisyonu özelliklerine sahiptir [4]. Orijinal olarak ya da maliyet avantajı ve çevresel faktörler düşünüldüğünde, genellikle mineral, cam elyaf ya da karbon elyaf takviyeli kompozit şeklinde geri dönüştürülmüş halde PPS, eriyik harmanlama yöntemi ile kompozit malzeme üretim formülasyonlarında kullanılabilmektedir.

Karbon fiber takviyeli PPS kompozit malzemelerin; hafif olmaları, iyi yapısal performans sergilemeleri ve çevre koşullarına karşı mükemmel dirençleri sayesinde otomotiv ve rüzgâr enerjisi gibi birçok endüstride kullanımı gün geçtikçe artmaktadır [2]. Özellikle hafiflik ve dayanım avantajları sayesinde çelik ve alüminyum alaşımları yerine geçen metalik uygulamalarda çokça ilgi görmeye başlamışlardır [5]. Yüksek performanslı karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler, genellikle metal yerine geçen uygulamalarda çokça tercih edilen geleneksel termoset kompozitlere oranla uygulamaya bağlı olarak yüksek dayanım özelliği göstermeleri, yüksek darbe toleransları, kaynak edilebilir ve özellikle geri dönüştürülebilir olmaları nedeniyle uzay ve havacılık ve hatta medikal cihaz uygulamalarında da kendine yer bulmuştur [4].

Bu çalışmayı literatürde yapılan çalışmalardan ayıran özgün yan, maliyet avantajı sunabilecek, çevreyle dost kompozit malzeme elde edebilmek ayrıca ağırlığın büyük önem taşıdığı uygulamalarda metal yerine geçebilecek karbon fiber takviyeli kompozit malzeme geliştirilmesi diğer yandan metalik bir uygulama örneği ile karşılaştırılması sonucu performans değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Aralarında yüksek fiyat farkı bulunan orijinal ve geri dönüştürülmüş karbon fiber ile takviye edilmiş PPS kompozit malzemelerin arasındaki mekanik performansın gözlemlenmesini ve geliştirilen kompozit malzemelerin metal yerine geçebilecek performanslarının değerlendirilmesi için alüminyum alaşım ile özelliklerinin karşılaştırılmasını da kapsamaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzemeler

CF.OS.U5-6mm kodlu (Procotex Corporation) geri dönüşüm karbon fiber ve Zoltek (Toray Group) firmasından PX35CA0250-83 kodlu orijinal karbon fiber sağlanmıştır. Matris malzemesi olarak kullanılan M2588 kodlu PPS polimeri Toray Industries, Inc'den sağlanmıştır. Formülasyonda; fiberin polimer matris içerisinde dispersiyonunu sağlamak, kompozit malzemenin ekstrüder içerisinde ve enjeksiyonlu kalıplamada metale yapışmasını önlemek amacıyla Clariant firmasının Licowax E isimli ürünü kullanılmıştır. Çalışmada geri dönüşüm ve orijinal karbon fiberler kullanılarak takviyelendirilen PPS kompozit örneklerin adlandırılması, Tablo 1'de verildiği gibidir.

Tablo 1. Örneklerin Adlandırılması

Örnek Kodu	Örnek Açıklaması
PPS-20CF	Ağırlıkça %20 Orijinal Karbon Fiber Takviyeli PPS
PPS-30CF	Ağırlıkça %30 Orijinal Karbon Fiber Takviyeli PPS
PPS-40CF	Ağırlıkça %40 Orijinal Karbon Fiber Takviyeli PPS
PPS-20CFR	Ağırlıkça %20 Geri dönüşüm Karbon Fiber Takviyeli PPS
PPS-30CFR	Ağırlıkça %30 Geri dönüşüm Karbon Fiber Takviyeli PPS
PPS-40CFR	Ağırlıkça %40 Geri dönüşüm Karbon Fiber Takviyeli PPS

2.2 Yöntem

PPS bazlı kompozit malzemeler çift vida ekstrüder (Leistritz Extruder Corporation Model ZSE 27 MAXX) yardımı ile üretilmiştir. Enjeksiyonlu kalıplama (Bole model BL90EK) yöntemi ile ISO 527-2 çekme testi ve ISO180 Izod darbe testi standartlarına uygun boyutlarda örnekler elde edilmiştir. Kompozit malzemelerin karakterizasyonu yoğunluk, çekme testi ve Izod darbe testi ile yapılmıştır. Yoğunluk ölçümü ISO 1183-1 standardına uygun şekilde yapılmıştır.

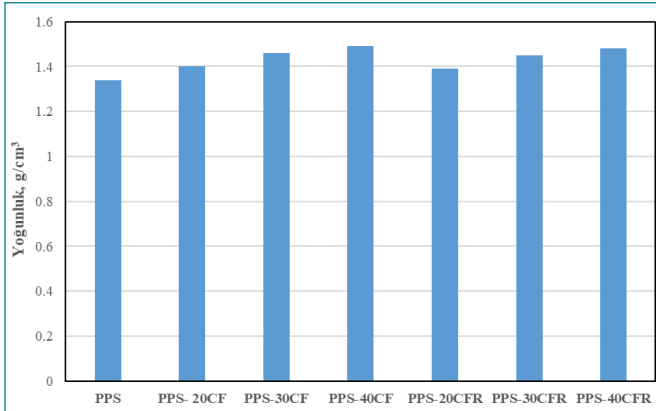
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

PPS, orijinal ve geri dönüşüm karbon fiber takviyeli PPS kompozit malzemelerin yoğunluk, çekme dayanımı, çekme modülü ve Izod darbe testi değerleri sırasıyla Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir.

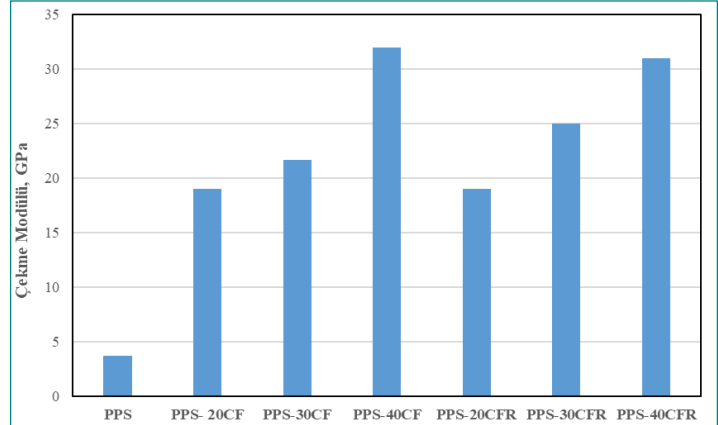
PPS'in yoğunluğu $1,34 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuşken % 40 orijinal karbon fiber ve geri dönüşüm karbon fiber içeren

PPS tabanlı kompozitlerin yoğunlukları sırasıyla $1,49 \text{ g/cm}^3$ ve $1,49 \text{ g/cm}^3$ bulunmuştur. Şekil 1 incelendiğinde ve orijinal karbon fiberler kendi arasında kıyaslandığında; karbon fiber oranı arttıkça yoğunluk değerinde beklediği gibi artış olmuştur. Bunun sebebi karbon fiberin yoğunluğunun PPS'e göre yüksek olmasıdır.

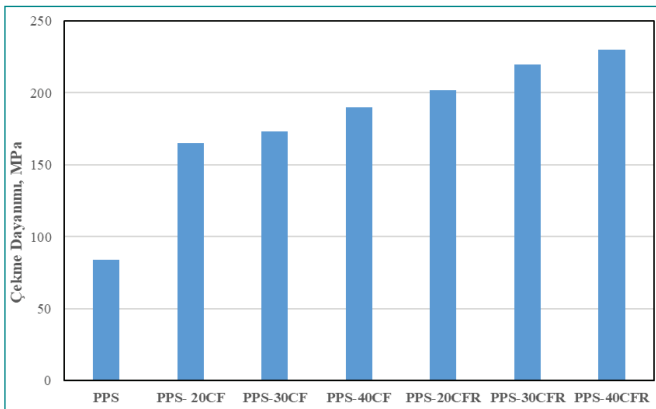
Çekme testi sonucunda ham PPS'in çekme dayanımı ve modülü değerleri, sırasıyla 84 ve 3.750 MPa olarak ölçülmüştür. Şekil 2 ve 3'e göre PPS içerisine karbon fiber koydukça çekme dayanımı ve modül değerlerinin arttığı görülmektedir. Buna göre; orijinal karbon fiber içeren kompozitlerde PPS-20CF, PPS-30CF ve PPS-40CF'nin çekme dayanımları sırasıyla 165, 173 ve 190 MPa olarak bulunmuştur. Geri dönüşüm karbon fiber içeren PPS-20CFR, PPS-30CFR ve PPS-40CFR kompozitlerin çekme dayanımları ise sırasıyla 202, 220 ve 230 MPa olarak ölçülmüştür. Sonuçlara göre geri dönüştürülmüş karbon fiber içeren kompozitlerin çekme dayanımlarının orijinal karbon fiber



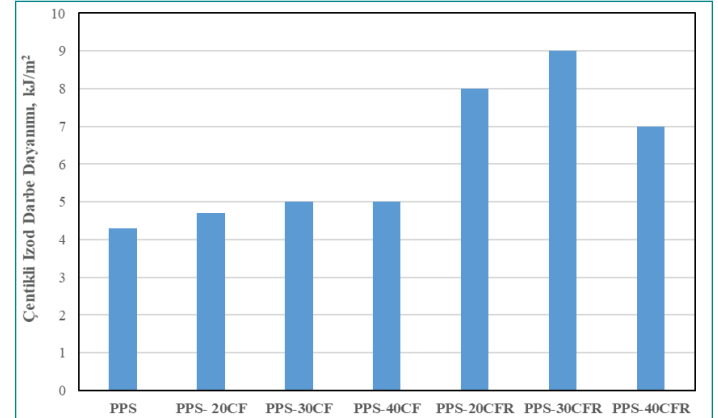
Şekil 1. PPS ve PPS Tabanlı Kompozit Malzemelerin Yoğunluk Değerleri



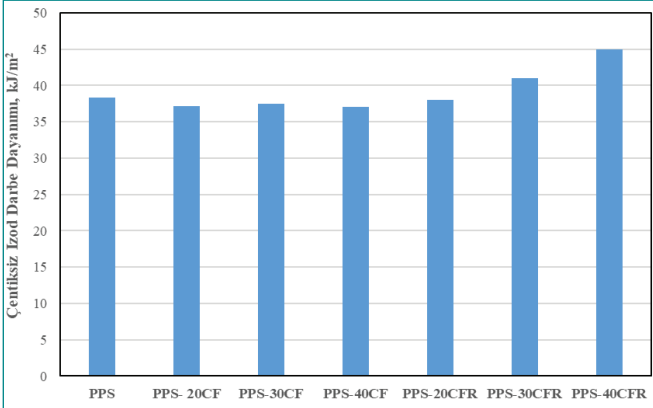
Şekil 3. PPS ve PPS Tabanlı Kompozit Malzemelerin Çekme Modülü Değerleri



Şekil 2. PPS ve PPS Tabanlı Kompozit Malzemelerin Çekme Dayanım Değerleri



Şekil 4. PPS ve PPS Tabanlı Kompozit Malzemelerin Çentikli Izod Darbe Dayanım Değerleri



Şekil 5. PPS ve PPS Tabanlı Kompozit Malzemelerin Çentiksiz Izod Darbe Dayanım Değerleri

içeren kompozitlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu artışın sebebi geri dönüştürülmüş karbon fiberin PPS içerisinde daha homojen karışmasından ve ara yüzey bağlanmasının daha iyi olmasından kaynaklandığı söylenebilir [1]. Çekme modülleri açısından değerlendirildiğinde orijinal karbon fiber ile geri dönüşüm karbon fiber arasında fazla bir farklılığın olmadığı görülmektedir.

Ham PPS'in Izod çentikli ve çentiksiz darbe dayanımı değerleri sırasıyla 4,3 ve 38,3 kJ/m² bulunmuştur. Şekil 4 ve 5'e göre Izod çentikli darbe değeri % 20 takviyeli PPS kompozitinde 4 kJ/m² civarında iken, % 30 ve % 40 takviyeli PPS kompozitlerinde % 25 kadar artış gösterip 5 kJ/m² olarak elde edilmiştir. Izod çentiksiz değerlerinde ise karbon elyaf oranı arttıkça, artış gözlemlenmiştir. Izod çentikli darbe değerleri %30 karbon fiber takviyesine kadar artış gösterirken, % 40 karbon fiber ilavesi ile 7 kJ/m²'e düşmüştür. Izod çentikli değerleri ise karbon fiber oranı arttıkça, artış göstermiştir.

Tablo 2'de alüminyum 6061-T6 alaşımının yoğunluk ve çekme dayanım değerleri verilmiştir. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin, alüminyum 6061-T6 alaşımına göre %45 civarında daha hafif oldukları görülmüştür. Düşük yoğunlukları ve benzer dayanım değerleri ile uygulamaya bağlı olarak metalik malzemelerle yarışabilir

Tablo 2. Alüminyum 6061-T6 Malzemenin Özellikleri

Örnek	Yoğunluk g/cm ³	Çekme Dayanımı (MPa)
Alüminyum Alaşımı 6061-T6	2,7	276

hale gelmişlerdir. Aynı zamanda çevreyle dost kompozit malzemelerin geliştirilmesine ve alüminyum yerine kullanılmasına olanak sağladıkları için de oldukça çevreci çözümler sunabilmektedirler.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, orijinal karbon fiber ve geri dönüşüm karbon fiberin PPS kompozitler üzerine yoğunluk, çekme özellikleri ve Izod darbe dayanım değerleri üzerine etkileri incelenmiştir. Buna göre;

- Karbon fiber miktarı arttıkça, yoğunluk değerleri artmaktadır.
- Karbon fiber miktarı arttıkça, çekme dayanım ve modülü değerleri artmaktadır.
- Karbon fiber içeren kompozitlerin çentikli darbe dayanım değerleri ham PPS'e göre yüksektir.
- Karbon fiber içeren kompozitler Alüminyum 6061-T6 malzemesine göre yaklaşık %45 daha hafiftir.

KAYNAKÇA

1. Altay, L., Bozaci, E., Atagur, M., Sever, K., Tantug, G. S., M. Sarikanat, M. ve Seki, Y. 2019. "The effect of atmospheric plasma treatment of recycled carbon fiber at different plasma powers on recycled carbon fiber and its polypropylene composites", Journal of Applied Polymer Science, 136(9): 47131.
2. Stoeffler, K., Andjelic, S., Legros, N., Roberge, J. ve Schougaard, S. B. 2013. "Polyphenylene sulfide (PPS) composites reinforced with recycled carbon fiber", Composites Science and Technology, 84: 65-71.
3. Altay, L., Atagur, M., Akyuz, O., Seki, Y., Sen, I., Sarikanat, M. ve Sever, K. 2018. "Manufacturing of recycled carbon fiber reinforced polypropylene composites by high speed thermo-kinetic mixing for lightweight applications", Polymer Composites, 39(10): 3656-3665.
4. Hu, J., Li, F., Wang, B., Zhang, H., Ji, C., Wang, S. ve Zhou, Z. 2020. "A two-step combination strategy for significantly enhancing the interfacial adhesion of CF/PPS composites: The liquid-phase oxidation followed by grafting of silane coupling agent", Composites Part B: Engineering, 191.
5. Quan, D., Deegan, B., Byrne, L., Scarselli, G., Ivanković, A. ve Murphy, N. 2020. "Rapid surface activation of carbon fibre reinforced PEEK and PPS composites by high-power UV-irradiation for the adhesive joining of dissimilar materials", Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 137.