

Doğal Elyaf Takviyeli (Jüt-Keten-Kenevir) Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Metalografik Olarak İncelenmesi

Yahya Taşgın*, Seçkin Kandemir

Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Tunceli, Türkiye

*yahyatashgin@munzur.edu.tr , seckinkandemir06@gmail.com 

Makale gönderme tarihi:04.10.2023, Makale kabul tarihi:12.10.2023

Öz

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte özellikle polimer esaslı saf haldeki malzemelerin yetersiz kalmasından dolayı kompozit malzemeler geliştirilmiş ve zamanla kullanım alanları çoğalmıştır. Son yıllarda artan çevre bilincinin getirdiği üretimde sürdürülebilirlik ve yenilenebilir, çevre dostu kompozitlerin kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır. İçeriğindeki malzemelerden en az birisinin doğal olması ile tanımlanan biyokompozitlerin, alternatiflerine kıyasla çok daha çevre dostu olmalarına karşın, hidrofilik yapıda olmaları ve mekanik özelliklerinin zayıf olması sebebiyle sanayide kısıtlı alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada takviye malzemesi olarak kullanılan bilirligini ortaya koymak için jüt, keten ve kenevir den oluşan doğal lif takviyeli epoksi kompozitlerin (NFRC) mekanik ve metalografik açıdan ortaya koyduğu farkındalıklar incelenmiştir. Üretim yöntemi olarak vakum destekli reçine transfer kalıplama (VDRTK) metodu kullanılmıştır. Metalografik olarak incelediğimizde; doğal liflerin yapı içerisinde yer alması ve epoksinin ara yüzeylere nüfuziyeti açısından problem oluşturmadığı görülmüştür. Çekme testleri, kompozitler arasında farklı mekanik davranışları ortaya çıkarmıştır; keten kompoziti en yüksek çekme mukavemetini (75,56 MPa) jüt ve kenevirin ise ketene kıyasla düşük çekme mukavemetine sahip olduğu görülmektedir. Endüstriyel olarak üretilen yapay elyaflara (Cam elyafı) kıyasla mekanik ve mikro yapı açısından zayıf görünse de özellikle karmaşık yapıları üretiminde nüfuziyet ve ara bölgelere yerleşebilecek olmasından kaynaklı daha kullanışlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal elyaf, epoksi, mekanik özellikler, çekme mukavemeti

Mechanical and Metallographic Investigation of Natural Fiber Reinforced (Jute-Linen-Hemp) Composite Materials

Abstract

With the development of technology, especially due to the inadequacy of polymer-based pure materials, composite materials have been developed and their usage areas have increased over time. In recent years, the concern for sustainability and renewability in production brought about by increasing environmental awareness has made the use of environmentally friendly composites increasingly widespread. Although biocomposites, which are defined by the fact that at least one of the materials in their content is natural, are much more environmentally friendly compared to their alternatives, they are used in limited areas in the industry due to their hydrophilic structure and poor mechanical properties. In this study, the mechanical and metallographic properties of natural fiber reinforced epoxy composites (NFRC) consisting of jute, flax and hemp were investigated to demonstrate their suitability as reinforcement materials. Vacuum assisted resin transfer molding (VDRTK) method was used as the production method. When we examined metallographically; it was seen that the natural fibers were not a problem in terms of the presence of natural fibers in the structure and the penetration of epoxy into the interfaces. Tensile tests revealed different mechanical behaviors among the composites, with flax composite having the highest tensile strength (75.56 MPa) and jute and hemp having low tensile strength compared to flax. Although it seems to be weaker in terms of mechanical and microstructure compared to industrially produced man-made fibers (glass fiber), it has been revealed that it is more useful in the production of complex structured parts due to its ability to penetrate and settle in intermediate regions.

Keywords: Natural fiber, epoxy, mechanical properties, tensile strength

GİRİŞ

Son yıllarda dünyamızı küresel ısınma ve çevre kirliliği etkilerinden korumak için birçok ülkenin harcadığı çaba daha etkili hale gelmeye başladı. Bu nedenle çevre dostu malzemelerin endüstride kullanımı önem arz etmektedir. Bu yöndeki çabalardan bir tanesi de bilim insanlarının üzerinde çalıştığı her alanda sıkça kullanılan kompozit malzemeleri içermektedir [Selmi ve ark., 2022; Habibi ve ark., 2018]. Kompozit malzemeler bünyesinde, doğal elyaf takviyeli kompozitler (NFRC'ler), malzemelerde hafiflik ve çevreye daha az zararlı etkilerinden dolayı metaller ve sentetik elyaf takviyeli kompozitlere alternatif olarak çok fazla ilgi görmektedir (Wilson, 2017). Doğal elyaf bazlı malzemeler teknik alanlara uygun mekanik özellikler sergilerler (Shinoj ve ark., 2010). Geleneksel kompozit malzemelerin yerini alan, biyokompozitler gibi daha çevre dostu ve daha hafif malzemeler ön plana çıkmaktadır. Araştırmacıların doğal liflerle güçlendirilmiş kompozit malzemelere odaklanmalarının nedeni, bu kompozitler, düşük yoğunluğa sahip olmalarının yanında sahip oldukları iyi mekanik özelliklerdir (Abu-Sharkh ve ark., 2004; Ak, 1994; Pradhan, 2022). Bitki liflerinin kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılması otomotiv sektörü gibi çeşitli faaliyet alanlarında giderek artmaktadır (Sassoni ve ark., 2014; Baley ve ark., 2005).

Aramid, karbon gibi sentetik takviyeli kompozit malzemeler ve cam elyafları, otomobil, inşaat ve havacılık dahil olmak üzere çeşitli alanlarda çok sayıda uygulamaya sahiptir (Tanzi, 2019). Bu malzemeler arasında cam elyaflar, benzersiz mekanik özellikleri ve düşük üretim maliyetleri nedeniyle en popüler olanıdır. Ancak sentetik elyafların kullanılması insan sağlığına ve çevreye zarar vererek cilt alerjileri ve akciğer kanseri gibi sorunlara neden olabilir. Bu sorunlara çözüm olarak doğal elyaflar gibi çevreye duyarlı malzemeler kompozit endüstrisinde gün geçtikçe popülerlik kazanmıştır (Tahir, 2011; May-Pat ve ark., 2013).

Doğal lifler, bitkiler de dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan elde edilebilir (keten, kenevir, jüt ve pamuk gibi), hayvanlar (yün ve ipek gibi) ve mineraller (asbest gibi) (Karthi ve ark., 2020).

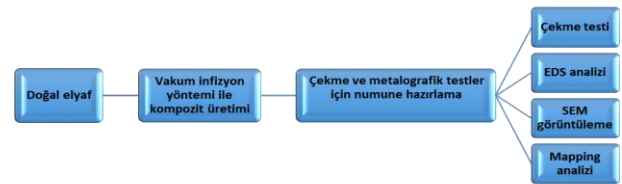
Bitki bazlı NFRC'lerin performansı sinerjik bir etkiyle belirlenir. Daha önce anlatılan doğal elyafın büyük potansiyeli, takviye elyafının özelliklerinden türetilen faktörlerin kombinasyonu, baz matrisi ve

fiber ile matrisin arayüzey etkileşiminin (örn. mekanik kilitleme, fiziksel yapışma, kimyasal bağlanma) aksine, birçok doğuştan gelen doğal elyaf özellikleri önemli teknik engeller ortaya koymaktadır. Yüksek performanslı kompozitlerin üretimi ve uygulamaları için, bu zorluklar, heterojen özellikleri içerir. Doğal lifin hücre duvarı yapısındaki, bileşimindeki ve geometrisi kullanılabilir takviye malzemesi olması yönünde birçok olumlu ve olumsuz özelliğiyle karşılaşılmaktadır. Doğal liflerde uyumsuzluğa yol açan hidrofilitik ve hidrofobik polimer matrisinde toplanma eğilimi, yüksek su emilimi, düşük termal stabilite ve ipliklere zor işlenebilirlik cam elyaflarla karşılaştırıldığında ciddi zorluklar olarak karşımıza çıkmaktadır (Naskar ve ark., 2016; Vaisanen ve ark., 2017; Fortea-Verdejo ve ark., 2017).

MATERYAL VE METOD

Jüt, keten, kenevir ve cam elyafı yerel piyasadan satın alınmış olup Şekil 2'de gösterilmektedir. Epoksi reçine olarak GEN680 marka reçine kullanılmıştır. Jelleşme süresi 250 g karışım için 23°C'de ve %50 nemde 30 dakikadır. Yoğunluğu $1,03 \pm 2$ g/ml'dir. Matris malzemesi 100gr epoksi için %40 sertleştirici kullanılarak hazırlandı.

Şekil 1'de vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile elde edilen numunelerin işlem akış şeması görülmektedir.



Şekil 1. Akış şeması

Tablo 1'de üretilen numunelerin bileşimleri ve takviye türleri görülmektedir.

Tablo 1. Test Numunelerimin Sınıflandırılması

Numune	Matris malzemesi	Takviye malzemesi
N1	Epoksi + Sertleştirici	Jüt
N2	Epoksi + Sertleştirici	Keten
N3	Epoksi + Sertleştirici	Kenevir
N4	Epoksi + Sertleştirici	Cam elyafı

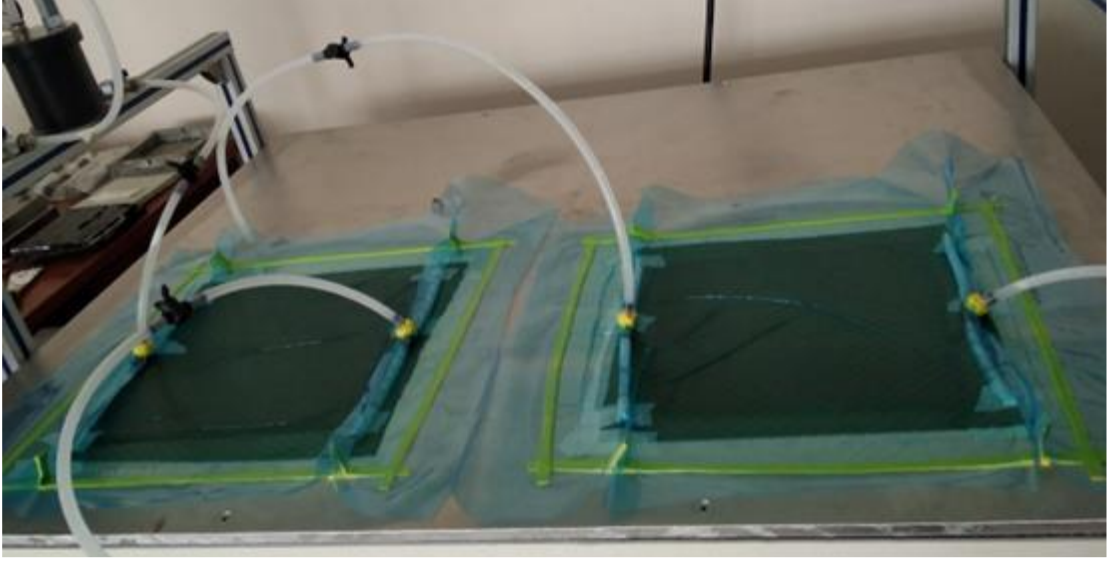
Kompozit plakalar, vakum destekli reçine transfer infüzyonu (VARTM) yöntemi kullanılarak üretildi (Demircan ve ark., 20219. Kompozit malzemelerin üretimine başlamak için takviye kumaşları istenilen ebatlarda kesildi. İşleme başlamadan önce tezgah yüzeyi iyice temizlenerek her türlü kir ve tozdan arındırıldı. Daha sonra bir ayırıcı film dikkatlice yerleştirildi ve sızdırmazlık bantları kullanılarak çalışma tezgahına sabitlendi. Kesilen takviye elyafları daha sonra bu çalışma için 35cm x 35cm boyutlarında hazırlanan doğal

kumaşlarla ayırıcı film üzerine katmanlandı. Kompozit yapıyı daha güçlü hale getirmek için dört kat kumaş katmanı kullanıldı. Daha sonra yine uygun boyutta kesilmiş soyma kumaşı katmanlı takviye malzemesinin üzerine yerleştirildi.

İnfüzyon sürecini başlatmak için, malzemelerle uygun hizalama sağlanacak şekilde soyulan kumaşın üzerine bir reçine dağıtıcı film yerleştirildi. Spiral hortumlar, havanın çekilebileceği ve reçinenin emilebileceği yanlara stratejik olarak yerleştirildi. Daha sonra doğru boyuta göre uyarlanmış bir vakum torbası tüm kurulumun üzerine yerleştirildi, sızdırmazlık macunuyla güvenli bir şekilde tutturuldu ve dış ortamdan etkili bir şekilde izole edildi. Reçine aktarımı için kurulum hazır olduğunda, sisteme hava girmesini önlemek için hortumların üzerindeki vanalar kapatıldı. Kompozit malzeme üretim tezgahının sıcaklığı 70 °C'ye ayarlandı ve kompozit malzemeler 8 saat vakum altında kürlenmeye bırakıldı. Üretim yöntemi Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil.2. Kullanılan doğal elyaf takviye elemanlarının işlem basamaklarına ait görünüm [URL-1].



Şekil 3. Vakum Destekli Reçine Transfer yöntemiyle vakumlama işlemi genel görünümü.

TARTIŞMA VE SONUÇ

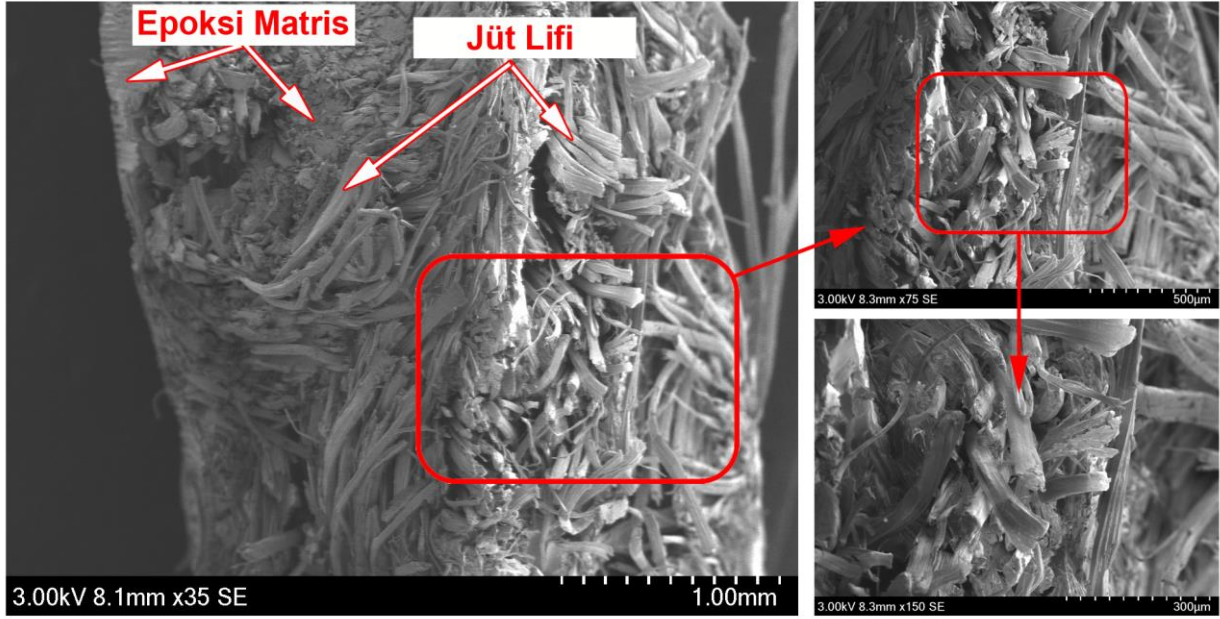
Bu çalışmada kullanılan numuneler jüt, keten, kenevir ve cam elyafı takviyeli olarak vakum destekli reçine transfer infüzyonu (VARTM) yöntemi kullanılarak her biri 4mm kalınlığında olacak şekilde üretilmiş olup N1,N2,N3,N4 şeklinde numaralandırılmıştır.

Epoksi matrisli ve jüt takviyeli N1 numunesinin farklı büyütmelelerdeki (35X- 75X- 150X) Sem görüntüleri Şekil 4 de incelendiğinde; jüt liflerinin kompozit içerisinde yoğun bir şekilde yer aldığı, epoksinin üretimde kullanılan vakum dan kaynaklı ara bölgelere çok iyi nüfuz ettiği görülmektedir. Kompozit N1 numunesi bünyesine jüt elyafının, daha güçlü bir yapının elde edilebilmesi için farklı yönlerde yerleşmiş olduğu da kesitte görülmektedir. Jüt takviyeli numuneden aldığımız Mepping görüntülerini ve EDS analizlerini Şekil 5 de incelediğimizde ise; Karbon esaslı epoksinin yapı

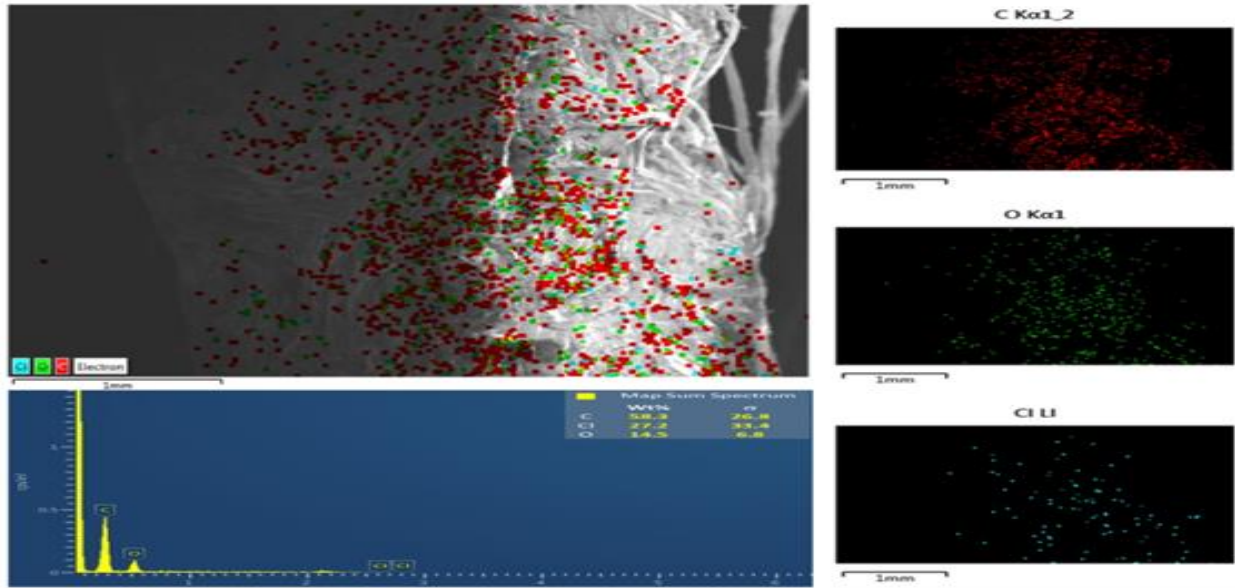
içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı tespit edilmiştir.

N2 numunesinde kullanılan keten liflerin, malzemenin kesiti içerisindeki durumunu Şekil 6'deki farklı büyütmelelerdeki SEM görüntülerinde incelediğimizde; Matrisi oluşturan epoksinin yapı içerisinde düzenli bir dağılım göstermediği, keten elyaflardan bağımsız hareket ederek kendine özgü akış kanalları oluşturduğu görülmektedir. Ketenin üretim aşamasında, numune içerisine düzenli yerleştirilmesine rağmen, epoksinin sıcaklık değerlerinden ve vakumun etkisiyle farklı yönlerde ve şekillerde hareket ettiği görülmüştür. Özellikle epoksinin yapı içerisinde bloklar halinde yer aldığını Şekil 7 da verdiğimiz Mapping analizinde de görmekteyiz.

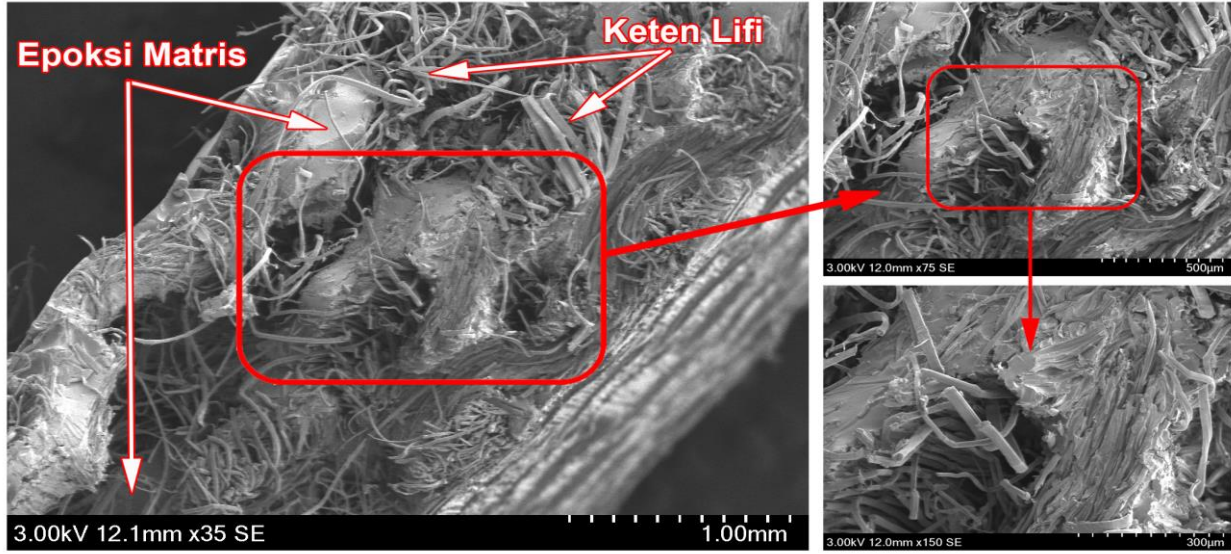
Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1371357



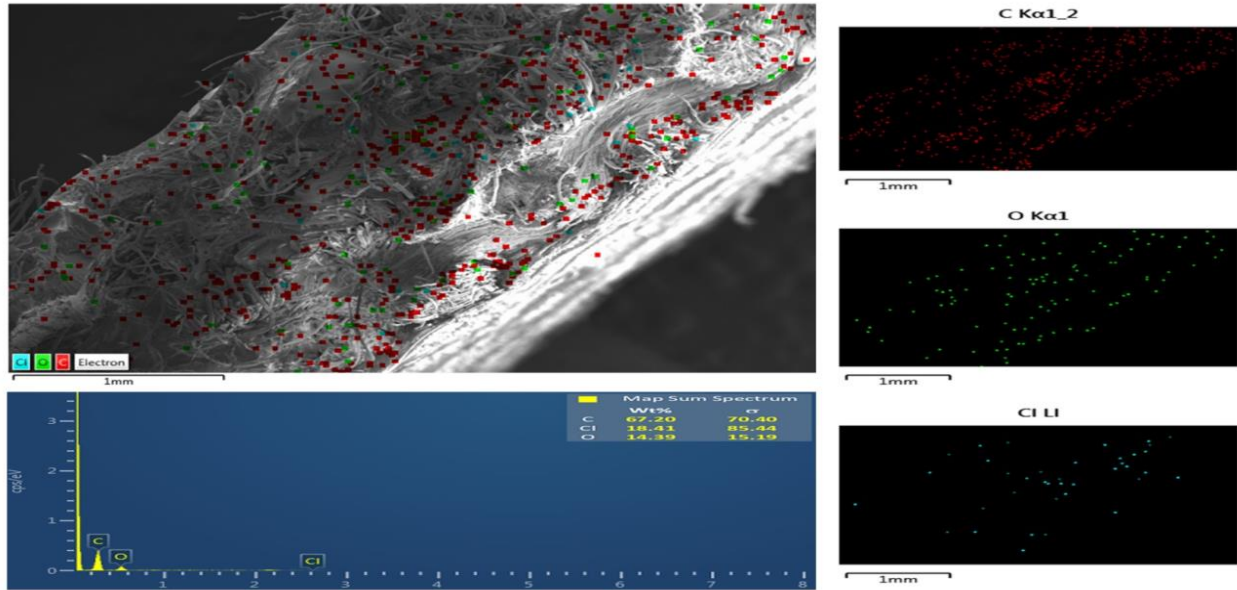
Şekil 4. N1numunesi için 35x, 75x, 150x büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri



Şekil 5. N1numunesinden alınan Mapping ve EDS analiz sonuçları.



Şekil 6. N2 numunesi için 35x, 75x, 150x büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri

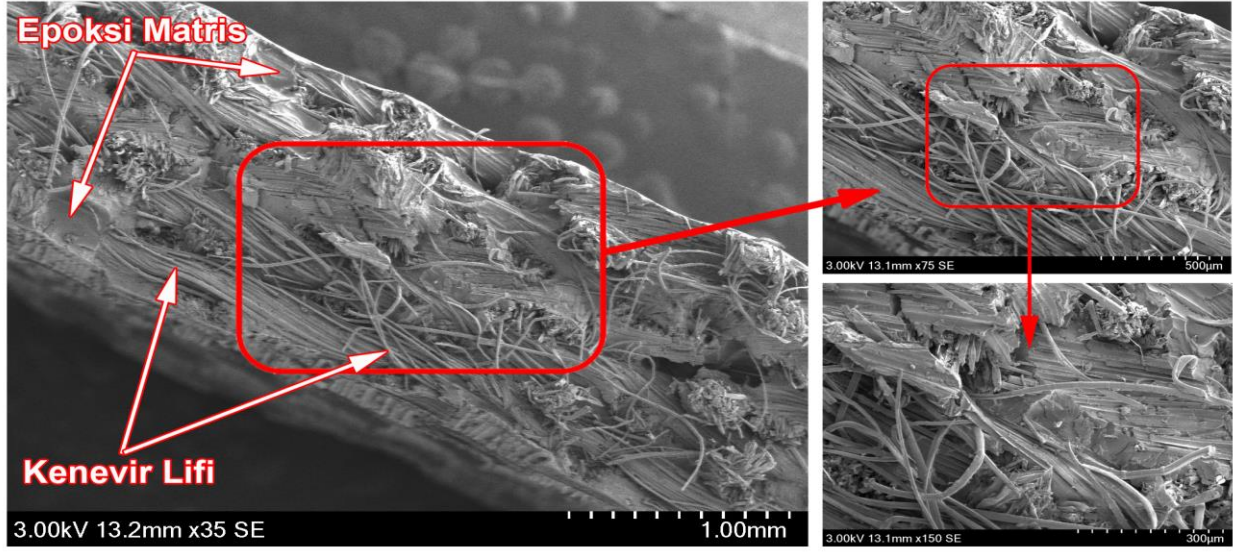


Şekil 7. N2 numunesinden alınan Mapping ve EDS analiz sonuçları.

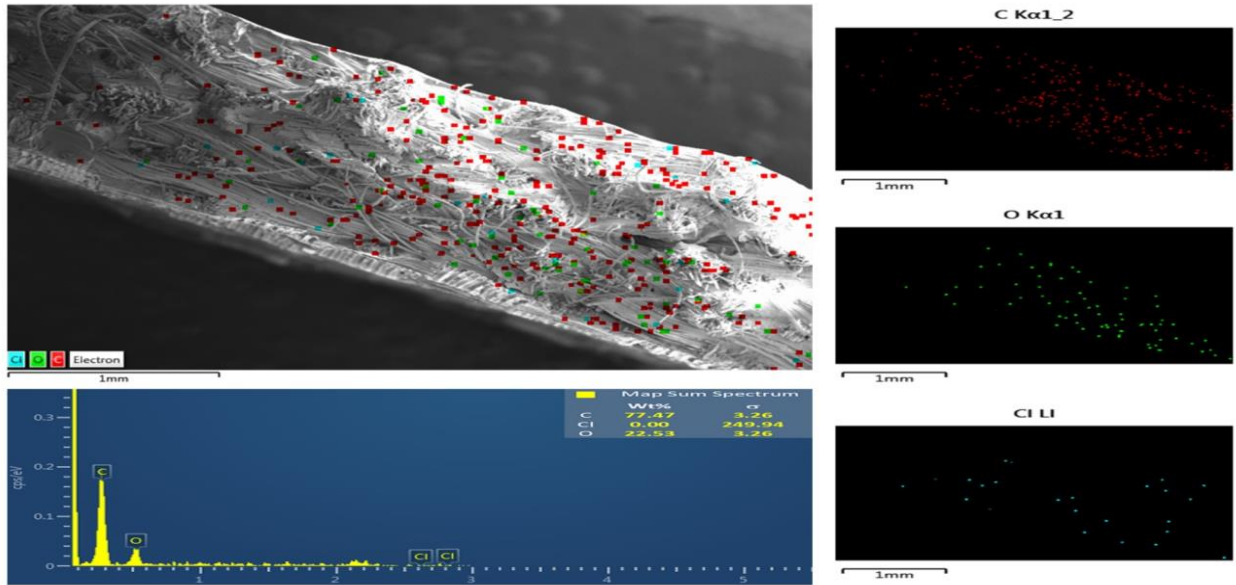
N3 numunesini Şekil 8'deki farklı büyütmelerdeki SEM görüntülerinden incelediğimizde; doğal kenevir liflerinin epoksi içerisinde düzenli bir şekilde yer aldığı, düzensiz görülen bölgelerin ise kenevir liflerinin farklı yönlerde yerleştirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Epoksinin ise hem aralara nüfuz ettiği hem de kenevir lifleri arasında tabakalar halinde yer aldığı görülmektedir. Şekil 9 de görülen mapping analizinde de epoksinin yapı içerisinde homojen dağıldığı görülmektedir.

Şekil 10 da verilen cam fiber takviyeli N4 numunesine ait farklı büyütmelerdeki SEM görüntülerini incelediğimizde; Cam elyafın doğal elyaflara kıyasla bünyesine epoksi almaması, epoksinin reaksiyon sıcaklığından etkilenmemesi, iğnemsiz düz bir yapıya sahip olmasından kaynaklı kompozit yapısı daha düzenli bir görünüm sergilemiştir. Şekil 11 de gördüğümüz elementer dağılımı veren mapping analizinde de düzenli yapı görülmektedir.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1371357

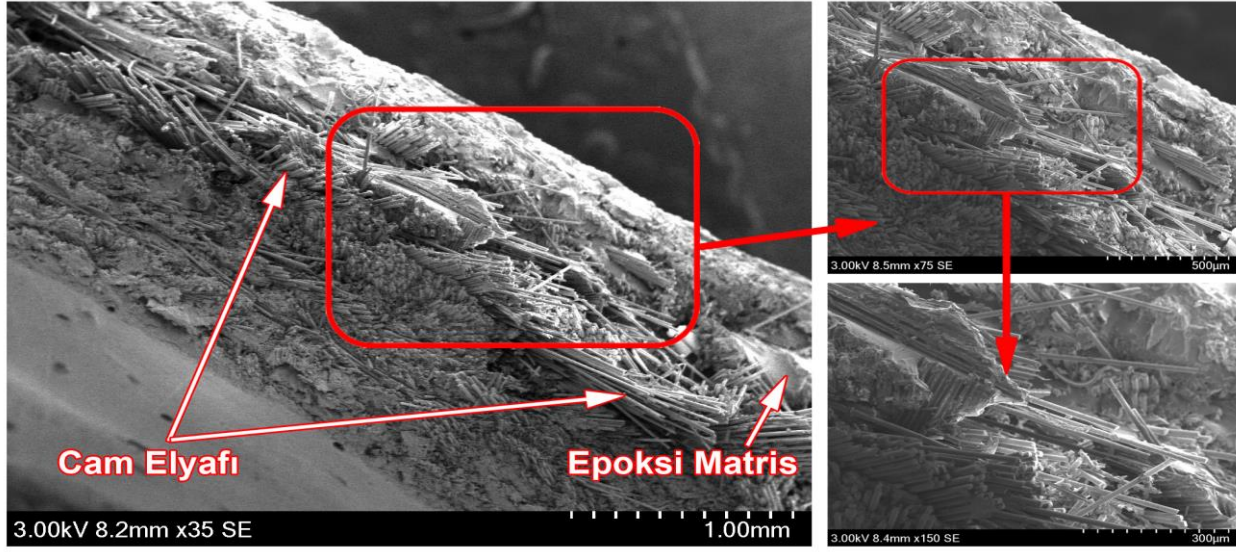


Şekil 8. N3numunesi için 35x, 75x, 150x büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri

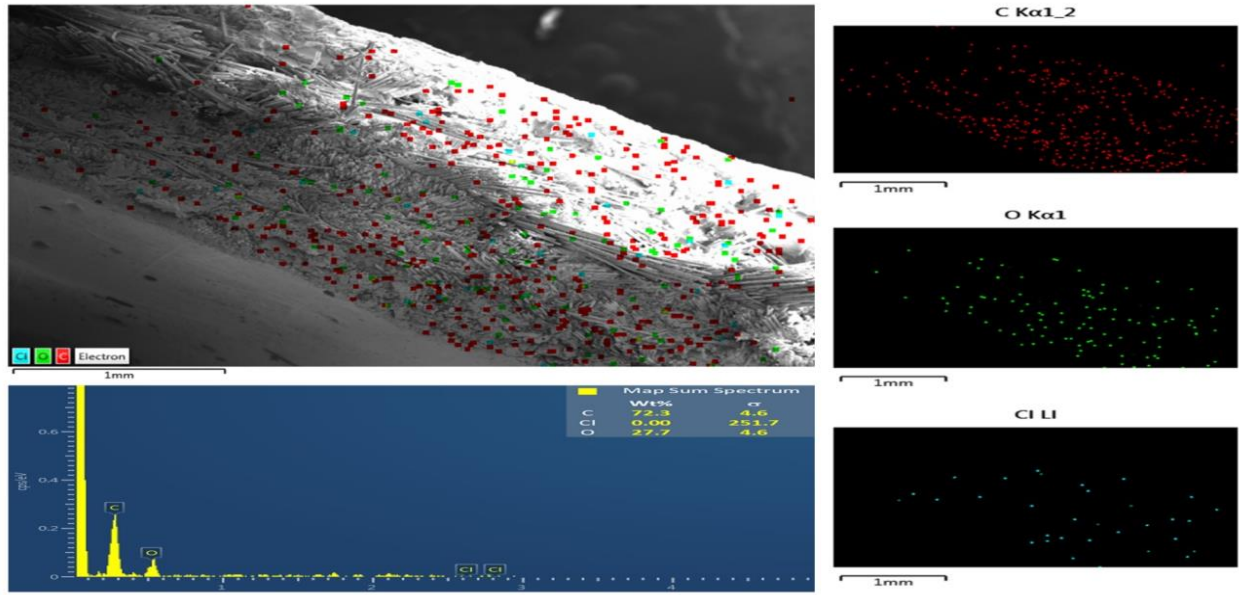


Şekil 9. N3 Numunesinden alınan Mapping ve EDS analiz sonuçları.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1371357



Şekil 10. N4 numunesi için 35x, 75x, 150x büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri



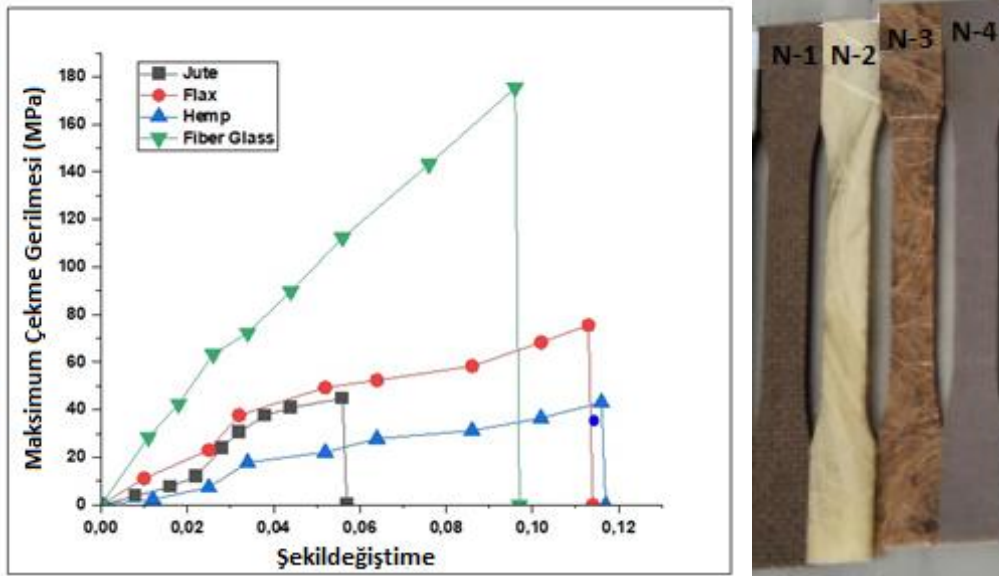
Şekil 11. N4 Numunesinden alınan Mapping ve EDS analiz sonuçları.

Doğal elyaf takviyeli üç numune ve kıyaslamak için ilave ettiğimiz bir cam elyaf numunemiz önce standart ölçülerde bir şablon çıkartılmış, kesici takımların yardımıyla kesilerek çekme testi için hazır hale getirilmiştir. Çekme testi ASTM D638 standardına göre 100KN kapasiteli SHIMADZU çekme cihazında gerçekleştirildi. Sonuçlarını Tablo 2 de incelediğimizde; x ve y eksenlerinde yerleştirilen doğal elyaf takviyeli numuneleri arasında değerlendirdiğimizde, Jüt ve Kenevir den oluşan

kompozitlerin çekme sonuçlarının keten takviyeli N2 numunesine kıyasla çok düşük olduğu görülmektedir. Uzama oranlarına baktığımızda ise kenevir içerikli N3 numunesinin Keten takviyeli N2 numunesine yakın bir uzama gösterdiği tespit edilmiştir. Yapay elyaf içerikli (Cam elyaf) N4 numunesini Jüt-Keten-Kenevir takviyeli numunelerle kıyasladığımızda; cam elyaf takviyeli kompozitin çekme değerlerinin iki katından fazla olduğu Şekil 12'deki çekme eğrisinde görülmektedir.

Tablo 2. Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Numune No	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Maksimum Uzama(%)	Maksimum Uzama(mm)
N1	1921,88	44,7990	2,32696	2,6760
N2	2259,38	75,5644	5,60957	6,4510
N3	856,25	43,0493	5,64435	6,4910
N4	5015,63	175,3720	3,94870	4,54100



Şekil 12. N1, N2, N3, N4 numuneleri ve bu numunelere ait Çekme eğrisi

DEĞERLENDİRME

Bu çalışmanın amacı, dört farklı takviye malzemesi (jüt, keten, kenevir lifi ve cam elyafı) kullanan doğal ve yapat elyaf içerikli epoksi matrisli kompozitlerin (NFRC'ler) metalografik ve mekanik özelliklerine ilişkin kapsamlı bir çalışma yapmaktır. Bu amaca ulaşmak için vakum destekli reçine transfer infüzyonu (VARTM) tekniği kullanılarak kompozit plakalar üretildi. Kompozit numuneler arasındaki farklılıklar, Sem görüntüleri, Mepping, EDS analizleri ve çekme testleriyle belirlenmiştir.

Metalografik olarak numunelerin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, doğal elyaf takviyeli kompozitlerin vakum destekli reçine transfer

infüzyonu (VARTM) tekniğiyle üretiminin mümkün olduğu söylenebilir. Doğal elyaflar olarak adlandırdığımız jüt, keten, kenevir liflerinin üretim aşamasında numune içerisine düzenli yerleştirilmesine rağmen, epoksinin reaksiyon sıcaklığından ve vakumun etkisiyle farklı yönlerde ve şekillerde hareket ettiği görülmüştür. Doğal liflerin kullanılmadan önce belirli işlemlerden (kurutma, ayırma, tarama) geçirilmiş olması, kompozit plakaların üretimini kolaylaştırdığı ve yapısal olarak avantaj sağladığı düşünülmektedir.

Çekme testi sonuçları, NFRC'lerin mekanik davranışına ilişkin değerli bilgiler sağladı. Kompozitler arasında gerilme mukavemeti, gerinim

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1371357

ve elastisite modülünde gözlenen farklılıklar, onların farklı mekanik profillerinin altını çizmektedir. Keten, 75,56 MPa ile doğal elyafın içerisinde en yüksek gerilme mukavemetini sergiledi ve bu da onu sağlam mekanik özellikler gerektiren uygulamalar için birinci sınıf bir seçim haline getirdi. Uzama oranlarına baktığımızda ise kenevir takviyeli kompozit plakanın Keten takviyeli plakaya yakın bir uzama gösterdiği tespit edilmiştir. Yapay elyaf içerikli (Cam elyaf) plakanın ise, Jüt-Keten-Kenevir takviyeli numunelerle kıyasladığımızda; cam elyaf takviyeli kompozitin çekme değerlerinin doğal elyaf takviyelilere kıyasla iki katından fazla olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak doğal elyaf olarak adlandırdığımız, jüt, keten, kenevir liflerinin kompozit plakalarda yapısal ve üretilirliği açısından kullanılabileceği. Yapay elyafların mekanik açıdan avantajlı bir malzeme olarak görünse de maliyeti uygulanabilirliği açısından doğal elyafların daha avantajlı olduğu söylenebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar bu makaleyle ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan ederler.

KAYNAKLAR

Abu-Sharkh, B. F. ve Hamid, H. (2004). Degradation study of date palm fibre/polypropylene composites in natural and artificial weathering: mechanical and thermal analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 85(3), 967-973.

Ak, B. (1994). Composites reinforced with cellulose based fibers. *Prog Polym Sci*, 24, 221-274.

Baley, C. (2005). *Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites*. Ed. Techniques Ingénieur.

Demircan, G., Kisa, M., Ozen, M. ve Acikgoz, A. (2021). Quasi-static penetration behavior of glass-fiber-reinforced epoxy nanocomposites. *Mechanics of Composite Materials*, 57, 503-516.

Fortea-Verdejo, M., Bumbaris, E., Burgstaller, C., Bismarck, A. ve Lee, K. Y. (2017). Plant fibre-reinforced polymers: where do we stand in terms of tensile properties?. *International Materials Reviews*, 62(8), 441-464.

Habibi, M., Laperrière, L. ve Hassanabadi, H. M. (2018). Replacing stitching and weaving in natural fiber reinforcement manufacturing, part 2: Mechanical

behavior of flax fiber composite laminates. *Journal of natural fibers*.

Karthi, N., Kumaresan, K., Sathish, S., Gokulkumar, S., Prabhu, L. ve Vigneshkumar, N. (2020). An overview: Natural fiber reinforced hybrid composites, chemical treatments and application areas. *Materials today: proceedings*, 27, 2828-2834.

May-Pat, A., Valadez-González, A. ve Herrera-Franco, P. J. (2013). Effect of fiber surface treatments on the essential work of fracture of HDPE-continuous henequen fiber-reinforced composites. *Polymer Testing*, 32(6), 1114-1122.

Naskar, A. K., Keum, J. K. ve Boeman, R. G. (2016). Polymer matrix nanocomposites for automotive structural components. *Nature nanotechnology*, 11(12), 1026-1030.

Pradhan, P., Purohit, A., Mohapatra, S. S., Subudhi, C., Das, M., Singh, N. K. ve Sahoo, B. B. (2022). A computational investigation for the impact of particle size on the mechanical and thermal properties of teak wood dust (TWD) filled polyester composites. *Materials Today: Proceedings*, 63, 756-763.

Sassoni, E., Manzi, S., Motori, A., Montecchi, M. ve Canti, M. (2014). Novel sustainable hemp-based composites for application in the building industry: Physical, thermal and mechanical characterization. *Energy and Buildings*, 77, 219-226.

Selmi, S., Habibi, M., Laperrière, L. ve Kelouwani, S. (2022). Characterisation of natural flax fibers honeycomb: compression damage analysis using acoustic emission. *Journal of Natural Fibers*, 19(3), 1084-1093.

Shinoj, S., Visvanathan, R. ve Panigrahi, S. (2010). Towards industrial utilization of oil palm fibre: Physical and dielectric characterization of linear low density polyethylene composites and comparison with other fibre sources. *Biosystems engineering*, 106(4), 378-388.

Tahir, P. M., Ahmed, A. B., SaifulAzry, S. O. ve Ahmed, Z. (2011). Retting process of some bast plant fibres and its effect on fibre quality: a review. *BioResources*, 6(4).

Tanzi, M. C., Farè, S. ve Candiani, G. (2019). *Foundations of biomaterials engineering*. Academic Press.

URL-1 <https://www.filofibra.com.tr/tr/blog/iplik-cesitleri-ve-tekstil-sektorunde-kullanimi> (Erişim tarihi:08.05.2022)

Väisänen, T., Das, O. ve Tomppo, L. (2017). A review on new bio-based constituents for natural fiber-polymer composites. *Journal of Cleaner Production*, 149, 582-596.

Wilson, A. (2017). Vehicle weight is the key driver for automotive composites. *Reinforced Plastics*, 61(2), 100-102.