

Epoksi esaslı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine sodyum hidroksit ile modifiye edilmiş farklı güçlendirici malzemelerin etkisi

Mustafa Kadir Yalman^a, İlkay Atar^{a,*}, Fatih Mengeloğlu^a

Özet: Bu çalışmada; epoksi- doğal lif kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine lif türü, güçlendirici malzeme yapısı ve kullanılan liflerin alkali ile modifikasyonu işleminin etkileri incelenmiştir. Güçlendirici malzeme olarak; dokuma ve dokuma olmayan (keçe) yapıdaki tekstil yüzeyler kullanılmıştır. Kullanılan güçlendirici malzemeler kenevir ve jüt liflerinden elde edilmiştir. Liflere %5 NaOH solüsyonunda modifikasyon işlemi uygulanmıştır. Kompozit örnekler; vakum infüzyon yöntemi ile 8 farklı kombinasyonda üretilmiştir. Üretilen örneklerin; çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, darbe direnci, su alma özellikleri ve yoğunluk değerleri ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda; üretilen kompozitlerde dokuma kumaş kullanımı ile keçe kullanımına kıyasla daha yüksek çekme, eğilme ve darbe direnci tespit edilmiştir. Buna karşılık dokuma kumaş ile üretilen kompozitler daha yüksek oranda su alma özellikleri göstermiştir. Dokuma kumaş ile üretilen kompozitler incelendiğinde; kenevir lifi içeren örneklerin, jüt lifi içeren örneklerle göre daha yüksek mekanik özellikler sergilediği görülmüştür. Keçe ile üretilen kompozitlerde ise; jüt lifi içeren örnekler, kenevir lifi içeren örneklerle göre daha yüksek mekanik özellikler sergilemiştir. Kompozit üretiminde vakum infüzyon yönteminin kullanılması ve diğer değişkenlerin etkisi sonucunda elde edilen grupların matris/güçlendirici malzeme oranı sabit tutulamamıştır. Alkali modifikasyonu ve keçe kullanımı sonucunda üretilen kompozitlerin içerdiği güçlendirici malzeme oranında azalma meydana gelmiştir. Kompozit örneklerin içerdiği güçlendirici malzeme oranının yükselmesiyle kompozitlerin mekanik özelliklerinin yükseldiği, bununla birlikte su alma özelliklerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Alkali işlem, Doğal lifler, Epoksi, Kenevir, Jüt, Teknik tekstil

Effect of various reinforcements modified with sodium hydroxide on mechanical and physical properties of epoxy based composites

Abstract: In this study; physical and mechanical properties of epoxy-natural fibre composites were investigated in relation to fibre type, reinforcement structure and alkali modification of the fibres. Woven and non-woven (mat) textile surfaces were used as reinforcing materials. The reinforcement used consists of hemp and jute fibres. Modification process was applied to the fibres in 5% NaOH solution. Composite samples were produced in 8 different combinations by vacuum infusion method. Tensile strength, modulus of elasticity in tension, elongation at break, flexural strength, modulus of elasticity in bending, impact resistance, water absorption properties and density values were investigated. As a result of the study, higher tensile, flexural and impact resistance was determined in the composites produced with the use of woven fabric compared to the use of mat. On the other hand, composites produced with woven fabrics showed higher water absorption properties. When the composites produced with woven fabrics were examined; it was observed that the samples containing hemp fibre exhibited higher mechanical properties than the samples containing jute fibre. In the composites produced with mat; the samples containing jute fibre exhibited higher mechanical properties than the samples containing hemp fibre. The matrix/reinforcement ratio of composites manufactured could not be kept constant as a result of the use of vacuum infusion method in composite production and the effect of other variables. As a result of alkali modification and usage of mat, it was found that the reinforcement ratio of composites decreased. It was observed that the mechanical properties of composites improved with the increase in the reinforcement ratio, as well as the water absorption properties of the composites.

Keywords: Alkali treatment, Natural fibres, Epoxy, Hemp, Jute, Technical textiles

1. Giriş

Kompozitler; iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilerek oluşturulduğu malzemelerdir. Kompozit malzemeler genellikle matris ve güçlendirici malzemedir oluşur. Kompozit üretiminde; kompozit malzemenin içeriğindeki bileşenlerin iyi özelliklerin bir araya getirilmesi ile birlikte, ortaya çıkan malzemenin istenen fiziksel ve

mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanır (Saba vd., 2019). Kompozit malzemeler geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında yüksek mekanik özelliklerle birlikte hafiflik ve düşük yoğunluk gibi avantajlar sağlarlar (Ahmed vd., 2006).

Epoksi; ısı ile kürleşen bir termoset polimerdir. Genellikle; reçine ve sertleştirici olarak iki komponent halinde kullanılır. Bu komponentlerin belirtilen oranlarda

✉ ^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46050, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): iatar@ksu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 14.05.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 17.07.2024



Citation (Atıf): Yalman, M.K., Atar, İ., Mengeloğlu, F., 2024. Epoksi esaslı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine sodyum hidroksit ile modifiye edilmiş farklı güçlendirici malzemelerin etkisi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 290-301.
DOI: [10.18182/tjf.1483740](https://doi.org/10.18182/tjf.1483740)

karıştırılması ile ısı açığa çıkan bir reaksiyon oluşur ve reçine kürleşerek katı hale geçer (Saba vd., 2015). Epoksi reçineler; yalıtım, kaplama, laminasyon, denizcilik, elektronik, uzay ve havacılık, inşaat sektörü ve kompozit üretimi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Jin vd., 2015). Bununla birlikte yüksek mekanik, fiziksel, termal özellikler, kimyasal direnç ve boyutsal stabilite özellikleri göstermektedir (Song vd., 2000; Chozhan vd., 2007; Jawaid ve Abdul Khalil, 2011; Li ve Zhang 2011; Mishra ve Biswas, 2013).

Doğal lifler; selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan malzemelerdir (Thakur ve Thakur, 2014). Bu malzemeler; elde edildiği bitkinin yaprak, tohum, sak, meyve ve sap gibi çeşitli kısımlarından elde edilebilir ve buna göre sınıflandırılırlar (Pickering vd., 2016). Doğal liflerin yenilenebilir ve biyobozunabilir malzemeler olmasından dolayı, bu malzemelerden elde edilen ürünler çevre dostudur (Saba vd., 2014). Doğal liflerle üretilen kompozitler; düşük yoğunluk, ağırlık, maliyet ve işleme maliyeti, biyolojik olarak bozunabilir olmaları gibi avantajlarının yanı sıra yüksek eğilme direnci sergilerler (Petchwattana ve Covavisaruch, 2014). Doğal lifler çoğunlukla ucuz olup doğada bol miktarda bulunmaktadır. Aynı zamanda, biyolojik olarak bozunmayan termoset ve termoplastik matris malzemeleriyle karıştırılarak kompozit üretiminde güçlendirici malzeme olarak kullanılabilirler (Ashori, 2008). Bu doğal liflerden en çok kullanılanlar arasına jüt ve kenevir gelmektedir.

Kenevir dünyanın birçok noktasında üretilen yenilenebilir yıllık bir bitkidir, düşük yoğunluk ve üretim maliyetine sahiptir. Polimer kompozitleri üretiminde güçlendirici olarak kullanılacak en güçlü doğal liflere sahiptir. İçeriğinde; ağırlıkça %55-72 selüloz, %8-19 hemiselüloz, %2-5 lignin ve yağlı bileşenler barındırmaktadır (Thomsen vd., 2000). Jüt; çoğunlukla tekstil sanayinde kullanılan, biyobozunur ve yenilenebilir lifler içeren bir bitkidir. Jüt lifleri yüksek mekanik özellikler, termal izolasyon ve düşük maliyet gibi avantajlar sağlar (Islam ve Alauddin, 2012). İçeriğinde; ağırlıkça % 45-71,5 selüloz, %13,6-21 hemiselüloz, %12-26 lignin ve yağlı bileşenler barındırmaktadır (Selver vd., 2017; Sinha vd., 2017).

Kompozitlerde iyi mekanik özellikler için, elyaf ve matris arasında güçlü bir bağ oluşturulması gerekmektedir. Doğal liflerin yüksek hidrofilik özellikleri, hidrofobik olan polimer matrislerle olan uyumluluğun azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, lif yüzeylerinin modifikasyonu, performanslarının iyileştirilmesi için önemlidir (Mohanty vd., 2018).

Dolgu maddelerinin ağartma, yıkama, alkali ve peroksit işlemi ve silan bağlayıcı maddelerin kullanımı gibi yüzey modifikasyonları, üretilen kompozitlerin daha iyi özellikler kazanmasını sağlamıştır (Weikart vd., 1999). Yüzeyin bu şekillerde işleme tabi tutulması matris – güçlendirici arasındaki uyumu arttırmaya yardımcı olur (Bahrami vd., 2020). Alkali işlemi selüloz üzerindeki hidrojen bağına etki ederek liflerin çapını azaltır ve bu sayede yüzey alanını artırır. Bu işlem aynı zamanda hemiselüloz, lignin, pektin ve yağ gibi maddeleri lif yüzeyinden önemli ölçüde ayırır. Bunun sonucu olarak mikro fibrillerin ortaya çıkmasıyla liflerin matris ile yaptığı bağ iyileşerek matris ve güçlendirici malzeme arasında daha güçlü bir bağ oluşur (Ray vd., 2001; Li vd., 2007; Mwaikambo vd., 2007; Bhoopathi ve Ramesh, 2020).

Bu çalışmada; kenevir ve jüt liflerinden elde edilen keçe ve dokuma kumaşlar güçlendirici malzeme olarak kullanılmıştır. Matris olarak termoset bir polimer olan epoksi reçine kullanılmıştır. Güçlendirici liflere %5 NaOH solüsyonunda alkali işlem uygulanmıştır. Kompozit örnekler; vakum infüzyon yöntemi ile 8 farklı kombinasyonda üretilmiş ve testleri yapılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada jüt ve kenevir bitkilerinden elde edilen lifler güçlendirici malzeme (Dokuma kumaş ve Keçe) olarak kullanılmıştır. Kompozit üretimi için kullanılan 250g/m² kenevir dokuma kumaş Asghamangal gift & craft firmasından, 200g/m² jüt dokuma kumaş ise Kahramanmaraş'ta özel bir firmadan tedarik edilmiştir. Keçe üretimi için kullanılan kenevir lifleri Kahramanmaraş'ta özel bir firmadan alınmıştır. Jüt keçelerin üretiminde kullanılan lifler; tedarik edilen jüt kumaşlardan kesilerek elde edilmiştir. Kompozit üretiminde; matris olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Kullanılan matris; çift komponentli L/H-160 infüzyon epoksi reçinesi olup Dost Kimya firmasından temin edilmiştir. Bu epoksi sistemi L-160 reçine ve H-160 sertleştiriciden oluşmaktadır. Üretilen kompozit levhalar, ASTM standartlarına göre belirtilen ölçülerde kesilip fiziksel ve mekanik testleri yapılmıştır. Çizelge 1'de elde edilen kompozitlerin üretim reçetesi verilmiştir. Üretim reçetesine göre 8 farklı kompozit üretilmiş olup: JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş) kısaltmalarının açıklamalarıdır.

2.1. Liflere uygulanan alkali işlemi

Bu çalışmada; kompozit üretiminden önce, kenevir ve jüt lifleri alkali ile modifiye edilmiştir. Alkali işlemi için ağırlıkça %5 oranında saf suya katılan, NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi kullanılmıştır. Bu işlem için lifler oda sıcaklığındaki çözeltide 24 saat bekletilmiştir. Süre sonunda kumaş ve lifler saf su ile yıkanmıştır. Alkali işleminden sonra kumaş ve lifler, düz bir cam yüzeyine serilmiştir ve 60°C sıcaklığa ayarlanan etüvde 24 saat süreyle kurutulmuştur.

2.2. Doğal lifler ile keçe (Non-Woven) kumaş üretimi

Kompozit üretiminde kullanılan keçeler, metrekafe ağırlığı 250g olacak şekilde özel bir düzenele üretilmiştir. Odunsu kısımdan ayrılmış halde elde edilen kenevir lifleri (sak lifi) öncelikle el yardımı ile açılarak artıklardan arındırılmış ve düz bir hale getirilmiştir. Bu lifler daha sonra metal bir fırça ile taranarak daha da düzeltilmiş ve saçaklandırılmıştır. Daha sonra bu lifler keçe üretimi için 5 – 10mm uzunluğunda kesilmiştir. Şekil 1 a'da temin edilen lifler, Şekil 1b'de taranmış lifler ve Şekil 1c'de kesilmiş lifler gösterilmiştir. Jüt lifleri ise taranmaksızın kumaş üzerinden 5 – 10mm uzunlukta kesilmiştir. Daha sonra lifler 60-80°C sıcaklığındaki suyun içerisinde blender kullanılarak karıştırılmış ve lif ile su içeren bir solüsyon elde edilmiştir.

Çizelge 1. Kompozit levhaların üretim reçetesi

Örnek no	Örnek kod	Lif Türü	Güçlendirici	Yüzey İşlemi
1	JKÇ-A	Jüt	Keçe	Alkali
2	JKÇ	Jüt	Keçe	Yok
3	JKM-A	Jüt	Kumaş	Alkali
4	JKM	Jüt	Kumaş	Yok
5	KKÇ-A	Kenevir	Keçe	Alkali
6	KKÇ	Kenevir	Keçe	Yok
7	KKM-A	Kenevir	Kumaş	Alkali
8	KKM	Kenevir	Kumaş	Yok

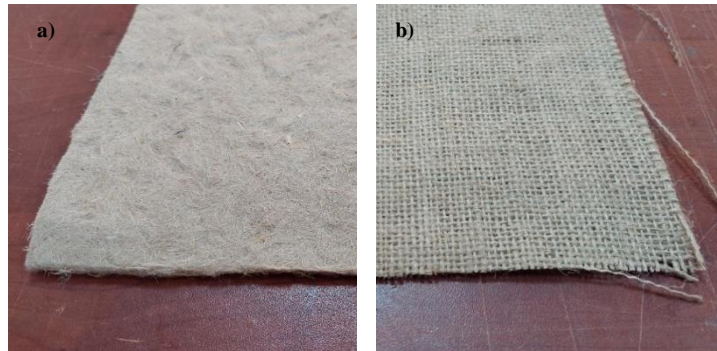
Hazırlanan lif-su karışımı, içerisinde elek bulunan plastik bir kaba dökülmüştür. Keçe üretimi için 60 mesh kalınlığında ve iç kısmı 28x32 cm'lik çerçeveye sabitlenmiş bir elek kullanılmıştır. Bu çerçevenin amacı suyun liflerden uzaklaştırılarak keçenin oluşturulmasıdır. Daha sonra elek yavaşça yukarı kaldırılmış ve lifler sudan ayrılmıştır (Şekil 2). Oluşturulan keçe, bir camın üzerine aktarıldıktan sonra etüvde 24 saat 60°C de kurutulmuştur. Şekil 3a'da üretilen keçe, Şekil 3b'de ise tedarik edilen dokunmuş kumaş gösterilmektedir.



Şekil 1. a) Temin edilen kenevir lifler, b) Taranmış kenevir lifler ve c) Kesilmiş kenevir lifler



Şekil 2. Eleğin üzerinde oluşturulan yüzey

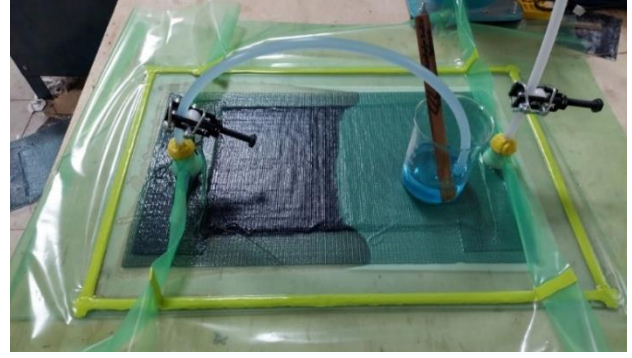


Şekil 3. a) Üretilen keçe, b) Dokunmuş yüzey

2.3. Kompozit Örneklerin Üretilmesi

Örnekler vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Bu yöntem güçlendirici malzemenin içerisine vakum yardımı ile reçine emdirmeyi ve reçinenin kürleşmesini kapsamaktadır. Kumaş formundaki güçlendirici malzemeler 400x280 mm boyutlarında kesilerek, keçe formundaki güçlendirici malzemeler ise 320x280 mm boyutlarında elde edildikten sonra kompozit örneklerin üretiminde kullanılmıştır. Kalıp olarak 500x400mm boyutundaki cam bir yüzey kullanılmıştır. Kompozit malzemenin kalıptan ayrılması için vaks ve sıvı PVA'dan oluşan bir kalıp ayırıcı sistem uygulanmıştır. Öncelikle cam üzerine kullanılan güçlendirici malzeme yerleştirilmiştir. Güçlendirici malzeme üzerine reçinenin rahat ilerlemesini sağlayacak sarf malzemeler yerleştirilmiştir. Bu sarf malzemeler sırasıyla; soyma kumaşı, infüzyon filesi ve vakum naylonudur. Sarf malzemeleri serildikten sonra, vakum naylonu çerçevenin kenarındaki sızdırmazlık bandına sabitlenmiştir ve kalıp dış ortamdan izole edilmiştir.

Sisteme reçine akışının sağlanması için, kalıp sistemindeki konektörlere infüzyon hortumu bağlanmıştır ve sızdırmazlık bandı yardımı ile sızdırmazlığı sağlanmıştır. L/H160 epoksi seti; reçine ve sertleştirici oranı ağırlıkça 100:25 olacak şekilde tartıldıktan sonra 4 dakika boyunca bir çubuk yardımıyla karıştırılmıştır. Kalıptaki hortumlardan biri reçine kabına, diğeri ise vakum pompasına bağlanmıştır. Sistemdeki hava sızdırmazlığı sağlandıktan sonra vakum pompası ile reçine akışı sağlanmıştır. Bununla birlikte, reçine güçlendirici malzemeye emdirilmiştir. Bu işlem tamamlandıktan sonra, sistem negatif basınç altında iken dış ortamdan izole edilmesi için kalıbın giriş ve çıkışındaki hortumlar, kelepçe yardımıyla kapatılmıştır. Şekil 4'de vakum infüzyon işlemi ile kompozit levha üretimi görülmektedir.



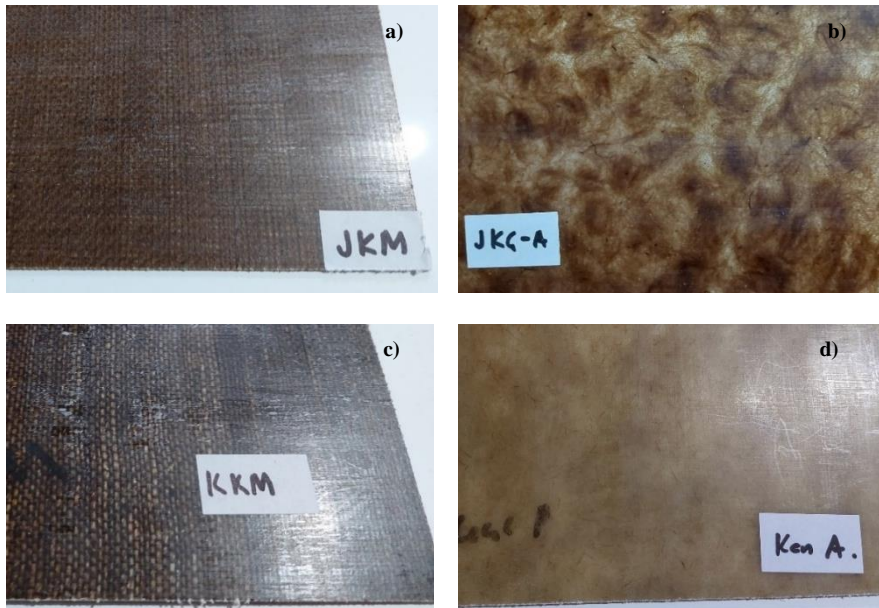
Şekil 4. Vakum infüzyon işlemi

Reçinenin tamamen kürleşmesi için kalıp dış ortamdan izole bir şekilde 24 saat bekletilmiştir. Reçinenin kürleşmesi ile birlikte kompozit levhanın üretimi tamamlanmıştır. 24 saatin sonunda kompozit levha sarf malzemeler ve kalıptan ayrılmış, test edilmek üzere uygun ebatlarda kesime hazırlanmıştır. Şekil 5. a) JKM, b) JKÇ-A, c) KKM ve d)KKÇ-A olmak üzere farklı güçlendirici malzemelerden üretilen levhalar gösterilmektedir.

2.4. Örneklerin Testi

Kompozitlerin yoğunlukları ASTM D 792 (2004) standardına uygun olarak yapılmıştır. Örneklerin yoğunluklarının belirlenmesinde 4x13x25 mm boyutlarında 5'er adet numune kullanılmıştır.

Su alma miktarının belirlenmesinde ASTM D 570 98 (2018) numaralı standartta belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Üretilen kompozitler su dolu bir kapta, kısa ve uzun süreli olarak bekletilmiştir. Örneklerin ağırlıkları; ilk hafta boyunca her gün, daha sonra birinci ay haftada bir defa ve 6 ay boyunca ayda bir defa ölçülmüştür. Her örnek grubu için 4500 saatlik ölçüm yapılmıştır.



Şekil 5. a, b, c ve d'de farklı güçlendirici malzemelerden elde edilen levhalar [JKM (jüt kumaş), JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), KKM (kenevir kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe)]

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama ve darbe direnci testleri yapılmıştır. Test numuneleri, ilgili standartlara uygun olarak daire testere yardımı ile kesilmiştir. Eğilme direnci ve elastikiyet modülünün belirlenmesinde ASTM D 790 (2004) standartlarına göre belirtilen esaslara uyulmuştur. Çekme direnci, elastikiyet modülünün ve kopmada uzama belirlenmesinde ASTM D 638 (2004) numaralı standartlarda belirtilen esaslara uyulmuştur. Eğilme ve Çekme testleri Zwick/Roell Z010 Universal test makinesinde, üretilen kompozit levhalardan 2-3x13x165 mm boyutlarında kesilmiş örnekler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Darbe direnci testi ASTM D 256 (2002) standardına göre yapılmıştır. Örneklerin çentikleri Polytest RayRan çentik açma makinesinde açılmış ve testler Zwick/Roell HIT 5.5P makinesinde yapılmıştır.

Üretilen kompozit levhaların güçlendirici malzeme oranları; kompozit levhanın metrekare ağırlığı ile, kullanılan güçlendirici malzemenin metrekare ağırlığı belirlenerek aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (1).

$$\text{Güçlendirici malzeme oranı} = \frac{\text{Güçlendirici malzeme m}^2 \text{ ağırlığı} \times 100}{\text{Kompozit levha m}^2 \text{ ağırlığı}} \quad (1)$$

2.5. Dataların analizi

Elde edilen veriler SPSS (IBM SPSS 20.0) programı kullanılarak istatistik analizleri yapılmıştır. Levha türü kombinasyonunun fiziksel ve mekanik özellikler üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla ANOVA basit varyans analizi uygulanmıştır. Ayrıca bu grupların ortalamaları arasındaki farklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

3. Bulgular

Çalışma kapsamında, epoksi-doğal lif kompozitlerinin üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve üretilen kompozitlerin su alma miktarı, güçlendirici oranı, çekme, eğilme, darbe dirençleri ve yoğunluk değerleri test

edilmiştir. Test edilen örnekler için belirlenen mekanik ve fiziksel özelliklere ait ortalama değerler Çizelge 2’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Belirtilen değerlere ait veriler bar grafiklerinde gösterilmiştir ve bu grafikler Şekil 6, Şekil 7, Şekil 9, Şekil 11 ve Şekil 12’de verilmiştir. Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre yapılan gruplandırmalar bar grafikleri ile birlikte verilmektedir.

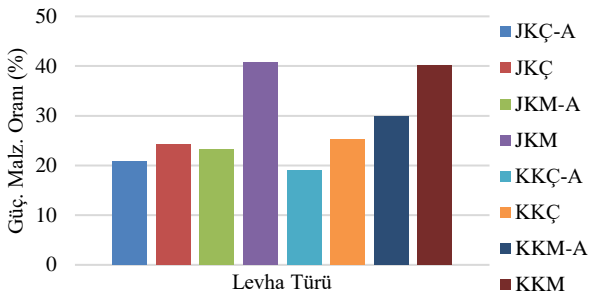
Bu çalışmada; yapılan üretimin sonucunda elde edilen grupların farklı oranlarda güçlendirici malzeme içerdiği belirlenmiştir. Bunun sebebi; vakum infüzyon yöntemi ile örnek kalınlığının sabit tutulmaması ve değişkenlerin güçlendirici malzemenin hacminde oluşturduğu farklılıklardır. Vakum infüzyon yöntemi ile yapılan üretimde kompozit levhanın kalınlığını güçlendirici malzeme belirlemektedir. Sabit ağırlık ve alana sahip güçlendirici malzemelerde kalınlık arttıkça yoğunluk azalmış ve boşluk miktarı artmıştır. Boşluk miktarının artmasının sonucunda; vakum infüzyon ile güçlendirici malzemeye çekilen reçinenin miktarı artmış ve güçlendirici malzeme oranı azalmıştır. Güçlendirici malzemedeki boşluk miktarının azalmasıyla ise, güçlendirici malzeme oranında artış görülmektedir. Üretilen kompozit örneklerdeki güçlendirici malzeme oranları Şekil 6’da verilmiştir.

Üretilen kompozitlerde eşit ölçülerde kesilmiş, aynı ağırlıktaki güçlendirici malzemeler kullanılmıştır. Dokuma kumaş ve keçe karşılaştırıldığında, dokuma kumaşın çok daha ince olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda dokuma kumaşlarla üretilen örneklerde daha yüksek güçlendirici malzeme oranı görülmektedir. Liflere uygulanan alkali işleminin güçlendirici malzeme oranını azalttığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak; alkali işleminin lifleri saçaklandırması ve birbirinden ayırması ile güçlendirici malzemenin hacmini ve boşluk oranını artırması olduğu düşünülmektedir. Chaitanya vd. (2016) kompozit üretiminde kullandıkları eşit ağırlıktaki lifleri karşılaştırmış, alkali işlem uygulanan liflerin daha yüksek hacme sahip olduğunu gözlemlemiştir. Güçlendirici malzeme oranının mekanik özelliklere etki ettiği görülmüştür.

Çizelge 2. Kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklere ait ortalama değerler

Örnek Grubu	Güçlendirici oranı (%)	Çekme direnci (MPa)	Çekmede elastikiyet modülü (MPa)	Kopmada uzama (%)	Eğilme direnci (MPa)	Eğilmede elastikiyet modülü (MPa)	Darbe Direnci (Kj/m ²)	Yoğunluk (g/cm ³)
JKÇ-A	20,85	31,54 (7,3)*	1187,42 (360,92)	3,07 (0,41)	65,26 (16,94)	3915,48 (1071,2)	5,401 (3,25)	1,143 (0,03)
JKÇ	24,21	27,88 (5,57)	1112,05 (247,05)	2,92 (0,26)	62,45 (21,48)	4074,12 (1697,3)	3,585 (0,61)	1,160 (0,02)
JKM-A	23,36	38,95 (2,32)	1661,03 (84,23)	3,06 (0,13)	53,96 (5,2)	2880,80 (441,84)	5,438 (0,49)	1,189 (0,01)
JKM	40,64	59,03 (5,08)	2495,94 (87,73)	2,83 (0,18)	74,63 (12,14)	4016,00 (317,56)	8,732 (1,0)	1,199 (0,02)
KKÇ-A	18,93	26,26 (6,22)	1158,46 (140,21)	2,74 (0,35)	55,37 (7,41)	3033,57 (573,92)	5,401 (0,64)	1,173 (0,02)
KKÇ	25,23	25,35 (4,87)	1337,31 (154,23)	2,42 (0,28)	58,72 (6,74)	3489,39 (470,97)	5,207 (0,51)	1,178 (0,02)
KKM-A	29,84	57,88 (8,08)	1879,08 (88,47)	4,11 (0,57)	92,14 (9,77)	4719,95 (356,26)	12,099 (3,08)	1,216 (0,03)
KKM	40,06	64,43 (9,95)	2127,83 (138,33)	3,65 (0,36)	94,98 (7,26)	5050,03 (293,77)	13,096 (1,72)	1,221 (0,01)

*: Parantez içindeki değerler standart sapmayı ifade etmektedir.



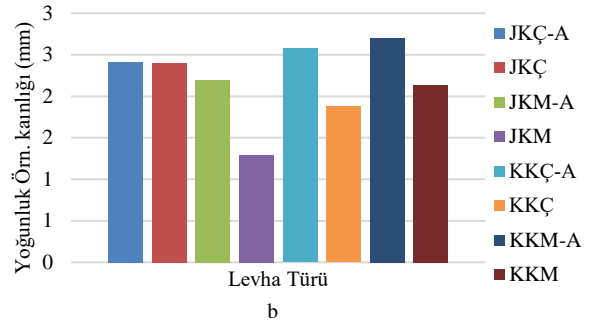
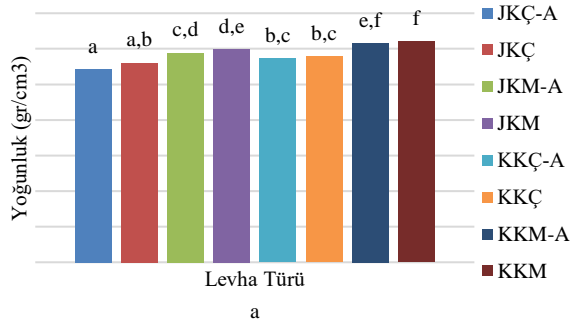
Şekil 6. Güçlendirici malzeme oranı [JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş)]

Üretilen kompozit levhalardan kesilerek elde edilen örnekler kullanılarak, yoğunluk testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre yoğunluk değerleri incelenmiş ve bar grafikleri oluşturulmuştur. Yoğunluk değerlerini gösteren bar grafiği Şekil 7a'da yoğunluk örneklerinin ortalama kalınlıkları ise Şekil 7b'de verilmiştir. Yapılan basit varyans analizine göre; levha türü kombinasyonun yoğunluk değeri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0,001$). Test

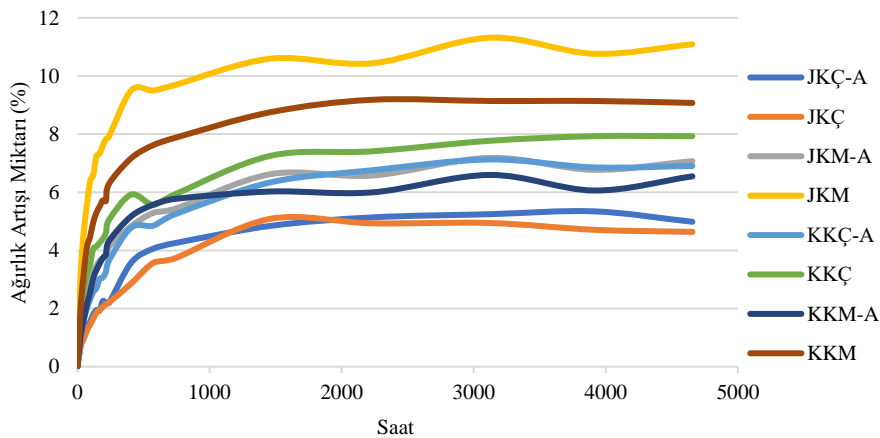
sonuçlarına göre en yüksek yoğunluk değeri $1,221 \text{ g/cm}^3$ ile KKM örneğinde, en düşük yoğunluk değeri 1.143 g/cm^3 ile JKÇ-A grubunda bulunmuştur.

Aynı güçlendirici ve lif türü kullanılan örneklerde, alkali işlem ile birlikte yoğunluğun azaldığı görülmektedir. Kenevir lifi ile üretilen örneklerde, jüt lifi kullanılan örneklere göre daha yüksek yoğunluk değerleri görülmüştür. Bunun sebebinin; kenevir lifinin jüt lifine göre daha yüksek yoğunluğa sahip olmasında kaynaklanmaktadır. Güçlendirici türü olarak dokuma kumaş kullanılan örneklerde, keçe kullanılan örneklere göre daha yüksek yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Kompozit malzeme içerisindeki güçlendirici malzeme oranının yükselmesi ile birlikte örneklerdeki yoğunluğun arttığı gözlemlenmektedir. Literatürde; kompozit örneklerdeki güçlendirici oranının artmasıyla yoğunluk değerlerinde artış belirtilmiştir (Agarwal vd., 2014; Barbhuiya vd., 2016).

Su alma test sonuçlarına göre en yüksek ağırlık artışı JKM örneğinde görülürken en düşük değer JKÇ örneğinde bulunmuştur. Örneklerin 1000 ve 4500 saatlik ağırlık artışı miktarında benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. En yüksek ağırlık artışının birinci ayda olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 8'de su alma özellikleri (%) verilmiştir.



Şekil 7. a) Yoğunluk bar grafiği b) Ortalama yoğunluk örnekleri kalınlığı (mm) [JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş)]



Şekil 8. Su alma özellikleri (%)

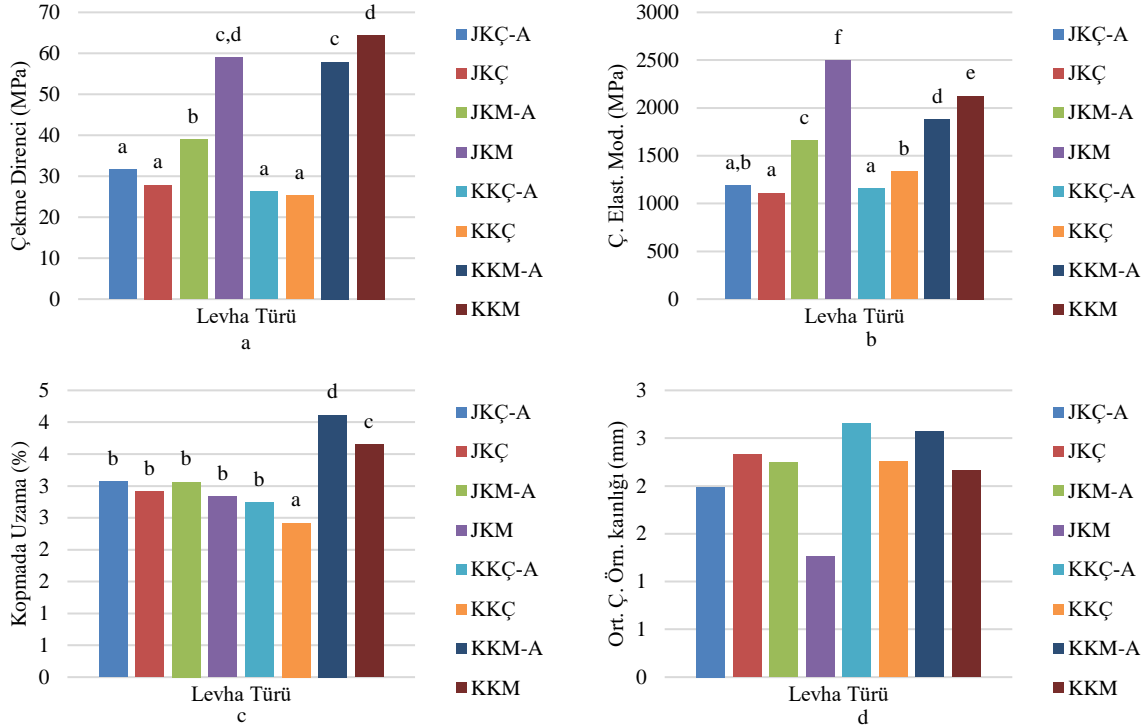
Güçlendirici türü olarak dokuma kumaş içeren örneklerde keçe içeren örnekler göre daha yüksek oranda ağırlık artışı görülmüştür. Dokuma kumaşlarda bulunan lifler baştan sona kadar kesintiye uğramadan düz bir doğrultuda bulunmaktadır. Güçlendirici malzemenin yapısından dolayı kompozit içerisinde suyun bu doğrultuda daha kolay ve hızlı ilerlediği düşünülmektedir. Keçelerde ise dokunmuş kumaşların aksine lifler dağınıktır ve matris lif yüzeylerini çok daha yüksek oranda sarar. Keçe içeren örneklerde liflerin birbirlerinden daha izole halde olmasından dolayı daha az ağırlık artışı görüldüğü düşünülmektedir. Liflere alkali uygulanan örneklerde, işlem uygulanmayan gruplara göre daha düşük oranda ağırlık artışı görülmüştür. Liflerin saçaklanması ve yüzey alanının artması sonucunda, lifler ile matris arasında daha iyi bir bağ oluşturulmuş ve polimer, liflere daha yüksek oranda nüfuz etmiştir. Polimerin hidrofobik olmasından dolayı suyun kompozit içerisinde liflere daha az nüfuz ettiği düşünülmektedir. Yew vd. (2019) liflere alkali işlemi uygulanan kompozitlerde hiçbir işlem uygulanmayan kompozitlere göre daha düşük su alma oranı görülürken, alkali işlem süresinin artışı ile birlikte su alma miktarının daha da düştüğü belirtilmiştir. Prabhu vd. (2022) alkali işleminin kompozitlerdeki su alma oranını azalttığını raporlamıştır. Test edilen örneklerde güçlendirici oranının artması ile ağırlık artışında yükselme gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin kompozitlerde bulunan daha fazla miktardaki liflerin daha yüksek miktarda su aldığı düşünülmektedir. Barbhuiya vd. (2016) yaptıkları çalışmada örneklerin lif oranı ve boyutunun artması ile su alma miktarında artış gözlemlenmiştir.

Çekme özellikleri kapsamında çekme örneklerinin kalınlığı, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve kopmada uzama değerleri incelenmiş ve bar grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 9a 'da üretilen levhaların çekme direnci değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin çekme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,001$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek çekme direnci değeri 64,427 MPa ile KKM örneğinde, en düşük çekme direnci değeri 25,345 MPa ile KKÇ örneğinde bulunmuştur. Dokuma kumaş içeren örnekler, keçe içeren örnekler göre daha yüksek çekme direnci göstermiştir. Bunun sebebinin daha düşük örnek kalınlığı sonucu olarak daha yüksek güçlendirici malzeme oranı elde edilmesi olduğu düşünülmektedir. Literatürde; güçlendirici malzeme

oranının artması ile birlikte çekme direncinin de arttığı gözlemlenmiştir (Islam vd., 2012; Scarponi vd., 2012; Barbhuiya vd., 2016; Mehdi vd., 2019; Glória vd., 2017; Kumar ve Anandh, 2017). Bununla birlikte; dokuma kumaş üretilen lifler üretilen levhanın bir kenarından diğer kenarına kadar uzanmaktadır ve keçeleri oluşturan 10mm uzunluğundaki liflerden çok daha uzundur. Literatürde lif boyutunun artması ile malzemenin çekme direncinin arttığı belirtilmiştir (Barbhuiya vd., 2016). Dokuma kumaş kullanılan kompozitler incelendiğinde; kenevir lifi içeren örnekler, jüt lifi içeren örnekler göre daha üstün çekme direnci sergilemiştir. Literatürde benzer sonuçlar görülmektedir (Kumar ve Anandh, 2017). Dokuma kumaş ile üretilen örneklerde, alkali işleminin çekme direncini düşürdüğü görülmüştür. Bu levhalarda alkali işlemi ile birlikte üretilen levhaların kalınlığı artmıştır ve güçlendirici oranı düşmüştür. Güçlendirici oranının azalması ile birlikte çekme direncinin zayıfladığı düşünülmektedir. Şekil 9d 'de ortalama çekme örnekleri kalınlığı(mm) bar grafiği verilmiştir. Jahan vd. (2020) %5 NaOH solüsyonunda liflere uygulanan alkali işleminin kompozitlerdeki çekme direncini düşürdüğünü raporlamıştır. Bunun sebebi olarak; sodyum hidroksit, liflerdeki hemiselülozu çözmesi olduğunu belirtmiştir.

Keçe içeren gruplarda liflere alkali uygulanan kompozitler daha yüksek özellikler göstermiştir. Liflere alkali işlemi uygulanan kompozitlerde, alkali uygulanmayan kompozitlere kıyasla daha düşük oranda güçlendirici oranı gözükmektedir. Buna rağmen çekme direncinin daha yüksek olduğu belirlenmiş ve alkali işleminin keçe kullanılan örneklerde çekme direncini arttırdığı gözlemlenmiştir. Literatürde alkali işlemi ile birlikte çekme direncinin yükseldiği belirtilmiştir (Asim vd., 2016; Prabhu vd., 2022).

Aynı tür lif ve güçlendirici türü içeren JKM ve JKM-A örnekleri karşılaştırıldığında çekme direnci, örnek kalınlığı ve güçlendirici oranları arasında çok ciddi bir fark görülmüştür. Bu fark, JKM-A örneğinde liflere uygulanan alkali işlemi ile ortaya çıkmıştır. Şekil 10a'da JKM ve JKM-A kompozitlerinin çekme direnci- çekme örnekleri kalınlığı etkileşim grafiği, b'de ise JKM ve JKM-A kompozitlerinin çekme direnci- güçlendirici oranı etkileşim grafiği verilmiştir. Liflere alkali işlemi uygulanması ile birlikte; çekme direnci örnekleri kalınlığı artarken güçlendirici oranın düşmüştür, bu durum çekme direncinin azalmasına sebep olmuştur.



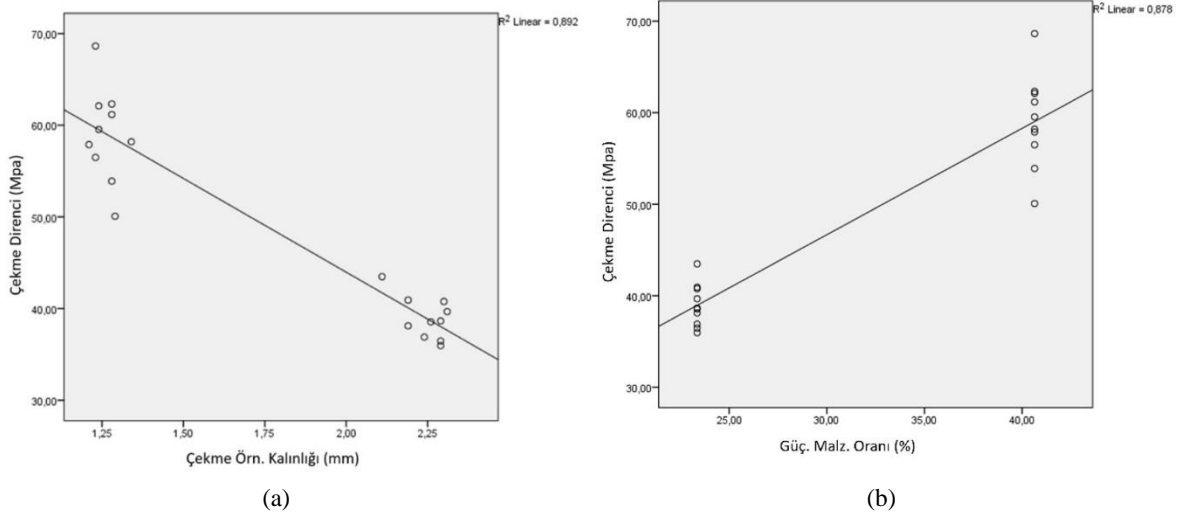
Şekil 9. Çekme özelliklerinin etkileşim grafikleri a) Çekme direnci (MPa) b) Çekmede elastikiyet. mod.(MPa) c) Kopmada uzama(%) d) Ortalama çekme örnekleri kalınlığı(mm) [JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş)]

Şekil 9b'de üretilen levhaların çekmede elastikiyet modülü değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin Ç.E.M (çekmede elastikiyet modülü) değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,001$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek Ç.E.M değeri 2127,827 MPa ile KKM örneğinde, en düşük Ç.E.M değeri 1112,045 MPa ile JKÇ örneğinde bulunmuştur. Dokuma kumaş kullanımı ile keçe kullanımına göre örneklerdeki güçlendirici malzeme oranını arttırdığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak dokuma kumaş içeren kompozitlerde daha yüksek Ç.E.M değerleri görülmektedir. Alkali işlem ile birlikte çekme örneklerinin kalınlığında artış görülmektedir. Bu durumun sonucunda, güçlendirici malzeme oranı ve Ç.E.M değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Literatürde güçlendirici malzeme oranını artması ile Ç.E.M değerlerinin arttığı raporlanmıştır (Islam vd., 2012; Scarponi vd., 2012; Agarwal vd., 2014; Kumar ve Anandh, 2017; Glória vd., 2017).

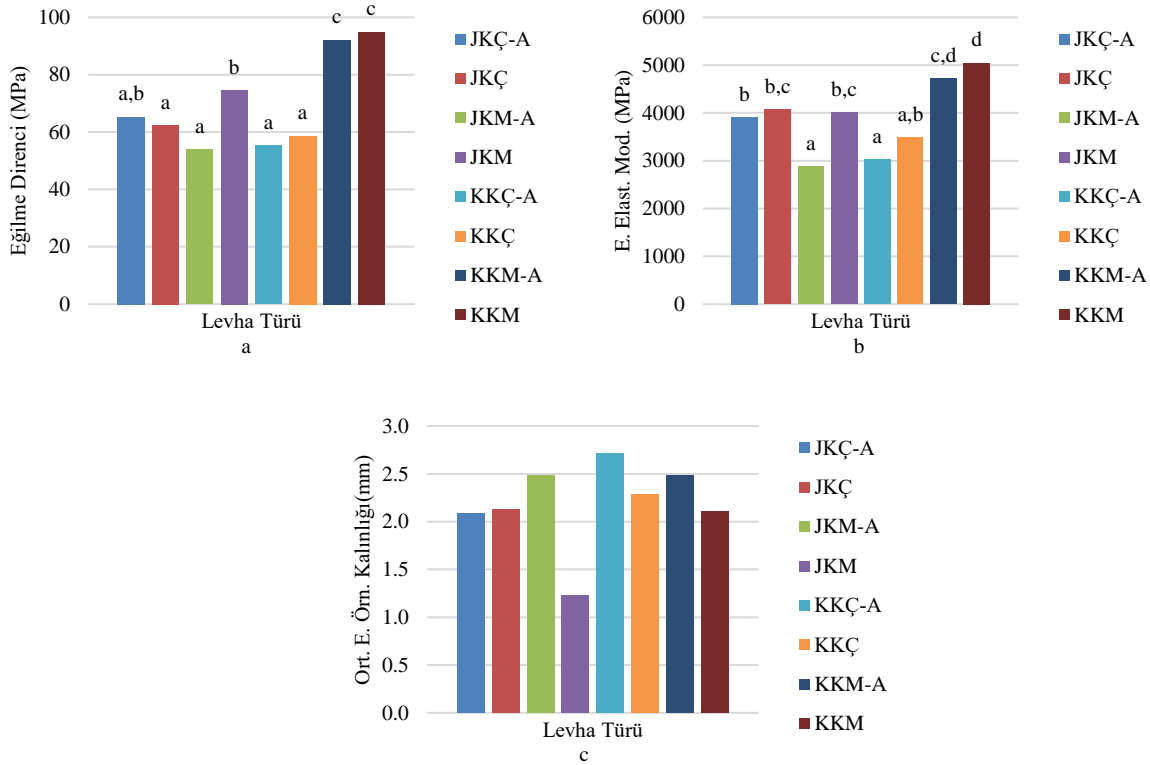
Şekil 9c'de üretilen levhaların kopmada uzama değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin kopmada uzama

değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,001$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarında en yüksek kopmada uzama oranı % 4,114 ile KKM örneğinde, en düşük kopmada uzama oranı % 2,421 ile KKÇ örneğinde görülmektedir. Jüt lifi içeren örneklerde kopmada uzama oranlarının benzer olduğu bulunmuştur. Alkali işlem ile birlikte güçlendirici malzeme oranının düşmesi sonucunda kopmada uzama değerlerinde artış görülmüştür. Eğilme direnci ve Ç.E.M değerlerinin aksine; kopmada uzama oranı güçlendirici malzeme oranının artması ile düşmüştür. Literatürde benzer sonuçlar raporlanmıştır (Islam vd., 2012; Mehdi vd., 2019).

Eğilme özellikleri kapsamında eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü incelenmiş ve bar grafikleri oluşturulmuştur. Örneklerin eğilme direnci değerini gösteren bar grafiği Şekil 11a'da verilmiştir. Yapılan basit varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin eğilme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,001$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek eğilme direnci değeri 94,981 MPa ile KKM örneğinde, en düşük eğilme direnci değeri 53,692 MPa ile JKM-A örneğinde görülmüştür.



Şekil 10. a) JKM ve JKM-A Çekme direnci- Çekme örnekleri kalınlığı etkileşim grafiği b) JKM ve JKM-A Çekme direnci-güçlendirici oranı etkileşim grafiği [JKM (jüt kumaş), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş)]



Şekil 11. Eğilme özelliklerinin etkileşim grafikleri a) Eğilme direnci b) Eğilmeye elastikiyet modülü c) Ortalama eğilme örnekleri kalınlığı (mm) [JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş)]

Kenevir lifi ile üretilen kompozitlerde, alkali işlem ile birlikte eğilme direncinin düştüğü görülmüştür. Jahan vd. (2020) alkali işlem ile birlikte eğilme direncinde düşüş raporlamıştır. Güçlendirici türüne bakıldığında; keçe yerine dokuma kumaş kullanımının eğilme direncini arttırdığı görülmüştür. Alkali işlem ve keçe kullanımıyla birlikte eğilme örneği kalınlığında artış görülmüştür. Lif oranı sabit tutulan kompozitlerde örnek kalınlığının artışı ile birlikte güçlendirici oranının azaldığı gözlemlenmektedir. Ortalama

eğilme örnekleri kalınlığı şekil 11c'de verilmiştir. Kompozit malzemedeki güçlendirici malzemenin artışı ile birlikte eğilme direncinin arttığı görülmektedir. Benzer sonuçlar literatürde belirtilmiştir (Islam vd., 2012; Barbhuiya vd., 2016; Kumar ve Anandh, 2017).

Jüt liflerinden elde edilen keçeler ile üretilen kompozitlerde; liflere alkali uygulanan örnek (JKÇ-A) işlem görmemiş örneğe (JKÇ) kıyasla daha yüksek eğilme direnci göstermiştir. Kenevir lif içeren KKÇ-A örneği ise düşük

güçlendirici malzeme oranı ile KKÇ den daha düşük değer sergilemiştir. JKÇ-A ile JKÇ örneklerinin birbirlerine yakın oranda güçlendirici malzeme içerdiği ve benzer örnek kalınlığına sahip olduğu görülmektedir. JKÇ-A örneğinin daha yüksek eğilme direnci göstermesinin alkali işleminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Alkali işlemi ile birlikte liflerin artan yüzey alanı ile birlikte daha üstün matris-güçlendirici bağı yaptığı düşünülmektedir. Alkali işlem ile birlikte eğilme direncinin yükseldiği literatürde belirtilmiştir (Kumar ve Anandh, 2017).

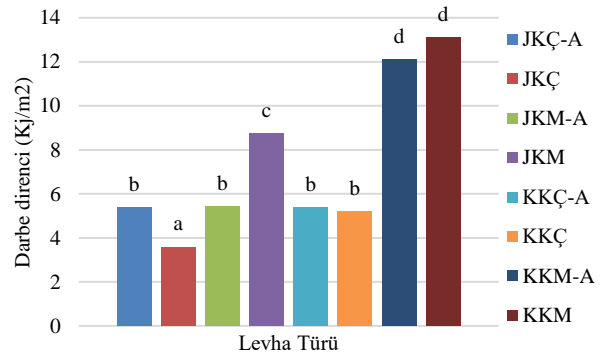
Benzer sonuçlar eğilmede elastikiyet modülü (EEM) değerinde görülmüştür. Şekil 11b'de üretilen levhaların EEM değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Yapılan basit varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin EEM değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,001$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek EEM değeri 5050,033 MPa ile KKM grubunda, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri 2880,803 MPa ile JKM-A grubunda bulunmuştur. Kenevir lifi kullanılan örneklerde alkali işleminin EEM değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin Alkali işlemi ile birlikte güçlendirici oranının azalması olduğu düşünülmektedir. Jüt lifi kullanılan örnekler bakıldığında; JKM-A örneği hariç benzer EEM değerleri görülmektedir. Duncan testine göre bu 3 örnek aynı gruplarda yer almaktadır.

Darbe direnci örnekleri incelenmiş ve bar grafikleri oluşturulmuştur. Örneklerin darbe direnci değerini gösteren bar grafiği Şekil 12'de verilmiştir. Yapılan basit varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin eğilme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,001$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek darbe direnci değeri 13,095 MPa ile KKM grubunda, en düşük darbe direnci değeri 3,585 MPa ile JKÇ grubunda bulunmuştur. Kenevir lifi kullanılan kompozitler, jüt lifi kullanılan kompozitlerden daha üstün darbe direnci göstermiştir. Güçlendirici türü olarak dokuma kumaş içeren örnekler, keçe ile üretilen örnekler göre daha yüksek darbe direnci göstermiştir. Dokuma kumaş içeren örneklerin daha yüksek uzunlukta lif içermesi nedeniyle daha üstün darbe direnci gösterdiği düşünülmektedir.

Alkali işlem ile birlikte güçlendirici oranında düşüş gözlemlenmiştir. Örlümüş kumaş kullanılan örneklerde, alkali işlem ile birlikte güçlendirici oranının düşmesi ile birlikte darbe direnci de azalmıştır. Keçe kullanılarak üretilen örneklerde, alkali işlemi ile birlikte darbe direncinde artış gözlemlenmiştir. Alkali işlemi; dokuma kumaş içeren örneklerin güçlendirici oranları üzerinde, keçe içeren örneklerle karşılaştırıldığında daha etkili olmuştur. Şekil 6'da güçlendirici oranı bar grafiği verilmiştir. Güçlendirici oranı farkının keçe içeren örneklerde daha düşük olması ile birlikte alkali işleminin darbe direncinde daha belirleyici olduğu düşünülmektedir. Dokuma kumaş kullanılan örneklerde alkali işlemi ile birlikte darbe direncinde azalma görülmektedir. Alkali işleminin güçlendirici malzeme oranını düşürdüğü belirlenmiş, bu farkın dokuma kumaş içeren örneklerde çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Güçlendirici malzeme oranı göz önüne alındığında; Güçlendirici malzeme miktarının artışıyla birlikte darbe direncinde de yükselme gözlemlenmiştir. Literatürde benzer sonuçlar görülmüştür (Barbhuiya vd., 2016; Sadaf vd., 2011; Scarponi vd., 2012).

4. Sonuçlar

Kenevir ve Jüt lifleri kullanılarak dokunmamış (keçe) güçlendirici malzemeler elde edilmiş, bununla birlikte tedarik edilen dokunmuş kumaşlar güçlendirici malzeme olarak kullanılmış ve üretim reçetesinde belirlenen gruplara alkali işlem uygulanmıştır. Bu güçlendirici malzemeler kullanılarak vakum infüzyon yöntemi ile epoksi kompozitleri üretilmiştir. Elde edilen gruplarda güçlendirici malzeme miktarları sabit tutulmamıştır. Kullanılan güçlendirici malzeme türü ve uygulanan alkali işlem elde edilen kompozitlerin güçlendirici malzeme oranına etki etmiştir. En yüksek güçlendirici malzeme oranları %40,06 ile KKM ve %40,64 ile JKM örneklerinde görülmüştür. Alkali işlem uygulaması ve keçe kullanımı ile kompozitlerin güçlendirici malzeme oranında azalma görülmüştür. Güçlendirici malzeme oranının yükselmesi ile daha yüksek mekanik özellikler gözlemlenmiştir. En yüksek çekme direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci değerleri KKM örneğinde görülmüştür. Buna karşılık en yüksek çekmede elastikiyet modülü değeri JKM örneğinde, en yüksek kopmada uzama değeri ise KKM-A örneğinde görülmüştür. Üretilen gruplardaki güçlendirici malzeme oranlarının yükselmesi ile su alma özellikleri de yükselmiştir. Bu değerler 1000. saat sonuna kadar önemli derecede yükselirken, 1000. ila 4500. saatler arasında önemli değişiklikler gözlemlenmemiştir. Alkali modifikasyonu ve keçe kullanımı ile birlikte su alma özellikleri azalmıştır. En yüksek su alma özelliği JKM grubunda gözlemlenmiştir.



Şekil 12. Darbe direnci bar grafiği [JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş)]

Açıklama

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri koordinasyon Birimi tarafından “2021/3-21D Doktora Projesi” kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

- Agarwal, K., Agarwal, K. K., Roy, S., 2014. Investigations on physical and mechanical properties of short jute fiber reinforced epoxy composites. *Frontiers in Manufacturing Engineering*, 2(1): 1–7.
- Ahmed, K. S., Vijayarangan, S., Rajput, C., 2006. Mechanical behavior of isothalic polyester-based untreated woven jute and glass fabric hybrid composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(15): 1549–1569.
- Ashori, A., 2008. Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Bioresource Technology*, 99(11): 4661–4667.
- Asim, M., Jawaid, M., Abdan, K., Ishak, M. R., 2016. Effect of alkali and silane treatments on mechanical and fibre-matrix bond strength of kenaf and pineapple leaf fibres. *Journal of Bionic Engineering*, 13(3): 426–435.
- ASTM D 256, 2002. Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 570-98, 2018. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 638, 2004. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 790, 2004. Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, PA, USA.
- ASTM D 792, 2004. Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Bahrami, M., Abenojar, J., Martinez, M. Á., 2020. Recent progress in hybrid biocomposites: mechanical properties, water absorption, and flame retardancy. *Materials*, 13(22): 5145.
- Barbhuiya, A. H., Choudhury, S. U., Ismail, K., 2016. Characteristics of murta bast fiber reinforced epoxy composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(43): 1–9.
- Bhoopathi, R., Ramesh, M., 2020. Influence of eggshell nanoparticles and effect of alkalization on characterization of industrial hemp fibre reinforced epoxy composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(8): 2178–2190.
- Chaitanya, A. K., Babu, D. K., Narendra, K. B., Sumanth, K., 2016. Investigation on the mechanical properties of banana fiber reinforced polyester composites. *International Journal of Engineering Research and Application*, 6(9): 76–82.
- Chozhan, C. K., Alagar, M., Sharmila, R. J., Gnanasundaram, P., 2007. Thermo mechanical behaviour of unsaturated polyester toughened epoxy–clay hybrid nanocomposites. *Journal of Polymer Research*, 14(4): 319–328.
- Glória, G. O., Teles, M. C. A., Lopes, F. P. D., Vieira, C. M. F., Margem, F. M., Gomes, M. de A., Monteiro, S. N., 2017. Tensile strength of polyester composites reinforced with PALF. *Journal of Materials Research and Technology*, 6(4): 401–405.
- Islam, M. R., Beg, M. D. H., Gupta, A., 2012. Characterization of alkali-treated kenaf fibre-reinforced recycled polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(7): 909–932.
- Islam, M. S., Alauddin, M., 2012. World production of jute: A comparative analysis of Bangladesh. *International Journal of Management and Business Studies*, 2(1): 14–22.
- Jahan, E., Akter, M., Hasan, M., 2020. Effect of fibre ratio and chemical treatment on the properties of pineapple leaf and betel nut husk fibre-reinforced hybrid polypropylene composites. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 6(3): 637–646.
- Jawaid, M., Abdul Khalil, H. P. S., 2011. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 86(1): 1–18.
- Jin, F.-L., Li, X., Park, S.-J., 2015. Synthesis and application of epoxy resins: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 29(1): 1–11.
- Kumar, Y., Anandh, N., 2017. Fabrication and analysis of Jute/Hemp reinforced fiber. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 3(6): 982–990.
- Li, J., Zhang, J. G., 2011. The influence of polyethylene-polyamine surface treatment of carbon nanotube on the TPB and friction and wear behavior of thermoplastic polyimide composite. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50(10): 996–999.
- Li, X., Tabil, L. G., Panigrahi, S., 2007. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1): 25–33.
- Mehdi, H., Mehmood, A., 2019. Theoretical modelling and experimental investigation on mechanical properties of natural fiber reinforced by epoxy resin matrices. *Journal of Materials Science & Surface Engineering*, 6(5): 867–871.
- Mishra, V., Biswas, S., 2013. Physical and mechanical properties of bi-directional jute fiber epoxy composites. *Procedia Engineering*, 51: 561–566.
- Mohanty, A. K., Vivekanandhan, S., Pin, J.-M., Misra, M., 2018. Composites from renewable and sustainable resources: challenges and innovations. *Science*, 362(6414): 536–542.
- Mwaikambo, L. Y., Tucker, N., Clark, A. J., 2007. Mechanical properties of hemp-fibre-reinforced euphorbia composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 292(9): 993–1000.
- Petchwattana, N., Covavisaruch, S., 2014. Mechanical and morphological properties of wood plastic biocomposites prepared from toughened poly (lactic acid) and rubber wood sawdust (*Hevea brasiliensis*). *Journal of Bionic Engineering*, 11(4), 630–637.
- Pickering, K. L., Efenfy, M. G. A., Le, T. M., 2016. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83: 98–112.
- Prabhu, R., Mendonca, S., D’Souza, R., Bhat, T. N., 2022. Effect of water absorption on the mechanical properties of alkaline treated bamboo and flax fiber reinforced epoxy composites. *Trends in Sciences*, 19(18): 5779–5779.
- Ray, D., Sarkar, B. K., Rana, A. K., Bose, N. R., 2001. Effect of alkali treated jute fibres on composite properties. *Bulletin of Materials Science*, 24(2): 129–135.
- Saba, N., Allothman, O. Y., Almutairi, Z., Jawaid, M., Ghori, W., 2019. Date palm reinforced epoxy composites: tensile, impact and morphological properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5): 3959–3969.
- Saba, N., Jawaid, M., Allothman, O. Y., Paridah, M., Hassan, A., 2015. Recent advances in epoxy resin, natural fiber-reinforced epoxy composites and their applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 35(6): 447–470.
- Saba, N., Tahir, P. M., Jawaid, M., 2014. A review on potentiality of nano filler/natural fiber filled polymer hybrid composites. *Polymers*, 6(8): 2247–2273.
- Sadaf, S. M., Siddik, M., Ahsan, Q., 2011. Physical and mechanical properties of jute mat reinforced epoxy composites. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 28(2): 115–121.
- Scarponi, C., Schiavoni, E., Sánchez-Sáez, S., Barbero, E. J., Sarasini, F., 2012. Polypropylene/Hemp fabric reinforced composites: manufacturing and mechanical behaviour. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 6(4): 361–369.

- Selver, E., Ucar, N., Gulmez, T., 2017. Effect of stacking sequence on tensile, flexural and thermomechanical properties of hybrid flax/glass and jute/glass thermoset composites. *Journal of Industrial Textiles*, 48(2): 494–520.
- Sinha, A. K., Narang, H. K., Bhattacharya, S., 2017. Mechanical properties of natural fibre polymer composites. *Journal of Polymer Engineering*, 37(9): 879–895.
- Song, X., Zheng, S., Huang, J., Zhu, P., Guo, Q., 2000. Miscibility, morphology and fracture toughness of tetrafunctional epoxy resin/poly (styrene-co-acrylonitrile) blends. *Journal of Materials Science*, 35(22): 5613–5619.
- Thakur, V. K., Thakur, M. K., 2014. Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. *Carbohydrate Polymers*, 109: 102–117.
- Thomsen, A. B., Bohn, V., Nielsen, K., Pallesen, B., Orgensen, M. S., 2000. Effects of chemical-physical pre-treatment processes on hemp fibers, *Bioresource Hemp*, 1-6.
- Weikart, C. M., Miyama, M., Yasuda, H. K., 1999. Surface modification of conventional polymers by depositing plasma polymers of Trimethylsilane and of Trimethylsilane + O₂. *Journal of Colloid and Interface Science*, 211(1): 28–38.
- Yew, B. S., Muhamad, M., Mohamed, S. B., Wee, F. H., 2019. Effect of alkaline treatment on structural characterisation, thermal degradation and water absorption ability of coir fibre polymer composites. *Sains Malaysiana*, 48(3): 653–659.