

Doğal lif takviyeli mantar esaslı sandviç kompozitlerin viskoelastik özellikleri

Viscoelastic properties of natural fiber reinforced cork based sandwich composites

Yekta KARADUMAN^{1*} 

¹Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Bozok Üniversitesi, Yozgat, Türkiye.
yekta.karaduman@bozok.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 26.09.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 24.04.2018

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.56492

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Doğal lif takviyeli kompozit malzemeler çevre dostu, ucuz ve sürdürülebilir malzemeler olması bakımından endüstride pek çok kullanım alanı bulmaktadır. Bu çalışmada jüt lifi takviyeli ve mantar esaslı sandviç kompozitler üretilerek viskoelastik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle jüt lifi/polipropilen (PP) karışımı dokusuz yüzey (nonwoven) kumaşlar ve PP granül kullanılarak ince jüt/PP kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen bu plakalar bir adet mantar levhanın alt ve üst yüzeyine konumlandırılarak basınç altında birleştirilmiş ve sandviç yapılar oluşturulmuştur. Üretilen sandviç yapıların viskoelastik özelliklerini belirlemek amacıyla dinamik mekanik analiz (DMA) testi gerçekleştirilmiştir. Kompozit üretiminden önce liflere uygulanan sodyum hidroksit (NaOH) işleminin kompozit mekanik özelliklerini geliştirdiği gözlemlenmiştir. Üretilen sandviç kompozitlerin inşaat sektöründe yalıtım malzemesi olarak ve ofis alan ayırma panellerinde, aynı zamanda otomotiv endüstrisinde kullanımı amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Jüt lifi, Mantar, Sandviç Kompozit, Dinamik mekanik analiz

Abstract

Natural fiber reinforced composite materials have found many applications in various industries due to the fact that they are nature-friendly, low-cost and sustainable materials. In this study, jute fiber reinforced and cork based sandwich composites were produced and their viscoelastic properties were investigated. First, thin jute/polypropylene (PP) composite plates were produced by using jute/PP nonwoven fabrics and PP granules. Then these plates were placed on top and bottom faces of a cork plate and consolidated under pressure to produce sandwich composites. Dynamic mechanical analysis (DMA) was performed to determine the viscoelastic properties of the produced samples. It was found that sodium hydroxide (NaOH) treatment of fibers before composite preparation lead to higher mechanical properties of the composites. The produced sandwich composites can be used in construction industry as insulation materials and office partition panels as well as in automotive industry.

Keywords: Jute fiber, Cork, Sandwich composite, Dynamic mechanical analysis

1 Giriş

Son yıllarda fosil kaynaklı endüstriyel malzemelerin çevresel zararları (küresel ısınma, çevre kirliliği) ve petrol rezervlerindeki azalma, bu malzemeler yerine çevre dostu ve yenilenebilir doğal malzemelerin geliştirilmesi ve kullanımı yönündeki çalışmaları artırmıştır. Bu kapsamda doğal lif esaslı polimerik kompozit malzemelere olan ilgi otomotiv, inşaat ve paketleme gibi sektörlerde giderek artmaktadır [1]-[5]. Bilhassa geleneksel cam lifi takviyeli kompozitlerin yerine jüt, keten, kenevir gibi doğal gövde lifi takviyeli kompozitlerin kullanımı gündemdedir [6],[7]. Doğal lifler yenilenebilir, doğada biyolojik olarak parçalanabilir ve sürdürülebilir malzemelerdir. Aynı zamanda, doğal lifler büyüme sırasında atmosferdeki karbondioksit (CO₂) gazını kullandığı için çevreye ek bir sera gazı yükü getirmemektedir. Ayrıca, doğal lif kompozitleri cam lifi takviyeli kompozitlere göre daha düşük maliyet, daha az makine donanımı yıpranması, üretim sırasında daha az enerji gereksinimi, daha az sağlık ve güvenlik riski gibi özelliklere sahiptir. Yine, doğal liflerin düşük yoğunlukları nedeniyle bu malzemelerden üretilen bileşenlerde yarı yarıya hafiflik sağlanmaktadır. Mekanik özellikler değerlendirildiğinde keten ve kenevir gibi doğal liflerle takviye edilen kompozitlerin özgül mekanik özellikleri (mekanik özellik / yoğunluk) cam lifi kompozitleri ile rekabet edebilecek seviyededir [6],[7]. Sayılan avantajlarının yanında doğal lif

kompozitlerinin bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Örneğin hidrofil yapıdaki doğal liflerle hidrofob polimerler arasında arayüz uyumsuzluğu ve bunun neticesinde yetersiz yapışma görülmektedir. Bu durum lifler ile matris arasında yük iletimini negatif yönde etkilemekte ve neticede mekanik özelliklerde düşüşe yol açmaktadır. Ayrıca doğal liflerin hidrofil yapısı nedeniyle bu liflerden üretilen kompozitlerin su ve neme karşı hassasiyeti bulunmaktadır. Bu sorunların çözümü için birçok arayüz modifikasyon işlemi geliştirilmiştir. Bunların arasında alkali işlem, silan işlemi, asetilasyon, maleik anhidrit aşılama gibi işlemler örnek verilebilir. Alkali işlem çok etkili ve ucuz bir yöntem olduğu için diğer yöntemler arasında öne çıkmaktadır. Alkali işlemle doğal liflerin bünyesinde mevcut bulunan hemiselüloz, pektin gibi amorf polimerler uzaklaştırılarak yüzey pürüzlülüğü artmakta, bunun neticesinde lifler ile polimer matris arasında daha iyi bir yapışma meydana gelmektedir. Bunun sonucunda mekanik özelliklerin arttığı ve nem alımının azaldığı gösterilmiştir [8],[9]. Marques ve diğ. tekrarlı şekilde gerçekleştirilen alkali işlemin jüt/PP kompozitlerinin yapısal ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Alkali işlem sonucunda termal özelliklerin geliştiğini ve kristalizasyon derecesinin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca alkali işlemle birlikte lignin ve hemiselülozun jüt liflerinden uzaklaştırıldığı Fourier Transform Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) çalışmaları ile tespit edilmiştir. Alkali işlemle birlikte kompozitlerin mekanik özelliklerinde de gelişme kaydedilmiştir [10]. Siddika ve diğ.

%5 NaOH çözeltisi ile yapılan alkali işlem sonucunda hibrit jüt/hindistan cevizi lifi/PP kompozitlerinin eğme ve darbe mukavemetinin arttığını gözlemlemişlerdir [11]. Sudha ve diğ. jüt dokuma kumaş/vinil ester kompozitlerinde, liflere uygulanan NaOH işlemi sonucunda kompozitlerin mekanik özelliklerinin geliştiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu durumun sebebi olarak alkali işlemle birlikte jüt liflerinden lignin ve hemiselülozun uzaklaşması ve bu suretle daha iyi bir lif/matris yapışmasına bağlamışlardır [12]. Sudha ve Thilagavathi, alkali işlemle birlikte jüt/vinilester kompozitlerinin basma dayanımı ve elektrik geçirgenliğinin arttığını belirtmişlerdir [13]. Benzer birçok çalışmada alkali işlemin jüt lifi takviyeli kompozitlerin mekanik ve yapısal özelliklerinde önemli iyileşmeler ortaya çıkardığı belirtilmiştir [14]-[18].

Dinamik mekanik analiz (DMA), son yıllarda özellikle kompozit malzemelerin dinamik yük altında ve yüksek sıcaklıklarda mekanik davranışını incelemekte kullanılan etkili bir yöntemdir. DMA, doğal lif takviyeli kompozitlerin viskoelastik özelliklerinin belirlenmesinde de kullanılmıştır. Rana ve diğ. jüt/polipropilen (PP) kompozitlerinin dinamik mekanik özelliklerini incelediği çalışmada depolama modülünün (E') artan jüt içeriğiyle birlikte arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca maleik anhidrit aşılınmış PP yüzey işleminin de E' değerini artırdığı saptanmıştır [19]. Bir başka çalışmada Ray ve diğ. işlemsiz ve alkali işlem görmüş jüt/vinilester kompozitlerinin viskoelastik özelliklerini araştırmışlardır. E' değerinin NaOH ile alkali işlem görmüş kompozitlerde, işlemsizlere göre önemli derecede yüksek olduğu saptanmıştır [20]. Karaduman ve Önal, enzimatik ve alkali işlemin jüt/polyester kompozitlerinin viskoelastik özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. E' ve kayıp modülü (E'') değerlerinin alkali işlemle birlikte arttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu artışı alkali işlemle birlikte lif/matris arayüzünde daha iyi bir yapışma olmasına bağlamışlardır [21]. Shanmugam ve Thiruchitrabalam alkali işlem görmüş tek yönlü jüt/palmiye lifi hibrit kompozitlerinin statik ve dinamik özelliklerini inceledikleri çalışmada alkali işlemin E' ve E'' değerlerinde artış sağladığını belirtmişlerdir [22]. Karaduman ve diğ. dokusuz yüzey jüt/PP takviyeli kompozitlerin dinamik mekanik özelliklerini incelemişlerdir. E' ve E'' değerlerinin jüt lifi içeriğindeki artışla birlikte arttığını gözlemlemişlerdir. Alkali işlemle birlikte viskoelastik özelliklerin geliştiğini belirlemişlerdir [23].

Literatür incelemesi sonucunda, bugüne kadar jüt lifi takviyeli ve mantar esaslı kompozit malzemelerin DMA testi ile viskoelastik özelliklerinin araştırıldığı herhangi bir çalışmanın bulunmadığı görülmüştür. Bu çalışmada yeni geliştirilen, iki yüzeyinde jüt/PP dokusuz yüzey kumaşlarla takviye edilmiş kompozit plakalar ve orta katmanda mantar plaka içeren sandviç kompozit malzemelerin viskoelastik özellikleri araştırılmıştır. Jüt liflerine uygulanan alkali işlemin kompozitlerin dinamik mekanik özelliklerine etkisi irdelenmiştir. Üretilen jüt/mantar takviyeli sandviç kompozitlerin endüstriyel kullanım olanakları araştırılmıştır.

2 Malzeme ve yöntem

2.1 Kullanılan malzemeler

Yüzey plakalarının üretiminde 400 gr/m² ağırlığında, 5.4 mm kalınlığında ve ağırlıkça 60:40 jüt/PP oranına sahip jüt/PP karışımı dokusuz yüzey kumaşlar kullanılmıştır (Hindistan Teknoloji Enstitüsü, Delhi, Hindistan). Dokusuz yüzey üretimi

için iğne yoğunluğu ve iğne derinliği 150 iğne/cm² ve 12 mm'dir. Jüt ve PP lifi uzunluğu sırasıyla 51 ve 60 mm'dir.

Yüzey plakalarının üretiminde 0.92 gr/cm³ yoğunluğa ve 11 gr/10 dk. eriyik akış endeksine sahip PP granüller kullanılmıştır (Petkim, Türkiye). Tablo 1'de işlemsiz ve alkali işlemlili jüt lifi ile PP lifi ve granülün özellikleri verilmiştir.

Sandviç kompozitlerde çekirdek malzeme olarak 5 mm kalınlığında mantar plaka kullanılmıştır (Duplas, Türkiye).

Tablo 1: İşlemsiz ve alkali işlemlili jüt lifi ile PP lifi ve granülün özellikleri .

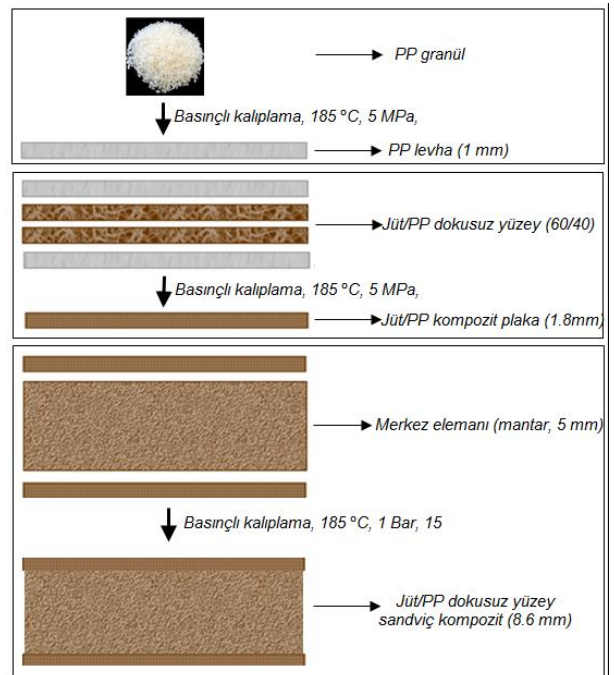
Malzeme	Çekme mukavemeti (MPa)	Young modülü (GPa)	Kopma uzaması (%)
Jüt (işlemsiz)	369	38.92	1.18
Alkali işlemlili jüt	533	42.40	1.30
PP lifi	548	1.30	30
PP granül	21.91	1.21	4.47

2.2 Alkali işlem

Jüt/PP dokusuz yüzey kumaşlar 25 cm x 25 cm ebatlarında kesilerek (kumaş ağırlığı 25.3 gr), öncelikle %2 oranında non-iyonik deterjan solüsyonu ile 70 °C sıcaklıkta 1 saat işleme tabi tutulmuştur. Daha sonra bu kumaşlar %4 NaOH çözeltisi ile 25 °C sıcaklıkta 30 dk. işlem görmüş ve daha sonra %2 oranında asetik asit ile nötralize edilmiştir. Alkali işlem şartlarının seçiminde, Saha ve diğ. tarafından en yüksek jüt lifi mukavemetini veren optimum şartlar tercih edilmiştir [24]. Son olarak kumaşlar saf su ile durularak etüvde 70 °C sıcaklıkta 8 saat kurutulmuştur. Islak işlemler sonucunda kumaş gramajı 22.1 gr olarak kaydedilmiştir. Kumaş gramajındaki yaklaşık % 12.6 oranında düşüşün nedeni olarak jüt lifinin bünyesinde bulunan kir, yağ, yabancı madde ile hemiselüloz ve ligninin uzaklaşması düşünülmüştür [12],[13].

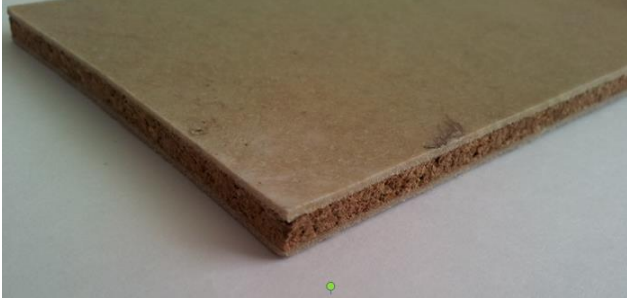
2.3 Sandviç üretimi

Şekil 1'de sandviç kompozitlerin üretim proses şeması verilmiştir.



Şekil 1: Sandviç kompozitlerin üretim proses şeması.

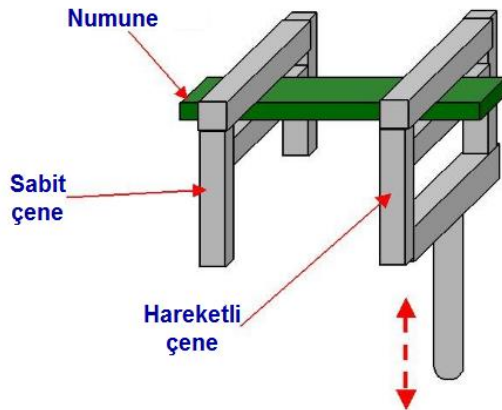
Sandviç yapıların üretimi için ilk adım olarak PP granüllerinden basınçlı kalıplama tekniği ile 2 adet 1 mm kalınlığında PP levha üretilmiştir. Daha sonra bu levhaların ortasına 2 katman halinde jüt/PP kumaş yerleştirildikten sonra yine basınçlı kalıplama makinesinde basılarak ebatlarında jüt/PP levhalar üretilmiştir. Son adım olarak yüzeylerde 2 adet 1.8 mm kalınlığında jüt/PP kompozit levha ve merkezde 5 mm mantar malzeme beraber basınçlı kalıplama makinesinde birleştirilerek 25 cm x 25 cm ebatlarında sandviç kompozit plaka üretimi tamamlanmıştır (Şekil 2). Üretilen sandviç kompozitlerde ağırlıkça mantar, jüt ve PP oranı sırasıyla %25, %10 ve %65 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2: Üretilen sandviçlerin görünümü.

2.4 Dinamik mekanik analiz (DMA)

Sandviç kompozitlerin DMA testleri Perkin-Elmer DMA 8000 cihazında tek mesnetli eğme modunda gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te tek mesnetli eğme DMA testinin görünümü verilmiştir. Bu testte, kompozit numune sabit ve hareketli çenelerin arasına sıkıştırılmaktadır. Testin başlatılmasıyla birlikte hareketli çene belli bir salınım frekansı ile aşağı-yukarı hareket ederek numuneye eğme yükü uygulamakta ve test sonucunda depolama modülü (E'), kayıp modülü (E'') ve sönümlenme parametresi ($\tan\delta$) gibi bilgileri vermektedir. Bu çalışmada DMA testleri için ASTM D4065 standardı takip edilmiştir. Testler için 30x12x8mm boyutlarında dikdörtgen kesitli numuneler kullanılmıştır. Her bir test 3 kez tekrarlanmıştır. DMA testleri 20-200°C sıcaklık aralığında ve 2 °C/dk. ısıtma hızında azot ortamında gerçekleştirilmiştir. Salınım frekansı olarak 1 Hz seçilmiştir.



Şekil 3: DMA testinin görünümü.

2.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Üretilen numunelerin lif-matris arayüzü SEM analizi ile gözlemlenmiştir. Bunun için numune kırık yüzeyleri altın-paladyum ile kaplanmış ve Leo 440 elektron mikroskobunda 10 kV voltaj altında incelenmiştir.

3 Sonuçlar ve değerlendirmeler

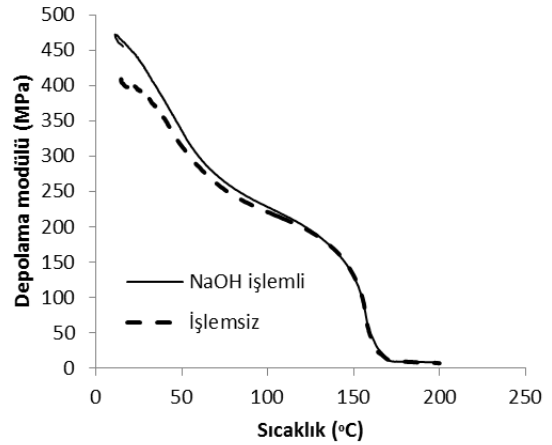
Tablo 2'de, üretilen jüt/mantar esaslı sandviçlerin dinamik mekanik özellikleri verilmiştir. Depolama modülü (E'), malzemenin elastik bölgede enerji depolama kapasitesini veren değerdir. Kayıp modülü (E''), ise malzemenin viskoz karakterini gösterir. Sönümlenme parametresi ($\tan\delta$) ise kayıp modülünün depolama modülüne oranı olup malzemenin enerji sönümlenme kapasitesini vermektedir. Maksimum depolama ve kayıp modülü değerleri incelendiğinde, jüt liflerine kompozit üretiminden önce uygulanan alkali işlemin modül değerlerinde kayda değer artışa neden olduğu görülmektedir. Depolama modülünde yaklaşık %15, kayıp modülünde ise %25 artış kaydedilmiştir. Alkali işlem ile birlikte jüt liflerinin bünyesinde bulunan pektin, hemiselüloz ve diğer düşük polimerizasyon dereceli amorf polimerler uzaklaştırılarak liflerin yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelir. Yüzey pürüzlülüğü artan lifler polimer matris ile daha iyi bir yapışma meydana getirmektedir [8]. Bu da lif/matris arayüzünü geliştirerek daha etkin bir yük dağılımı ve yüksek modül ve mukavemet değerleri vermektedir. Diğer bir faktör ise alkali işlemle birlikte jüt liflerinde meydana gelen mukavemet ve modül artışıdır (Tablo 1). Numunelerin α geçiş sıcaklığı (T_α) değerleri incelendiğinde alkali işlemli numunede geçiş sıcaklığının daha yüksek bölgelere kaydığı görülmektedir. Bu durumun sebebi alkali işlemle birlikte lif/matris arayüzündeki yapışmanın artması ile moleküler hareketliliğin kısıtlanması olarak yorumlanmıştır [23].

Tablo 2: Sandviç kompozit malzemelerin viskoelastik özellikleri.

Numune	Max E' (MPa)	Max E'' (MPa)	E' (max E'') (MPa)	$\tan\delta$ (max E'')	T_α (max E'') (°C)
İşlemsiz	409.0	18.7	397.7	0.047	12.4
NaOH	472.3	23.2	463.7	0.050	18.3

* E' : depolama modülü; E'' : kayıp modülü; $\tan\delta$: sönümlenme parametresi; T_α : α geçiş sıcaklığı.

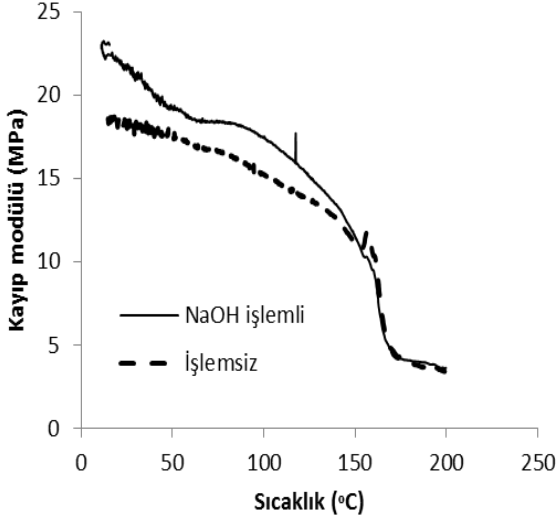
Şekil 4'te depolama modülü değerinin sıcaklığa bağlı değişimi görülmektedir. Sıcaklık artışı ile birlikte kompozitlerde modül düşüşü meydana gelmekte, yaklaşık 170 °C sıcaklıkta ise modül değeri sıfıra düşmektedir. Bu durumun nedeni PP polimerinin sıcaklıkla birlikte yumuşamasıdır [25].



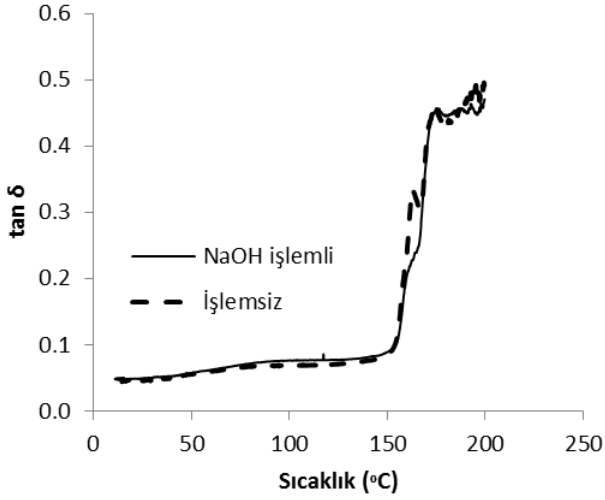
Şekil 4: Depolama modülü değerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Şekil 5'te kompozitlerin kayıp modülü değerinin sıcaklığa bağlı değişimi verilmiştir. Kayıp modülü değeri sıcaklıkla birlikte azalmıştır. Alkali işlem görmüş jüt lifleri ile takviye edilen

kompozitlerde kayıp modülünün daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 6'da ise sönümlenme parametresinin ($\tan\delta$) sıcaklığa bağlı değişimi verilmiştir. İşlemsiz ve işlem görmüş numunelerin $\tan\delta$ değerleri birbirine yakın olmakla birlikte alkali işlem görmüş numunelerde bir miktar daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5: Kayıp modülü değerinin sıcaklığa bağlı değişimi.



Şekil 6: Sönümlenme parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Şekil 7'de sandviç kompozitlerin 1000x büyütmede lif/matris arayüzü görülmektedir. Görüldüğü gibi işlemsiz numunelere göre (a) alkali işlem görmüş numunelerde (b) lif/matris arayüzünde daha iyi bir yapışma elde edilmiştir. İşlemsiz numunelerde liflerin etrafı polimer ile tamamen sarılamazken, alkali işlem görmüş numunelerde tam bir yapışma ve liflerin tamamen kaplanması dikkat çekmektedir. Alkali işlemle birlikte lif bünyesindeki pektin ve hemiselüloz polimerleri uzaklaşarak daha pürüzlü bir lif yüzeyi oluşmakta, bu da daha iyi bir lif/matris yapışması sağlamaktadır. Arayüzde görülen bu iyileşme alkali işlemlisi numunelerde görülen yüksek mukavemet değerlerini de (Tablo 2) açıklar niteliktedir. Zira alkali işlemle birlikte arayüz kalitesindeki artış beraberinde daha iyi bir yük dağılımı ve dinamik yükün zayıf matristen yüksek mukavemetli liflere daha etkili aktarılmasını sağlamaktadır. Bu da alkali işlem görmüş numunelerde daha yüksek mukavemet değerlerine neden olmaktadır.



(a)

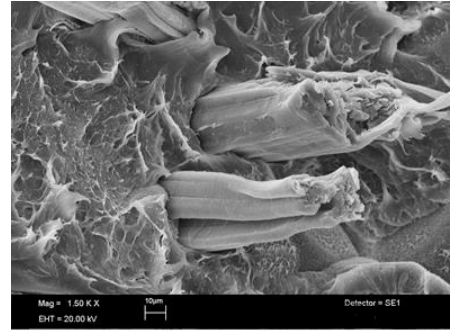


(b)

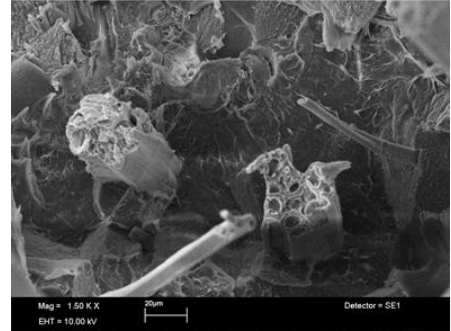
Şekil 7: Kompozit arayüz SEM fotoğrafları 1000x büyütme.

(a): İşlemsiz, (b): Alkali işlemlisi.

Şekil 8'de sandviç kompozitlerin 1500x büyütmede işlemsiz (a) ve alkali işlemlisi (b) numunelerin lif/matris arayüzü görülmektedir. Benzer şekilde alkali işlem görmüş numunelerde daha iyi bir lif/matris yapışması gözlemlenmiştir. İşlemsiz numunelerde liflerin etrafında oyuk bölgeler olmasına karşın alkali işlemlisi numunelerde lifler ve matrisin tamamen yapıştığı gözlemlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 8: Kompozit arayüz SEM fotoğrafları 1500x büyütme,

(a): İşlemsiz, (b): Alkali işlemlisi.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada dokusuz yüzey jüt lifi/PP karışımı kumaşlar ve mantar plaka kullanılarak sandviç kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozitlerin viskoelastik özellikleri incelenmiş, bu özelliklere liflere uygulanan alkali işlemin etkileri araştırılmıştır. Alkali işleme birlikte kompozitlerin depolama modülü, kayıp modülü ve sönümleme parametresi değerlerinde artış meydana gelmiş, geçiş sıcaklığı değerleri daha yüksek seviyede tespit edilmiştir. Bu durum alkali işleme birlikte lif/matris yapışmasındaki gelişmeye bağlanmıştır. SEM analizi, lif/matris arayüz yapışmasındaki bu gelişmeyi kanıtlar niteliktedir. Zira alkali işlemlerinde çok daha kaliteli bir lif/matris yapışması gözlemlenmiştir. Netice olarak, jüt/PP takviyeli, mantar esaslı sandviç kompozitlerin hafif ve sağlam yapılar olarak otomotiv ve inşaat olmak üzere pek çok endüstri dalında kullanım potansiyeli taşıdığı değerlendirilmiştir.

5 Kaynaklar

- [1] Bledzki AK, Gassan J. "Composites reinforced with cellulose based fibres". *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 24(2), 221-274, 1999.
- [2] Mohanty AK, Misra M, Hinrichsen G. "Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview". *Macromolecular Materials and Engineering*, 276-2771-24, 2000.
- [3] Faruk O, Bledzki AK, Fink HP, Sain M. "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010". *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552-1596, 2012.
- [4] Bledzki AK, Faruk O, Sperber VE. "Cars from bio-fibres". *Macromolecular Materials and Engineering*, 291(5), 449-457, 2006.
- [5] Mehta G, Mohanty AK, Thayer K, Misra M, Drzal LT. "Novel biocomposites sheet molding compounds for low cost housing panel applications". *Journal of Polymers and the Environment*, 13(2), 169-175, 2005.
- [6] Wambua P, Ivens J, Verpoest I. "Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics?". *Composites Science and Technology*, 63(9), 1259-1264, 2003.
- [7] Joshi S V., Drzal LT, Mohanty AK, Arora S. "Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), 371-376, 2004.
- [8] Onal L, Karaduman Y. "Mechanical characterization of carpet waste natural fiber-reinforced polymer composites". *Journal of Composite Materials*, 43(16), 1751-1768, 2009.
- [9] Karaduman Y, Onal L. "Water absorption behavior of carpet waste jute-reinforced polymer composites". *Journal of Composite Materials*, 45(15), 1559-1571, 2011.
- [10] De Fatima V, Marques M, Melo RP, Da S. Araujo R, Do N. Lunz J, De O, Aguiar V. "Improvement of mechanical properties of natural fiber-polypropylene composites using successive alkaline treatments". *Journal of Applied Polymer Science*, 132(12), 1-12, 2015.
- [11] Siddika S, Mansura F, Hasan M, Hassan A. "Effect of reinforcement and chemical treatment of fiber on The Properties of jute-coir fiber reinforced hybrid polypropylene composites". *Fibers and Polymers*, 15(5), 1023-1028, 2014.
- [12] Sudha S, Thilagavathi G. "Effect of alkali treatment on mechanical properties of woven jute composites". *Journal of the Textile Institute*, 107(6), 691-701, 2016.
- [13] Sudha S, Thilagavathi G. "Analysis of electrical, thermal and compressive properties of alkali-treated jute fabric reinforced composites". *Journal of Industrial Textiles*, 47(6), 1407-1423, 2018.
- [14] Lakshmanan A, Ghosh RK, Dasgupta S, Chakraborty S, Ganguly PK. "Optimization of alkali treatment condition on jute fabric for the development of rigid biocomposite". *Journal of Industrial Textiles*, 47(5), 640-655, 2018.
- [15] Shanmugam D, Thiruchitrabalam M. "Influence of alkali treatment and layering pattern on the tensile and flexural properties of Palmyra palm leaf stalk fiber (PPLSF)/jute fiber polyester hybrid composites". *Composite Interfaces*, 21(1), 3-12, 2014.
- [16] Zafar MT, Maiti SN, Ghosh AK. "Effect of surface treatment of jute fibers on the interfacial adhesion in poly(lactic acid)/jute fiber biocomposites". *Fibers and Polymers*, 17(2), 266-274, 2016.
- [17] Sathishkumar S, Suresh A V, Nagamadhu M, Krishna M. "The effect of alkaline treatment on their properties of Jute fiber mat and its vinyl ester composites". *Materials Today: Proceedings*, 4(2, Part A), 3371-3379, 2017.
- [18] Gunti R, Ratna Prasad A V., Gupta AVSSKS. "Preparation and properties of successive alkali treated completely biodegradable short jute fiber reinforced PLA composites". *Polymer Composites*, 37(7), 2160-2170, 2016.
- [19] Rana a K, Mitra BC, Banerjee a N. "Short jute fiber-reinforced polypropylene composites: Dynamic mechanical study". *Journal of Applied Polymer Science*, 71(4), 531-539, 1999.
- [20] Ray D, Sarkar BK, Das S, Rana AK. "Dynamic mechanical and thermal analysis of vinylester-resin-matrix composites reinforced with untreated and alkali-treated jute fibres". *Composites Science and Technology*, 62(7-8), 911-917, 2002.
- [21] Karaduman Y, Onal L. "Dynamic mechanical and thermal properties of enzyme-treated jute/polyester composites". *Journal of Composite Materials*, 47(19), 2361-2370, 2013.
- [22] Shanmugam D, Thiruchitrabalam M. "Static and dynamic mechanical properties of alkali treated unidirectional continuous Palmyra Palm Leaf Stalk Fiber/jute fiber reinforced hybrid polyester composites". *Materials and Design*, 50(1), 533-542, 2013.
- [23] Karaduman Y, Sayeed MMA, Onal L, Rawal A. "Viscoelastic properties of surface modified jute fiber/polypropylene nonwoven composites". *Composites Part B: Engineering*, 67(1), 111-118, 2014.
- [24] Saha P, Manna S, Chowdhury SR, Sen R, Roy D, Adhikari B. "Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam treatment". *Bioresource Technology*, 101(9), 3182-3187, 2010.
- [25] Joseph P, Mathew G, Joseph K, Groeninckx G, Thomas S. "Dynamic mechanical properties of short sisal fibre reinforced polypropylene composites". *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*, 34(3), 275-290, 2003.