

Yüzey Modifikasyonu Yapılmış Isırgan Otu Lifi Takviyeli Polyester Kompozit Üretimi ve Mekanik Özellikleri

Emel Ceyhun SABİR^{*1}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 04.11.2019

Kabul tarihi: 30.07.2020

Öz

Bu çalışmada, bir tekstil lifi olarak bilinen ısırgan otu lifi takviyeli polyester kompozit malzeme üretilmiş ve malzemenin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Isırgan otu elyafının yüzeyi %1, %3, %5 ve %10 dört farklı oranda NaOH alkali işlemle aşındırılmıştır. Elyafın matrise takviye oranı sabit tutulmuş olup, %30 oranındadır. Lifler boyu yönde taranmış ve şerit formunda kompozit içerisine yerleştirilmiştir. Kompozit malzemeler plakalar halinde RTM teknolojisi ile üretilmiştir. Takviye elemanının kompozitin Çekme dayanımı, 3 nokta eğilme dayanımı ve darbe dayanımına etkileri araştırılmıştır. Isırgan elyafına uygulama alkali işlemin (NaOH) çekme dayanımı düşürdüğü ancak eğme ve darbe dayanımını iyileştirdiği görülmüştür. Çalışma, ısırgan otunun elyaf formunda %30 oranında kompozit malzemede takviye elemanı olarak kullanılabilceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Isırgan otu lifi, Yüzey değişikliği, Mekanik özellikler, Polyester reçine

Production and Mechanical Properties of Surface Modified Nettle Fiber Reinforced Polyester Composite

Abstract

In this study nettle fiber which known as a textile fiber reinforced polyester composite material was produced and the mechanical properties of the material were investigated. The surface of the nettle fiber was abraded by 1%, 3%, 5% and 10% NaOH in four different ratios. The reinforcement ratio of the fiber to the matrix is kept constant and 30%. The fibers were scanned in the longitudinal direction and placed in the ribbon-shaped composite. Composite materials are produced with plates as RTM technology. Tensile strength of the reinforcement element, 3-point bending strength and impact strength were investigated. It has been observed that the alkali treatment (NaOH) applied to nettle fiber reduces the tensile strength but improves the bending and impact strength. The study has been shown that stinging nettle fiber can be used as a reinforcing composite material.

Keywords: Composite, Nettle fiber, Surface modification, Mechanical properties, Polyester resin

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Emel Ceyhun SABİR, emelc@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, gerek mekanik özelliklerinin üstünlüğü olması ve gerekse hafif olması nedeniyle teknolojik olarak üstün ve dayanıklı malzemelerdir. Kompozit birden çok bileşenden oluşan kompleks bir yapıdır. Kompozit malzeme mekanik avantajlarının yanı sıra üretim tekniklerinden dolayı genel olarak ucuz bir malzeme türü değildir. Kompozit en genel haliyle takviye elemanı (lif, kumaş vb. gibi) ve yapıştırıcı elemandan (matris) oluşur. Matris, lifleri bir arada tutan, kayma güçlerini yayan, kaplama olarak işlev gören [1] ve özellikleri sıcaklığa göre değişen termoset (polyester, vinilester, epoksi, poliüretan, fenolik) veya termoplastik (polietilen, polipropilen, polistiren) reçinelerdir. Lif takviyeli kompozitlerde lifler; yapıya sertlik, dayanım, termal stabilite ve diğer yapısal özellikleri kazandıran yapısal bir birimdir [2]. Geleneksel kompozitlerde takviye elemanı olarak yapıya yüksek mukavemet ve modül değerleri kazandıran cam, aramid, kevlar ve karbon gibi yüksek performanslı lifler tercih edilmektedir [3]. Son yıllarda, polimer matrislere cam lifi dışında güçlendirici olarak doğal liflerin kullanımına yönelik çalışmalarda artışlar görülmektedir. Doğal liflerin ucuz, hafif, kolay elde edilebilir olması takviye özelliklerinin araştırılmasında en önemli nedenlerdir. Doğal lifler takviye malzemesi olarak,

toz, kısa lif, liften mamul iplik ve iplikten dokunmuş kumaş şekillerinde kullanılabilir. Bir kompozit malzemenin özelliğini genel olarak lif özellikleri, reçine özellikleri, kompozitteki lif-reçine oranı, kompozitteki lif geometrisi ve yerleşimleri [3], lif-matris çekimi ve ara yüzdeki yük transferi [4] gibi parametrelerin belirlediği düşünülmektedir. Kompozite takviye özelliği taşıyan doğal lifte beklenen önemli iki özellik, kopma uzamasının ve nem alma kapasitesinin (hidrofilite) düşük olmasıdır. Doğal liflerle ilgili kompozit üründeki en istenmeyen özellik hidrofilik olmalarıdır [5,6].

Doğal liflerin takviye elemanı olarak kullanımına yönelik çalışmalar pek çoktur. Bu çalışmada ısırgan otu lifinden kompozit malzeme üretimi araştırılmıştır. Avrupa’da bir tekstil hammaddesi olarak ısırgan otu lifi kullanımı, pamuktan bile öncedir [7]. İsrırgan otu lifi, pamuktan daha mukavemetli ve ketenden ise daha incedir. Bu lifler, sulama ve zirai ilaç bakımından pamuktan daha çevre dostudur. İsrırgan lifinin iki türüne kompozit üretiminde çok rastlanır. Bunlardan birisi European nettle *Urtica dioica* ve diğeri Himalayan nettle *Girardinia diversifoli*’dur [8,9]. Çizelge 1, Elyaf mekanik özellikleri açısından kompozit kullanılan doğal lifleri karşılaştırmaktadır.

Çizelge 1. Seçilmiş doğal liflerin kompozit malzeme için önemli özellikleri [8]

Elyaf özellikleri	E-cam	Keten	Kenevir	Jüt	Kenaf	İsrırgan otu
Yoğunluk kg/m ³ (ρ)	2550	1530	1520	1520	1193	–
Elastisite modülü (GPa)	71	58	70	60	14–38	87 ± 28
Çekme dayanımı (MPa)	3400	1339	920	860	240	1594
Özgül modül ($E/1000\rho$)	28	38	46	39	12–32	–
Kopma uzaması (%)	3,4	3,27	1,7	2	–	2,11
Nem alma (%)	–	7	8	12	–	–

İsrırgan otu lifi ile ilgi geçmişten bu yana yapılan çalışmalar vardır. Bacci ve arkadaşları [10]’na göre ısırgan lifleri çapta, lignin içeriğinde ve uzamada kenevir liflerine ve gerilme dayanımında ise keten ve pamuğa benzetmişlerdir. Sap bölümleri arasında bulunan farklı fiziksel-mekanik özellikler dikkate alındığında sapların

yukarı kısımlarının tekstil endüstrisi için kullanılabileceği düşünülmüştür. İsrırgan lifinin yoğunluğu 0,72 g/cm³’dir. Bu yoğunluk değeri kenevir, pamuk ve diğer liflere göre oldukça düşüktür ve bu daha hafif ürünleri mümkün kılmaktadır. Bacci ve arkadaşları [11] kimyasal havuzlama, suda havuzlama, mikrobiyolojik ve

enzimatik metotları ile ısırgan otu lifini elde etmeye çalışmışlardır. Tüm saplar ve mekanik olarak ayrıştırılmış liflerin mikrobiyolojik havuzlanması ile suda havuzlamadan daha yüksek kalitede lifleri üretmiştir. Huang [12] ısırgan lifinin uzunluk, incelik, gerilme dayanımı ve nem absorpsiyon yeteneğini araştırmıştır. Araştırmalar ısırgan liflerinin çoğunun 20-70 mm uzunluk ve 15-40 mikron incelik aralığında, yün, pamuk ve diğer pek çok gövde lifi ile karşılaştırıldığında nem emme yeteneklerinin özel lif yapısından dolayı daha yüksek olduğunu ve sıklıkla kullanılan doğal liflerin yerine kullanılabilceğini göstermiştir. Bu özellik tekstil materyali olarak iyi bir özellik olsa da kompozit malzeme için olumlu bir özellik değildir. Eğirme denemeleri saf ısırganın pürüzsüz yüzeyi ve düz yapısından dolayı saf ısırgan lifi ile iplik üretmenin pratikte mümkün olmadığını göstermiştir. Fakat diğer uygun lifler ile karışım ipliklerinin eğrilebileceği sonucu çıkarılmıştır. Bodros ve Baley [13] ısırgan liflerinin ilgi çekici gerilme özelliklerine sahip olduğunu ve kompozit malzemelerde takviye bileşeni olarak kullanılabilceğini göstermek istemişlerdir. Cam lifi ile karşılaştırıldığında ısırgan liflerinin daha sert olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Pauksza ve arkadaşları [14], polipropilen matrisli ısırgan otu (*urtica duocia*) takviyeli kompoziti ekstrüzyon metodu ile üretmişlerdir. ısırgan otu lifinin PP matris içinde güçlü özellikler gösterdiğini bulmuşlardır. Bajpai ve arkadaşları [15] ise ısırgan otu-polipropilen kompozitin soğuk, güneşli, yağ, nehir suyu ve toprak gibi çeşitli çevre koşulları karşısında gerilme dayanımlarını araştırmışlardır. En büyük etkinin güneşli ve nehir suyunda olduğunu, en az etkilenmenin ise toprakta olduğunu bulmuşlardır.

Merila [16] ısırgan otu lifi takviyeli epoksi ve fenolik kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. ısırgan otu lifleri tek yönlü, herhangi bir modifikasyon işlemi uygulanmadan kompozitte kullanılmıştır. Ağırlıkça %24 ısırgan otu lifi takviyeli epoksi kompozitlerinin gerilme dayanım ve sertliği, ağırlıkça %21 keten lifi takviyeli epoksi kompozitlerinin gerilme dayanımı ve sertliğinin

yaklaşık yarısı kadar değerler vermiştir. Ağırlıkça %23 ısırgan otu lifi takviyeli fenol kompoziti saf epoksiden daha düşük gerilme dayanımı ve sertlik değeri vermiştir. Mikroskopik araştırmalar lif-matris arası çekimin fenolün epoksiye göre daha iyi olduğunu göstermiştir. Fischer ve arkadaşları [17] %20, 30, 40 ağırlık oranında ısırgan otu lifi takviyeli polilaktasit (PLA) ve %30 ağırlık oranında ısırgan otu lifi takviyeli polipropilen kompozitlerini lif modifikasyonu yapmadan, liflerin boyuna yönde hizalanması suretiyle elde etmiştir. En fazla takviye etkisini %30 ağırlık oranını ile boyuna yönde ısırgan otu-PLA kompozitleri (%60'lık bir etki) göstermiştir. Eğilme modülü için tüm ısırgan otu-PLA kompozitleri takviye etkisi göstermiştir. Bajpai ve arkadaşları [18], PLA ve Polipropilen matrislerle sisal ve ısırgan otu lifi ipliklerinden dokunmuş kumaşlarla takviye edilmiş kompozitlerin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır.

Doğal lif takviyeli kompozitlerde ara yüzey modifikasyonları yapılarak elde edilecek kompozitlerin performans özelliklerini geliştirmeyi amaçlayan çalışmalar da literatürde yer almaktadır [19-33]. Karaduman [34]'a göre, "NaOH ile alkali işlem ekonomik ve etkili olması bakımından doğal lif kompozitlerinin ara yüz modifikasyonunda çok yaygın olarak kullanıldığını göstermiştir. Alkali işlemle lif yüzeyindeki yağlar, hemiselüloz ve pektinin tamamı ile ligninin bir kısmı uzaklaşarak daha pürüzlü ve fibrilli bir lif yüzeyi elde edilir Dolayısıyla matris maddesi ile mekanik bağlanma için lifin toplam yüzey alanı artar. Bu da adhezyonu ve lif-matris ara yüzünün kalitesini artırır". ısırgan otu lifinin elde edilme koşulları ve ısırgan otu liflerinden elde edilebilecek ürünlerle ilgili bilgi olmakla beraber, ara yüzey modifikasyonu yapılarak ısırgan otu lifi takviyeli kompozit üretimiyle ilgili çalışmaya rastlanmamıştır veya kısıtlıdır. Yüzey modifikasyonu yapılmamış ısırgan otu lifinin, matrise, boyuna yönde yerleştirilmesinin kompozitin mekanik özellikleri iyileştirdiği ortaya konulmuştur [17]. Bu çalışmada yüzey modifikasyonu yapılmış ve yapılmamış şeklinde ısırgan otu lifi takviye olarak kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada takviye malzemesi olarak ısırgan otu lifi kullanılmıştır. Kullanılan ısırgan otu lifi, Nepal menşelidir. Projede kompozit matris elemanı olarak polyester reçinenin kullanılmasına karar verilmiştir. Polyester reçine Polipol 336 kodlu olup Poliya A.Ş./Türkiye firmasından temin edilmiştir. Kalıp ayırıcı olarak yine Poliya A.Ş.'den Polivaks alınmıştır.

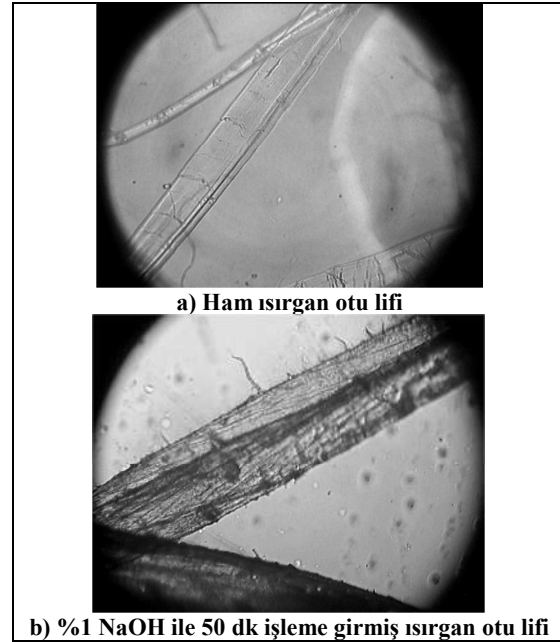
2.2. Metot

2.2.1. İsrırgan Otu Yüzey Modifikasyonu

Doğal liflerin matrisle daha iyi bir birleşme sağlaması amacıyla yüzey modifikasyonu işlemleri uygulanabilmektedir. İsrırgan otu elyafı takviyeli kompozit malzeme üretimi için öncelikli olarak ısırgan otu elyafına alkali uygulanmasına karar verilmiştir. Bu işlemlerle ısırgan otu liflerinin de kimyasal işlemler ile matris malzemeye karşı olan uyumluluğunun artırılması ile güçlü bir takviye etkisi oluşturacağı düşünülmektedir. Çalışmada, ısırgan otu lifine yüzey modifikasyon işlemleri içerisinde gerek etkili olması ve gerekse ucuz olması nedeniyle sıklıkla kostik soda, NaOH, alkali işlem kullanılmaktadır.

Literatürde farklı oranlarda uygulanabildiği görülmekle beraber bu oran genellikle %0-10 arasında değişmektedir. Bu çalışmada, NaOH, %3, %5 ve %10 oranlarında seçilmiştir. Buna göre ısırgan otu lifi, yüzey işlemi görmemiş ve yüzeyi alkali işlemlerle (NaOH) pürüzleştirilmiş şekilde kullanılmıştır. Bu numune lifler üzerindeki yağ ve kirlerin uzaklaştırılması için ön işlem olarak yıkama yapılmıştır (Yıkama ve Kuru Temizleme Haslık Makinesi ve Tüpleri, Gyrowash). Yapılan işlemlerde ısırgan otu lif numuneleri için ağırlıklar 5 g olarak belirlenmiştir. Yıkamada %2 noniyonik deterjanla yıkama tüplerinde saf su ile 60 °C'de 1 saat yıkama işlemi yapılmıştır. Yıkanan lifler saf su ile durulanmıştır. Lif tutamları hiç su damlatmayacak şekilde el ile sıkılmış ve elyaf örneklerinin ıslak ağırlıkları kaydedilmiştir. Son olarak elyaf örnekleri 80 °C'deki etüvde 80 dk

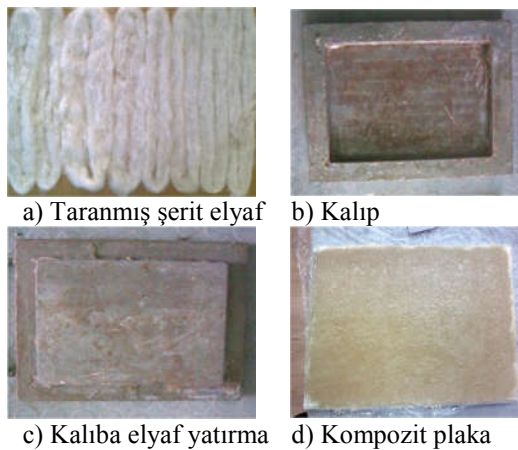
kurutulmuştur. Kuru elyaf ağırlıkları kaydedildi. Ön izlenim vermesi açısından yıkanmış ve kurutulmuş bir adet ısırgan otu elyaf numunesi oda sıcaklığında %1 alkali çözeltisinde 0. dk, 10. dk, 20. dk, 30. dk, 40. dk, 50. dk ve 60. dk işlem gördükten sonra elyafın mikroskopik kesit ve yüzey görüntüleri incelenmiştir (Şekil 1). İşlem süresinin beklendiği gibi elyaf yüzey pürüzlülüğünü zamanla artırdığı gözlemlenmiştir. Kurutulmuş elyaf numuneleri oda sıcaklığında, %3, %5 ve %10 olmak üzere 3 farklı alkali konsantrasyonda, 1 saat bekletilmiştir. İşlem sonunda elyaf numuneleri %2 seyreltik asetik asit çözeltisi ile nötralize edilmiştir. Lifler üzerinde bulunan alkali atıklar uzaklaşana kadar saf su ile yıkama işlemi yapılmıştır. Yıkanan elyaf numuneleri 80 °C'deki etüvde 80'dk süreyle kurutulmuştur. Ön işleme tabi tutulmuş ısırgan otu elyafı numuneleri numune şerit hazırlama makinesinde (Microdust Trash Analyzer MDTA3/Bossa A.Ş./Adana/Turkey) şerit haline getirilmiştir. Elyaf numuneleri arasında bulunan yabancı maddeler bu aşamada ayrıştırılmış ve lifler paralelleştirilmiştir.



Şekil 1. (a) Alkali işlemsiz (b) NaOH alkali işlemleri, ısırgan otu lifine ait mikroskop görüntüleri (x500)

2.2.2. Kompozit Plaka Üretimi

Kompozit malzeme içerisinde takviye elemanının ağırlıkça hangi oranda kullanılacağı da araştırma konularındandır. Doğal lifli takviyeli kompozit çalışmalarında ağırlıklı olarak %30 takviye malzemesi kullanımının yaygın olduğu görülmüştür. Bu nedenle çalışmada ısırgan otu lifinin kompozit içerisinde %30 oranında kullanılmasına karar verilmiştir. NaOH çözeltisi ile işleme girmiş liflerden oluşan her lif numunesi %30 oranında takviye oranında polyester reçineye uygulanmış ve başarılı şekilde kompozit üretilebilmiştir. Lifler belirlenen kalıba yerleştirilmeden önce oluşacak kompozit plakanın kalıptan kolay ayrılması için jelkot kullanılmıştır. Hava kabarcığı oluşumunu önlemek (çatlak oluşumunu engelleyecektir) ve reçinenin homojen dağılımını sağlamak için bir rulo yardımıyla reçinenin bütün liflere yayılması sağlanmıştır. Üretim yöntemi olarak RTM teknolojisi kullanılmıştır (Şekil 2). Burada polyester 100 g, Kobalt 0,03 g ve MEKP kalıp ayırıcı 2 g olarak kullanılmıştır. Isırgan otu lifinin şerit hali Şekil 2a'da, kullanılan kalıp Şekil 2b'de görülmektedir. Kalıp alt ve üst şeklinde iki parçadan oluşmakta olup şerit ısırgan otu elyaf (Şekil 2a) ve reçine bu kalıp içerisine yerleştirilmektedir. Kompozit plaka soğuk preste 8 saat bekletilmiş ve Şekil 2d'de görüldüğü şekilde elde edilmiştir.



Şekil 2. Kompozit plaka yapımında kullanılan kalıp (2 parça) ve üretilen kompozit plaka

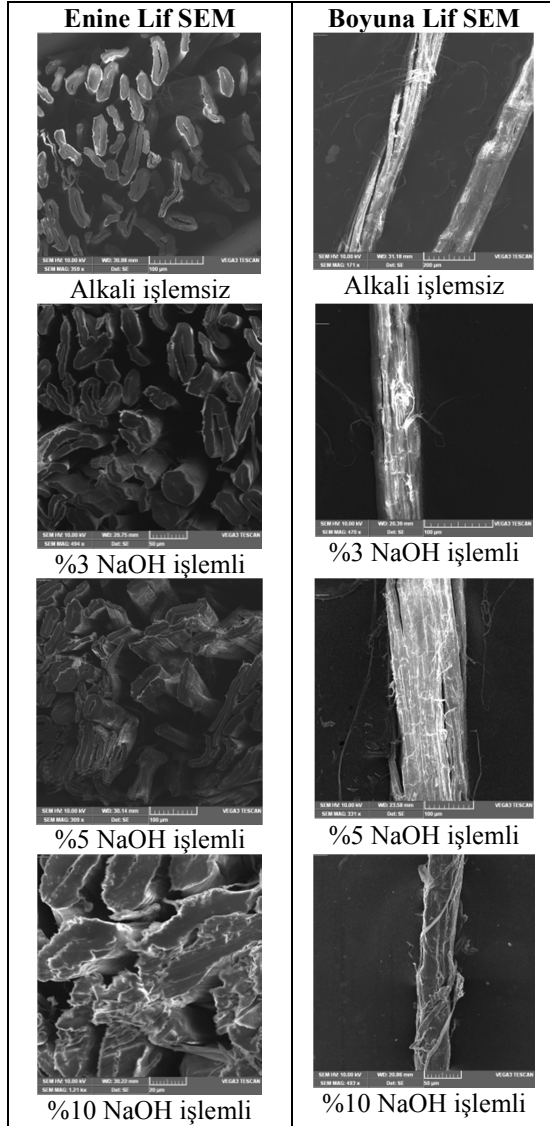
2.2.3. Mekanik Testler

Üretilen kompozit plakalara 3 adet mekanik test uygulanmıştır. Çekme Dayanımı Testi, ASTM D 638 standardına göre yapılmaktadır. Çekme Hızı 5 mm/dk ve çeneler arası mesafe 115 mm alınmıştır (Zwick/Roell Z010). 3 nokta Eğilme (eğme) Dayanımı Testi, ASTM D 790 standardına göre yapılmıştır (Zwick/Roell Z010). İzod Çentikli Darbe Dayanım Testi ise ASTM D 256 standardına göre yapılmıştır (Zwick/Roell HIT 5,5, Salınım Açısı 148). Tüm testlerde ortam sıcaklığı 21 °C'dir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Isırgan Otu Elyafı ile İlgili Bulgular

Isırgan otu, Kompozit malzemenin takviye bileşenidir. Kompozit içerisindeki oranı ağırlıkça %30'dur. Isırgan otu lifini takviye malzemesi olarak kullanırken 4 farklı örnek oluşturulmuştur. Bu örneklerden ilki ısırgan otu lifinin yüzeyinin herhangi bir işlem görmemiş halidir ve referans numunedir. Bunun dışında %3, %5 ve %10 şeklinde 4 farklı yüzey modifikasyonu işlemi uygulanmıştır. İşlemsiz ve yüzeyi pürüleştirilen ısırgan otu elyafının SEM görüntüleri lifin enine ve boyuna kesitleri için alınmıştır. Şekil 3, işlem görmemiş enine ve boyuna ısırgan otu lif görüntülerini göstermektedir. Lifin mikroskobik görüntülerine bakıldığında NaOH alkali işlemin lif kesitinde ciddi modifikasyona neden olduğu görülmüştür. Özellikle enine kesit görüntülerinde lifin katmanlara ayrıldığı, bütünlüğünün bozulduğu gözlenmiştir. Boyuna lif görüntülerinde en dikkat çeken kısım gövdeden ayrılan fibril lifli yapılardır. NaOH işleminin lif üzerindeki aşındırıcı etkisi görülebilmiş olup bu çalışmanın ana hedeflerinden birisidir. Yüzey aşındırma işleminin deneyde uygulanan NaOH işlemleri ile sağlanabildiği görülmüştür.

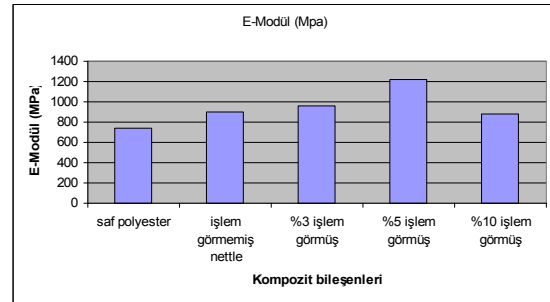


Şekil 3. Farklı konsantrasyonlarda NaOH Alkali işlemi uygulanmış ısırgan otu lifinin enine ve boyuna kesit SEM görüntüleri

3.2. Mekanik Özelliklere ait Bulgular ve Değerlendirme

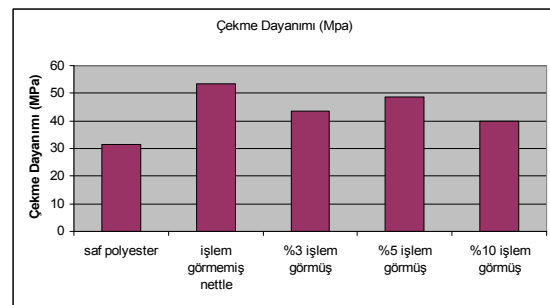
Kompozit malzemelerde elastisite modülü (E-Modül) çok önemlidir. Saf polyester de dahil olmak üzere E-Modül karşılaştırması için Şekil 4 incelenebilir. Burada öncelikle ısırgan otu takviyesinin saf polyesterin E-modülüne katkı

sağladığı görülmektedir. Tespit edilen E-Modül, cam lifli destekli kompozitlere göre daha düşüktür. Ancak, yine de ısırgan otu lifleri takviye etkisi gösterebilmiştir. Şekilden %5 işlem görmüş ısırgan otu lifli kompozitin en yüksek E-Modüle sahip olduğu görülmektedir. Yüzey işlemi uygulanmadığında E-Modül’de kayda değer bir artış görülmemiştir.



Şekil 4. Kompozit plakaların elastisite modülü

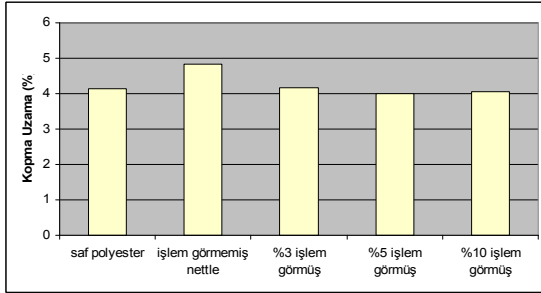
Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri içerisinde en önemli yeri Çekme dayanımı alır. Saf Polyester ile kompozitlerin çekme dayanımı karşılaştırması Şekil 5’den görülebilir. Burada ısırgan otu takviyesinin saf polyesterin çekme dayanımını artırdığı görülmektedir. ısırgan otu içeren kompozitler içerisinde işlem görmemiş ve sonrasında da %5 işlem görmüş ısırgan otu lifli kompozitin en yüksek çekme dayanımına sahip olduğu fark edilmektedir.



Şekil 5. Kompozit plakaların çekme dayanımı

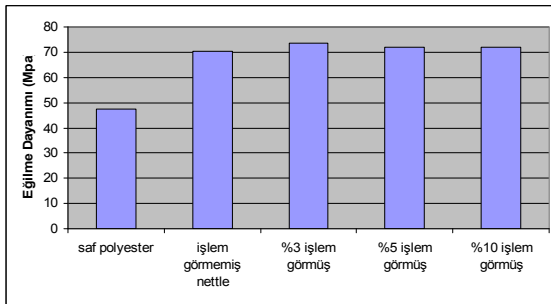
% kopma uzaması kompozit malzemeler için öncelikle bakılan bir test olmasa da boyutsal kararlılık ve rijitlik ölçüsü için önemlidir. Burada Şekil 6’da kopma uzamasında da işlem görmemiş

ısırgan otu lifi destekli kompozit yüksek kopma uzamasına sahip olarak görülmüştür.



Şekil 6. Kompozit plakaların % kopma uzaması

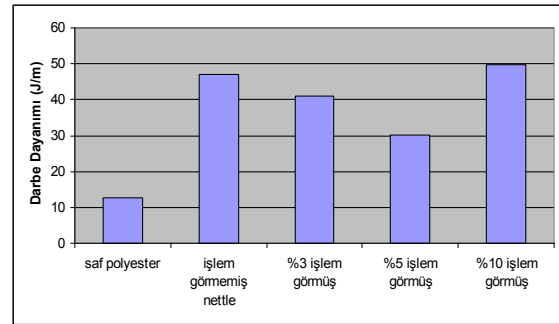
Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinden olan eğilme dayanımı, özellikle lif takviyeli kompozitlerde incelenmektedir. Saf polyester plaka ile kompozit plakaların eğilme dayanımı karşılaştırması Şekil 7'den görülebilir. Burada ısırgan otu takviyesinin saf polyesterin eğilme dayanımını dikkate değer ölçüde artırdığı görülmektedir. Isırgan otu içeren kompozitler içerisinde tüm ısırgan numuneleri birbirine yakın ve yüksek katkı yapmıştır. Lifler boyuna yerleştirilmesinin bu katkıda etkili olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Kompozit plakaların eğilme dayanımı

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinden bir diğeri de darbe dayanımıdır. Darbeye karşı direnç kompozit malzemenin tokluğunu ve eksene dik yüklere dayanımını gösterir. Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilir. Şekil 8, darbe direncini tüm plakalar için göstermektedir. Her ne kadar lifler kesikli ve taranmış halde olsa da, birbirinden bağımsız halde reçineye

yerleştirilmiş ise de saf polyester malzemeye göre oldukça iyi darbe dayanımı değerleri elde edilmiştir. Tüm ısırgan otu lifi destekli kompozit plakalarda doğal lif, takviye görevini yerine getirebilmiştir. Kompozit numuneler içinde darbe dayanımı en iyi olan bileşim işlem görmemiş lif numunesi ile %10 alkali işlem görmüş lifli numunedir. Bu iki sonuç birbiri ile çelişiyor gibi görünmektedir. Çünkü işlem görmemiş ısırgan otu doğal saf kendi halinde liftir. %10 alkali işlem görmüş olan ise en fazla deformasyona uğratılmış lif grubudur. %10 alkali işlem görmüş liflerin kesit görünüşleri önceki bölümlerde incelenmiştir. Bu liflerin oldukça yüksek deformasyona uğraması nedeniyle lifsi yapıların pek çoğunun lifin boyuna yönde serbest kaldığı ve lif demeti şeklinde hareket ettiği düşünülmektedir. Bu durumun darbe dayanımını artırmış olabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 8. Kompozit plakaların darbe dayanımı

Araştırma bulguları literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılırken ağırlıklı olarak %30 elyaf takviyesi ve reçinenin polyester olmasına dikkat edilmiştir. Çizelge 2, elde edilen sonuçların içinde mekanik özelliklerin en iyi değerlerini ve literatürden seçilmiş çalışmalarla karşılaştırmaları göstermektedir [35-38]. Bu çalışmalarda matris polyester, takviyeler ise doğal elyaftır. Doğal elyaf takviye oranlarının %25-%50 aralığında olduğu görülmektedir. %5 ısırgan otu lifli Kompozit; e-modülünde sisal ve keten elyafa yakın bir değer göstermiş olup pamuk ve jüt lifinden değer olarak kötüdür. Çekme dayanımında; sisal ve keten dan daha iyi, pamuk ve jütten daha kötü değer göstermiştir. Kopma uzamasında; sisale göre daha çok uzayan bir davranış göstermiştir.

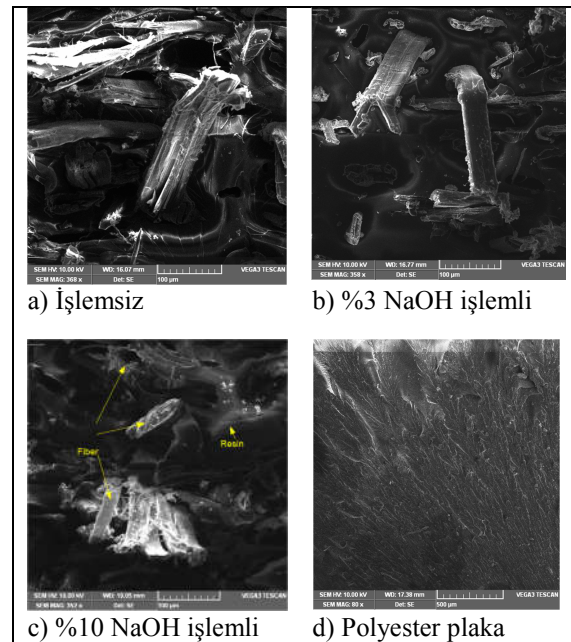
Çizelge 2. Bu çalışmadaki kompozit malzeme ile literatürden seçilmiş doğal lif takviyeli polyester kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı incelenmesi

Kompozit	E-Modül (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma uzama (%)	Eğilme dayanımı (MPa)	Darbe Izod dayanımı (J/m)	Darbe (Izod) İş (J)	Referans
Saf polyester	738,00	31,388	4,148	47,34	12,54	0,0738	Bu çalışmada
Aşındırılmamış ısriganotu lifi-polyester, (elyaf oranı %30)	897,80	53,322	4,846	70,246	47,02	0,2460	✓
%3 NaOH ile Aşındırılmış ısriganotu lifi-polyester, (elyaf oranı %30)	963,40	43,362	4,178	73,716	41,03	0,2150	✓
%5 NaOH ile modifiye ısriganotu lifi-polyester, (elyaf oranı %30)	1223,20	48,696	4,006	72,141	30,28	0,2040	✓
%10 NaOH ile Aşındırılmış ısriganotu lifi-polyester, (elyaf oranı %30)	884,83	39,876	4,05	72,144	49,78	0,2550	✓
Jüt-Polyester, sıcak kürlleme, (elyaf oranı %55)	2435 ± 884	78,15±7,45	5,04± 0,72				[35]
Sisal-Polyester, (elyaf oranı %50)	1150,00	29,66	9,52	59,570			[36]
Keten-Polyester, (elyaf oranı %25)	1112,00	19,40	6,10				[37]
Pamuk-Polyester, (elyaf oranı %35)	4000,00	72,00					[38]

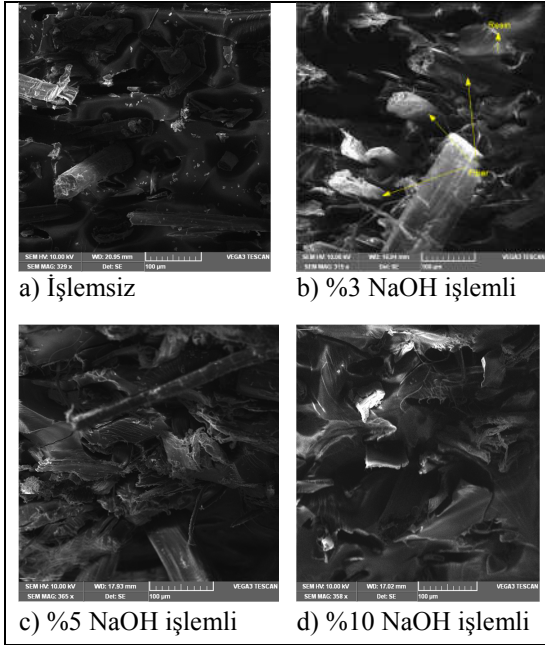
3.3. Kompozitle İlgili SEM Analizi

Çalışmada elde edilen kompozit plakalardan test yöntemine uygun olarak alınan numunelerin kesit görüntüleri de incelenmiştir. Bu görüntülerde %100 polyester plaka da numune olarak alınmış ve takviye malzemesinin polyester içerisindeki durumu daha iyi analiz edilmeye çalışılmıştır. Kompozit mekanik test numunelerinin SEM görüntüleri üzerinden yorumlar sırasıyla verilmiştir. Şekil 9a-b-c-d, çekme testindeki SEM görüntülerinde alkali işleme liflerin daha çok pürüzlendiği ve matris içinde işlemsiz liflere göre daha fazla kırılıp dağıldığı görülmüştür. İşlemsiz ısriganotu kompozitte çekme dayanımı diğer örneklerle göre daha iyi olduğu görülmüştür. SEM analizinde de kırılmamış daha rijit liflerin çoğunlukta olması bu sonuçla uyumludur. Şekil 10a-b-c-d, üretilen kompozitlerin 3 nokta eğilme testi uygulaması sonrasında alınan SEM görüntülerinde alkali işleme liflerin reçineye daha iyi yapıştığı ve eksene dik yükleri karşılamada daha iyi performans sağladığı görülmüştür. Burada SEM analizinde liflerin kırılma yüzeylerindeki durumu görülmektedir. Liflerde eksene dik uygulanan yük altında parçalanmadan kopma

şeklinde bir davranış görülmektedir. Bu durum eğme dayanımında lif katkısının yüksek olmasını doğrulamaktadır.

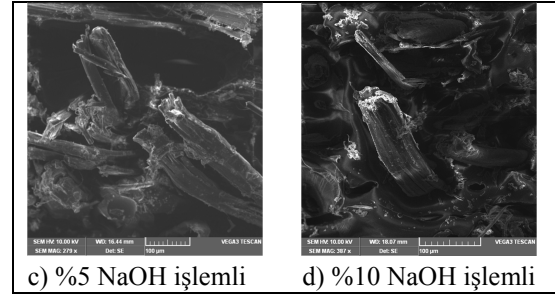
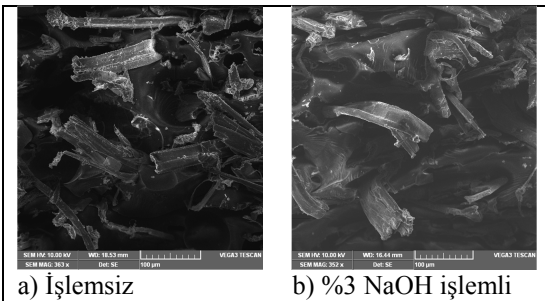


Şekil 9. Kompozit plakaların çekme testi sonrası SEM görüntüleri



Şekil 10. 3 Nokta eğilme test numunelerinin SEM görüntüleri

Şekil 11a-b-c-d'de verilen SEM görüntüleri kırılma yüzeylerindeki durumu göstermektedir. Darbe dayanımı deneyinde lifli üretilen kompozitlerin darbe dayanımı oldukça yüksek çıkmıştır. Darbe yükü, çekicinin deney numunesine çarpması şeklinde uygulanmaktadır. Kesitte bu şekildeki yüke dayanımda lifsi uzamalar saçaklanmış parçalanmış görüntüler dikkati çekmektedir. Liflerin eksene dik gelen darbe yüküne direnç gösterdikleri genel görünümünden anlaşılmaktadır. Parçalanmış kesit düz ve parlak olsaydı liflerin direnç göstermediği söylenebilirdi.



Şekil 11. Darbe test numunelerinin SEM görüntüleri

4. SONUÇ

Bu çalışmada ısırgan otu doğal lifi destekli polyester kompozit plakalar üretilmiştir. Lifler polyester plaka için boynuna yönde ve tarak şeriti halinde yerleştirilmiştir. Bu durumda üretilen plakanın en iyi mekanik dayanımı darbe dayanımında görülmüştür. Daha sonra eksene dik yüklenen eğilme dayanımının iyi olduğu, en son çekme modülü ve çekme dayanımının geldiği görülmüştür. Takviyenin doğal lif ve kesikli (sürekli) halde olması nedeniyle çekme dayanımının diğer dayanımlardan daha az çıkması doğal karşılanmıştır. Yine de işlem görmemiş ısırgan otu lifi destekli olan kompozit plakaların çekme dayanımının (53,32 MPa), saf polyester plakanın çekme dayanımından (31,4 MPa) daha iyi değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Isırgan otu elyafına uygulanan alkali işlemin, kompozitin çekme dayanımını düşürdüğü ancak eğme ve darbe dayanımını iyileştirdiği görülmüştür. Isırgan otu lifinin kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılabilmesi zaten ucuz olan polyesterde %30 oranındaki ilaveyle bile daha iyi mekanik özellikler kazandırabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince desteklenmiştir (Proje kodu: FED-2015-4350). Projenin ön bulguları Romanya'daki 15th World Textile Conference, AUTEX2015'de poster bildirisi şeklinde sunulmuştur.

6. KAYNAKLAR

1. Riedel, U., Nickel, J., 1999. Natural Fibre Reinforced Biopolymers as Construction Materials New Discoveries, *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 272, 34–40.
2. Arıcasoy, O., 2006. Kompozit Sektör Raporu, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
3. Mazumdar, S.K., 2002. Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering, CRC Press, New York.
4. Saheb, D.N., Jog, J.P., 1999. Natural Fiber Polymer Composites: A Review, *Advances in Polymer Technology*, 18(4), 351-363.
5. 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.
6. Davies, G.C., Bruce, D.M., 1998. Effect of Environmental Relative Humidity and Damage on the Tensile Properties of Flax and Nettle Fibres, *Textile Research Journal*, 68(9), 623-629.
7. Vogl, C.R., Hartl, A., 2003. Production and Processing of Organically Grown Fiber Nettle (*Urtica dioica* L.) and its Potential Use in the Natural Textile Industry: A Review, *American Journal of Alternative Agriculture*, 18(3), 119-128.
8. Summerscales, J., Dissanayake, N.P.J., Virk, A.S., Hall, W., 2010. A Review of Bast Fibres and Their Composites. Part 1 - Fibres as Reinforcements, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(10), 1329-1335.
9. Singh, S.C., Shrestha, R., 1987. Extraction and Chemical Analysis of Himalayan Nettle Fibre, *Research and Industry*, 32(4), 259–262.
10. Bacci, L., Baronti, S., Predieri, S., di Virgilo, N., 2008. Fiber Yield and Quality of Fiber Nettle (*Urtica Dioica* L.) Cultivated in Italy, *Industrial Crops and Products*, 29, 480-484.
11. Bacci, L., Lonardo, S.D., Albanese, L., Mastromei, G., Perito, B., 2010. Effect of Different Extraction Methods on Fiber Quality of Nettle (*Urtica dioica* L.), *Textile Research Journal*, 81(8), 827–837.
12. Huang, G., 2005. Nettle (*Urtica cannabina* L) Fibre, Properties and Spinning Practice, *Journal of the Textile Institute*, 96(1), 11-15.
13. Bodros, E., Baley, C., 2008. Study of the Tensile Properties of Stinging Nettle Fibres (*Urtica Dioica*), *Materials Letters*, 62, 2143-2145.
14. Paukszta, D., Ma Nkowski, J., Kołodziej, J., Szostak, M., 2013. Polypropylene (PP) Composites Reinforced with Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.) Fiber, *Journal of Natural Fibers*, 10, 147–158.
15. Bajpai, P.K., Meena, D., Vatsa, S., Singh, I., 2013. Tensile Behavior of Nettle Fiber Composites Exposed to Various Environments, *Journal of Natural Fibers*, 10(3), 244-256.
16. Marila, A.J. 2010. Ms Thesis, Materials and Manufacturing Engineering/Polymer Engineering, MSc Programmes in Engineering Materials Technology (EEIGM)/2000:235, (ISSN 1402-1617/ISRN LTU-EX--00/235--SE /NR 2000:235), Lulea University of Technology, Sweden, <http://epubl.luth.se/1402-1617/2000/235/index-en.html> (Erişim: 11th Dec 2015)
17. Fischer, H., Werwein, E., Graupner, N., 2012. Nettle Fibre (*Urtica dioica* L.) Reinforced Poly (Lactic Acid): A First Approach, *Journal of Composite Materials*, 46(24), 3077–3087.
18. Bajpai, P.K., Singh, I., Madaan, J., 2012. Comparative Studies of Mechanical and Morphological Properties of Polylactic Acid and Polypropylene Based Natural Fiber Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(24), 1712–1724.
19. Gassan, J., Bledzki, A.K., 1999. Possibilities for Improving the Mechanical Properties of Jute/Epoxy Composites by Alkali Treatment of Fibres, *Composites Science and Technology*, 59(9), 1303-1309.
20. Prasad, S.V., Pavithan, C., Rohatgi, P.K., 1983. Alkali Treatment of Coir Fibres for Coir–Polyester Composites, *Journal Material Science*, 18, 1443-1454.
21. Sydenstricker, T.H.D., Mochnaz, S., Amico, S.C., 2003. Pull-Out and Other Evaluations in Sisal Reinforced Polyester Biocomposites, *Polymer Testing*, 22, 375-380.

22. 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.
23. Jacob, M., Thomas, S., Varughese, K.T., 2004. Mechanical Properties of Sisal/Oil Palm Hybrid Fiber Reinforced Natural Rubber Composites, *Composites Science and Technology*, 64, 955-965.
24. Mishra, S., Mohanty, A.K., Drzal, L.T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S.K., Tripathy, S.S., 2003. Studies on Mechanical Performance of Biofibre/Glass Reinforced Polyester Hybrid Composites, *Composites Science and Technology*, 63, 1377-1385.
25. Liu, X.Y., Dai, G.C., 2007. Surface Modification and Micromechanical Properties of Jute Fiber Mat Reinforced Polypropylene Composites, *Express Polymer Letters*, 1(5), 299-307.
26. Van De Weyenberg, I., Ivens, J., De Coster, A., Kino, B., Baetens, E., Verpoest, I., 2003. Influence of Processing and Chemical Treatment of Flax Fibres on Their Composites, *Composites Science and Technology*, 63, 1241-1246.
27. Seki, Y., 2009. Innovative Multifunctional Siloxane Treatment of Jute Fiber Surface and Its Effect on the Mechanical Properties of Jute/Thermoset Composites, *Materials Science and Engineering A*, 508, 247-252.
28. Ray, D., Sarkar, B.K., Rana, A.K., 2002. Fracture Behavior of Vinylester Resin Matrix Composites Reinforced with Alkali Treated Jute Fibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 85, 2588-2593.
29. Razera, I.A.T., Frollini, E., 2004. Composites Based on Jute Fibers and Phenolic Matrices: Properties of Fibers and Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 1077-1085.
30. Cao, Y., Shibata, S., Fukumoto, I., 2006. Mechanical Properties of Biodegradable Composites Reinforced with Bagasse Fiber Before and After Alkali Treatments, *Composites: Part A*, 37(3), 423-429.
31. Van De Weyenberg, I., Chi Truong, T., Vangrimde, B., Verpoest, I., 2006. Improving the Properties of UD Flax Fibre Reinforced Composites by Applying an Alkaline Fibre Treatment, *Composites: Part A*, 37, 1368-1376.
32. Herrera-Franco, P.J., Valadez-Gonzalez, A., 2005. A Study of the Mechanical Properties of Short Natural-Fiber Reinforced Composites, *Composites: Part B*, 36, 597-608.
33. Cao, Y., Shibata, S., Fukumoto, I., 2006. Mechanical Properties of Biodegradable Composites Reinforced with Bagasse Fibre Before and After Alkali Treatments, *Composites Part A*, 37, 423-429.
34. Karaduman, Y., Gokcan, D., Onal, L., 2013. Effect of Enzymatic Pre-Treatment on the Mechanical Properties of Jute Fiber-Reinforced Polyester Composites, *Journal of Composite Materials*, 47(10), 1293-1302.
35. Dash, B.N., Rana, A.K., Mishra, H.K., Nayak, S.K., Mishra, S.C., Tripathy, S.S., 1999. Novel, Low-cost Jute-polyester Composites, Part 1: Processing, Mechanical Properties and SEM Analysis. *Polymer Composites*, 20(7), 62-71.
36. Singh, B., Gupta, M., Verma, M., 1996. Influence of Fiber Surface Treatment on the Properties of Sisal-polyester Composites. *Polymer Composites*, 17(6), 910-918.
37. Baiardo, M., Zini, E., Scandola, M., 2004. Flax Fibre-polyester Composites, *Composites: Part A*, 35, 703-710.
38. Gohil, P.P., Shaikh, A.A., 2010. Experimental Investigation and Micro Mechanics Assessment for Longitudinal Elastic Modulus in Unidirectional Cotton-polyester Composites. *International Journal of Engineering and Technology*, 2(2), 111-118.

