



## Isırgan Lifi-Fındıkkabuğu Unu İle Güçlendirilmiş Hibrit Kompozitlerin Mekanik Davranışının İncelenmesi

Kenan BÜYÜKKAYA

Giresun Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gazipaşa Yerleşkesi, 2810 Merkez/GİRESUN

### Öz

Farklı hacim oranlarında ısırgan lifi ve sabit oranda fındıkkabuğu unu takviyesi ile üretilen polimer kiriş numunelere, ısıtma işleminden sonra,  $a/W = 0,2, 0,3$  oranlarına sahip başlangıç çentikleri açıldı. Isırgan lifinin kompozit içerisindeki hacim oranları yüzde olarak 2,5, 5, 7,5 ve 10 dur. Fındıkkabuğu ununun tane büyüklüğü 0-50 $\mu$ m ve kompozit içerisindeki hacim oranı tüm numunelerde yüzde 15'dir. Çalışmada mekanik davranışlar kırılma, üç nokta eğme ve darbe testi bağlamında incelendi. Tek kenardan çentik açılmış kompozit numunelerin mode I kırılma davranışları kompakt çekme ve mekanik davranışlar üç nokta eğme testi, darbe testi uygulanarak ortaya konuldu. Çatlak açılma miktarı yüksek hızlı kamera kaydedicisi ile tesbit edildi. Eğilme testi ile eğilme modülü ve eğilme gerilmeleri belirlendi. Darbe testinden elde edilen kırık yüzeylerin sem görüntüleri ile morfolojik yapı ortaya konuldu. İlave edilen fındıkkabuğu ununun eğilme gerilmesi, kırılma dayanımı ve darbe direncini azaltırken, eğilme modülünü artırdığı gözlemlenmiştir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 11/09/2017  
Düzeltilme: 19/10/2017  
Kabul: 20/11/2017

### Anahtar Kelimeler

Fındıkkabuğu unu  
Isırgan elyafları  
Hibrit kompozit  
Mekanik Özellikler

### Keywords

Haselnut flour  
Hybrid composite  
Nettle fiber  
Mechanical properties

## Investigation Of Mechanical Behavior Of Hybrid Composites Reinforced Nettle Fiber-Hazelnut Shell Flour.

### Abstract

Polymer beam specimens produced with reinforcement of nettle fiber and fixed nut hazelnut flour at different volume ratios were opened initial notches with  $a/W = 0,2, 0,3$  ratios after thermal curing. The volume percentage of nettle fiber in the composite is 2.5, 5, 7.5 and 10 percent. The grain size of hazelnut shell flour is 0-50 $\mu$ m and the volume ratio in the composite is 15% in all samples. Mechanical behavior in the study was investigated in the context of fracture, three point bending and impact test. Mode I fracture behaviors of compacted specimens from single sides, compact tensile and mechanical behavior were determined by three point bending test and impact test. The amount of crack opening was determined by the high-speed camera recorder. The bending test determined bending modulus and bending stresses. The morphological structure of the fractured surfaces obtained from the impulse test was revealed by SEM views. It has been observed that the added hazelnut flour enhances the flexural modulus while reducing bending stress, fracture strength and impact resistance.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Polimer kompozitlerin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Polimer içerikli malzemeler köprüler, boru hatları ve diğer yapı türleri gibi çeşitli inşaa, bakım ve onarım işlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle takviyeli polimer kompozitler, fiyatlarının düşük olması, kimyasal dayanıklılık, mekanik özellikler, hafiflik, kolay üretim ve titreşim emme gibi avantajlarından dolayı makine parçalarının yapımında tercih edilmektedir. [1-4].

\* İletişim yazarı, e-mail: kenan.buyukkaya@giresun.edu.tr

Kompozit yapımında kullanılan takviye maddeleri, özellikleri ve polimer ile etkileşimleri nedeniyle, darbe direnci, eğilme gerilme direnci, sertlik gibi mekanik özelliklerinde olumlu değişiklikler meydana getiren katkı maddeleridir. Katkı maddesinin kalitesi, partiküllerin büyüklüğü, şekilleri, porozitesi, yüzeyin kimyasal yapısı, safsızlıkların içeriği, dağılımı ve ortalama gibi faktörlere bağlıdır. Bu tür dolgu maddelerine örnek olarak karbon siyahı, doğal elyaflar (sisal, pamuk) ve sentetik elyaflar (nylon, polyester) verilebilir.

Günümüzde "Bio malzeme" çalışmalarının hız kazanması ile birlikte, doğaya daha az zarar veren ve kısa sürede bozunabilen kompozit malzemeler elde edilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan dolgu ve takviye malzemelerinin bir kısmını doğal malzemeler ve doğal atıklar oluşturmaktadır. Kullanılan bu doğal malzemelere örnek olarak kısa **Sisal** (*Agave sisalana*) lifleri, **jüt** (*Corchorus capsularis*, *Corchorus olitorius*) lifleri, Buğday ve Çavdar kabuğu, Çeşitli ağaç tozları ve Hindistan cevizi liflerini saymak mümkündür[5-9].

Hibrit kompozitler, katkı maddelerinin farklı özelliklerinden yararlanılarak daha geniş özelliklere sahip malzemeler üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Son yıllarda bu alandaki çalışmaların yoğunluk kazandığı görülmektedir. Bu çalışmaların bazılarında partiküllü takviye malzemeleri ile lif takviyeler birlikte kullanılarak daha gelişmiş kompozitler üretilmiştir.

Bu bağlamda, bazı araştırmacılar organik ve inorganik dolgu ( Kum, Ağaç tozu ince tel, evsel atıklar vb.) kompozitlerin mekanik ve kırılma davranışı üzerine etkisini araştırmıştır (10-14).

Bu çalışmada, farklı hacim oranlarında ısırgan lifi ve sabit oranda fındık kabuğu unu dolgu malzemesi olarak kullanılmak sureti ile polimetilmetakrilat matrisli hibrit kompozitler üretilmiştir. Elde edilen kompozit üç nokta eğilme testi ve kırılma testi, darbe testi yöntemleri ile mekanik özellikler açısından karakterize edilmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

### 2.1 Örneklerin Hazırlanması (Preparation Of Samples)

Lifler, Doğu Karadeniz'de doğal yetişen ve çok yıllık bitki türü olan ısırgan otundan (*Urtica dioica*) elde edilmiş ve elde ediliş sırasında ve daha sonra hiçbir kimyasal işleme tabi tutulmamıştır. ısırgan otundan lif elde edebilmek için geleneksel metot kullanılmış, liflerin odunsu yapıdan ayrılırken mekanik yolla zarar görmemesi için ayırma işlemi el ile soyma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu yolla literatürde de belirtildiği gibi ortaya çıkabilecek mekanik hasarların kısmen de olsa engellenmesi hedeflenmiştir[15]. Soyma işleminden sonra kalın olan lifler tarak yardımı ile inceltildikten sonra 5mm boyutunda kesilmiştir.

ısırgan lifi- Fındık kabuğu-Polimetilmetakrilat kompozitlerin oluşturulması için Giresun kalite tombul fındık kabukları kullanılmıştır. Fındık kırma fabrikalarından temin edilen fındık kabuğu öğütülerek fındık kabuğu unu elde edildi. Geniş bir dağılım gösteren fındık kabuğu unu farklı göz açıklıklarına sahip laboratuvar eleklerinden elendi. Yapılan bu çalışmada maksimum büyüklükleri 50 µm olan fındık kabuğu unu kullanıldı.

ısırgan lifi-Fındık kabuğu unu-Polimetilmetakrilat kompozitlerin oluşturulmasında kullanılan matris malzemesi Otto Bock (Almanya) Türkiye temsilciliğinden sağlandı. Kullanılan polimetilmetakrilat matris malzemesinin sertleştirilmesi için aynı firmadan peroksit esaslı kimyasal madde temin edildi. Standart Pmma ait bazı mekanik özellikler tablo 1'de verilmiştir(16,17)

Kompozitlerden deney numunesi oluşturmak amacıyla ile PTFE malzemedeki döküm kalıpları hazırlandı. Polimetilmetakrilat matris içerisine belirli hacim oranlarında (%2,5-5-7,5-10) ısırgan lifi ve %15 oranında 50 µm büyüklüğünde fındık kabuğu unu ilave edildi. Manyetik- karıştırıcı yardımı ile gözenek oluşturmayacak biçimde matris ve takviye malzemeleri karıştırılarak kompozitler oluşturuldu. Oluşturulan kompozitin sertleştirilmesi için içerisine % 2 peroksit sertleştirici ilave edildi. Sertleştirici katıldıktan sonra karışım bir süre daha aynı şekilde karıştırıldı. Hazırlanan sıvı karışım kalıplara dökülmek sureti ile işlenmemiş test numuneleri elde edildi. Daha sonra nihai kür uygulaması için 24 saat boyunca 80 °C fırında bekletildi. Numuneler

otomatik tezgahlarda standartlara uygun ölçülerde 70x14x7 mm olarak işlendi (Şekil 1). Numuneler üzerinde a/w oranı 0,2, 0,3, olan standart çentikler açıldı.

**Tablo 1.** Standart Pmma'nın Mekanik Özellikleri

Kopma uzaması ( % )	0,5-5
Sertlik –Rockwell ( M )	93
Darbe dayanımı (kJ/m <sup>2</sup> )	11
Poisson oranı	0,35-40
Elastisite modülü ( N/mm <sup>2</sup> )	3300
Çekme dayanımı ( N/mm <sup>2</sup> )	60-70
Kırılma Tokluğu (MN/m <sup>3/2</sup> )	0,7-1,7



**Şekil 1.** Üç nokta eğme testi numunesi

## 2.2 Karakterizasyon (Characterization)

Lif çapının tespitinde optik mikroskop (OLİMPUS BX53) cihazı kullanıldı. Bu çalışmada kullanılmış liflerden elli adet numune üzerinde yapılan ölçümlerde, şekilleri yaklaşık dairesel ve ölçüm aralığı 30-80 µm olarak belirlenmiştir.

X-ışını kırınım testi, bakır radyasyonlu gelişmiş Diffractometer (Europe 600 XRD) ile gerçekleştirildi. Cu Ka, 40 kV ve 30 mA'da çalıştırıldı. Tarama aralığı 10-30, adım boyutu 0,02 ve tarama hızı 0,4 / dakika olarak seçildi. Taramalı elektron mikroskopisi görüntüleme, altın kaplamadan sonra JSM-5910 kullanılarak elde edilmiştir. SEM görüntülerinin yorumlanması ısırgan lifi/ındikkabuğu unu /Pmma kompozit kırık yüzeylerinin detaylı incelenmesi ile yürütülmüştür.

## 2.3. Elyaf Hacim Oranının Değerlendirilmesi (Evaluation Of Fiber Volume Rate)

Doğal elyaflarla güçlendirilmiş kompozitlerin hacim fraksiyonunu (V<sub>f</sub>) ortaya koymak için aşağıdaki ifade kabul edilmiştir [18]:

$$V_f = (V_c - (M_c - M_f)/\rho_r)/V_c \quad (1)$$

Burada M<sub>c</sub> kompozitin kütlesi, M<sub>f</sub> lif kütlesi, V<sub>c</sub> kompozit hacmi ve ρ<sub>r</sub> kür edilmiş polimerin yoğunluğudur. Yapılan çalışmada yukarıda verilen denklem yardımı ile ısırgan lifinin hacim oranları %2,5, %5, %7,5 ve %10 olarak belirlenmiş ayrıca sabit hacimde katılan ındikkabuğu oranı da % 15 dir.

## 2.4. Üç Nokta Eğme, Kompakt Çekme Ve Darbe Testleri (Three Point Bending, Compact Tension And Impact Tests )

70x6x12 ölçülerinde işlenmiş dikdörtgen çubuklar, eğilme mukavemeti (  $\sigma_F$  ), eğilme modülü ( $E_f$ ) ve kırılma tokluğunu ( $K_{IC}$ ) değerlendirmek için 48 mm'lik destekler arası açıklığa sahip üç nokta eğme testi ile test edildi. Çatlak ucundaki açılmanın ölçülmesi için gage uzunluğu 3 mm, hareket mesafesi 5 mm, Max 10 Hz olan klip-gage (SHIMADZU P701805) kullanıldı.  $K_{IC}$  ölçümü için, çentik uzunluğunun, numune genişliğine oranı (  $a/w$  ) 0,2, 0,3, olan numuneler kullanılmıştır. Eğilme testi, 1,0 mm/ dak. bir yer değiştirme hızı kullanılarak universal test makinesi (SHIMADZU EHF-LV020K2-020) ile gerçekleştirildi. (Şekil 3) Her bileşimin testleri için en az beş numune kullanıldı.  $\sigma_F$ ,  $E_f$ , ve  $K_{IC}$  değerleri aşağıdaki denklemler [19] kullanılarak hesaplanmıştır :

$$\sigma_F = \frac{3PmS}{2WD^2} \quad (2)$$

$$E_f = \frac{PmS^3}{4WDe} \quad (3)$$

$$K_{IC} = \frac{PmS}{DW^{2/3}} f\left(\frac{a}{w}\right) \quad (4)$$

Burada  $Pm$  kırılma anındaki yük,  $S$  mesnetler arası mesafe,  $D$  numune kalınlığı,  $e$  LVDT tarafından kaydedilen numunedeki sehim,  $W$  numune genişliği,  $a$  çatlak uzunluğu, ve  $f(a/w)$  olarak verilen polinomial geometrik düzeltme faktörü:

$$f\left(\frac{a}{w}\right) = \frac{3(a/w)^{1/2} [1,99-(a/w)(1-(a/w)x(2,15-3,93(a/w)+2,7(a^2/w^2))]}{2(1+2a/w)(1-a/w)^{3/2}} \quad (5)$$

Standart kompakt çekme testi ( ASTM standard E399) , bazı araştırmacılar tarafından orthotropik yapıya sahip metallerin ve plastik kompozitlerin kırılma tokluğunu ortaya koymak amacı ile kullanılmıştır[20].

Kompakt çekme testi ( CT ) için, 62,5 mm x 50 mm x 25 mm boyutlardaki standartlara uygun işlenmiş ve çatlak ucunda, ucu keskin olan kesiciler(razor blade) ile birkaç milimetre lik keskin çentikler açılmış numuneler kullanıldı. Kompakt çekme testleri, universal test makinasın da (SHIMADZU EHF-LV020K2-020) , 1mm/ dakikalık yer değiştirme oranı kullanılarak, çatlak açılma miktarı klip-geyç vasıtası ile belirlenerek gerçekleştirildi(Şekil 4) ve kırılma tokluğu denklem [6,7] yardımı ile hesaplandı :

$$\frac{P}{h\sqrt{w}} f\left(\frac{a}{w}\right) \quad (6)$$

Denklemden  $P$ , yükü,  $h$ , numunenin kalınlığı  $w$ , numunenin sağ kenarına yük hattından olan uzaklık ve  $f(a/W)$  olarak verilen polinomial geometrik düzeltme faktörü eşittir:

$$f\left(\frac{a}{w}\right) = \frac{2+a/w [0,886+4,64(a/w)-13,12(a/w)^2+14,72(a/w)^3-5,6(a/w)^4]}{(1-a/w)^{3/2}} \quad (7)$$



Şekil 2. Üç Nokta Eğme Test Düzeneği



Şekil 3. Kompakt Çekme Test Düzeneği

Charpy darbe testi ASTM D256-78-B'deki prosedürlere uygun olarak yürütüldü. Her bir oran için beş adet test numunesi kullanıldı ve absorbe edilen, ortalama enerji değerleri elde edildi. Kırılma enerjisini değerlendirmek için çentiksiz dikdörtgen çubuk numuneler, 40 mm'lik destekler arası açıklığa sahip ve 2,0 J sarkaç çekici bulunan bir Zwick B5113 Charpy darbe cihazı ile test edildi ve darbe dayanımı ( $\text{kJ} / \text{m}^2$ ) hesaplandı.

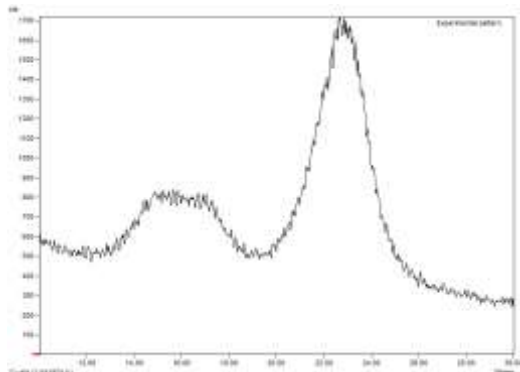
### 3. SONUÇLAR ( RESULTS )

#### 3.1. Isırgan Lifinin Ve Fındıkkabuğu Ununun X-Işını Kırınımı Analizi (X-Ray Diffraction Analysis Of Stinging Nettle And Nutshellflour)

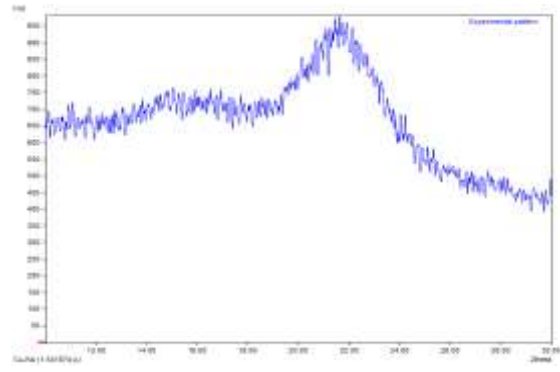
Isırgan lifi içerisindeki selülozun tipik kristal kafesine ait X-ışını kırınım desenleri Şekil 4'de ve fındıkkabuğu ununun X-ışını kırınımı görüntüsü Şekil 5'de verilmiştir. Selüloz elyafa ait ana desenlerin iki teta değerleri sırasıyla 16 ve 22,8 dir ve bu desenler (101) ve (002) düzlemlerine karşılık gelir. Pik (002), selülozun en büyük kristalin zirvesidir. Isırgan elyafının kristallik indeksi (CrI), Segal ampirik yöntemi [21-22] kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntem, aşağıdaki denklem vasıtası ile kristalin indisinin hızlı ve basit bir şekilde hesaplanmasını sağlar. Burada  $I_{002}$ , 002 kristalin zirvesinin maksimum noktası ve  $I_{am}$ , 101 ve 002 pikler arasındaki amorf malzemenin en düşük noktasıdır. Yapılan bazı çalışmalarda, sisal, keten, kenevir, kenaf gibi selüloz elyaf çeşitlerinin kristalinite indeksini ölçmek için aynı yöntemi kullandı[21].

$$CrI = ( I_{002} - I_{am} ) \times 100 / I_{002}$$

( 8 )



Şekil 4. Isırgan lifine ait XRD görüntüsü



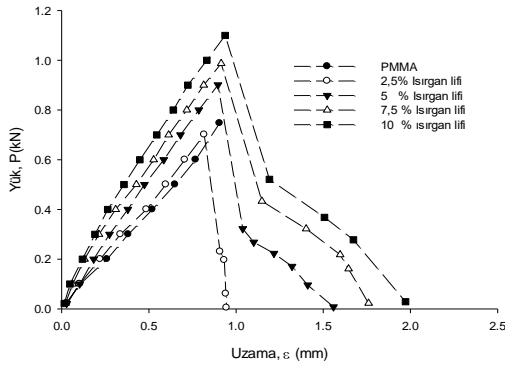
Şekil 5. Fındıkkabuğu ununun XRD görüntüsü

Şekil 4. ve 5. yardımı ile  $I_{002}$  ve  $I_{am}$  değerleri belirlenip, yukarıda verilen formül kullanılarak İsrırgan elyafı ve fındıkkabuğu ununun kristalinite indekslerinin sırasıyla % 71,6 ve % 31 olduğu ortaya koyuldu.

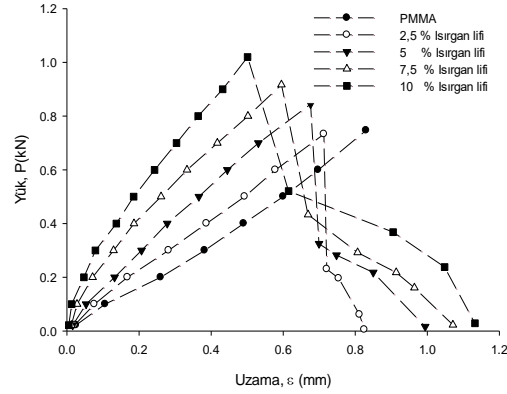
### 3.2. Takviye Oranının Eğilme Ve Kırılma Özelliklerine Etkisi (Effect of Bending and Fracture Properties of Reinforcement Ratio)

Saf ve İsrırgan lifi /Pmma-İsrırgan lifi/fındıkkabuğu unu/Polimetilmetakrilat kompozitlerin eğilme özellikleri Şekil 6a, b 'de verilmiştir. İsrırgan lifi-Polimetilmetakrilat kompozitlerin eğilme gerilmesindeki artış saf matrise göre % 2,5-10 hacim fraksiyonlu kompozitlerde sırasıyla %-2, % 20, %50 %75 olmuştur. 2,5 hacim fraksiyonlu kompozitlerde gerilmeye kısmi bir düşüş gerçekleşmiştir. Bunun nedeni lifin matrisi takviye edebilmesi için gereken lif miktarına ulaşamamış olmasıdır. Hibrit kompozitlerin eğilme gerilmesindeki düşüş de hibrit olmayan kompozitin davranışı ile paralellik arz etmiş, daha sonra saf Pmma'ya göre kısmi artışlar sağlanmıştır. Kompozitlere fındıkkabuğu unu ilavesi ile eğilme gerilmesinde meydana gelen değişim sırasıyla %-12, % 3, % 9 % 20 olmuştur. Kompozite fındıkkabuğu unu ilavesi eğilme gerilmesinde düşümlere neden olmuştur.

Eğilme elastisite modülündeki değişim fındıkkabuğu unu içermeyen kompozitlerde sırasıyla % 7, % 18, % 26, % 35 iken hibrit kompozitlerde eğilme elastisite modülündeki değişim sırasıyla % 22, % 33, % 47, % 63 olmuştur(Şekil 7a,b). Sonuçlardan da açıkça görüldüğü gibi fındıkkabuğu unu kompozitin eğilme modülünü belirgin biçimde artırmıştır.



Şekil 6a. İsrırgan lifi ilaveli kompozit

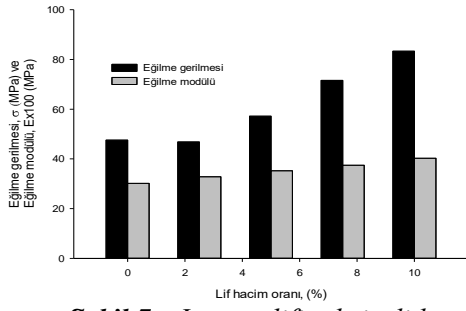


Şekil 6b. Hibrit kompozit

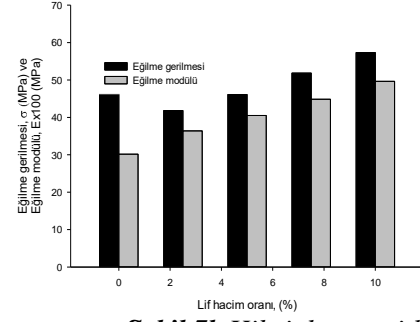
Şekil 6a.b. İsrırgan lifi ilaveli ve Hibrit kompozite ait numunelerin üç nokta eğme testinde yük-uzama grafiği

İsrırgan lifi ilaveli kompozitlerde kırılma tokluğu ( $K_{IC}$ ) değerlerinde, düşük fiber oranına rağmen önemli artışlar sağlanmıştır. Kırılma tokluğundaki artış saf matrise göre % 2,5-10 hacim fraksiyonlu kompozitlerde sırasıyla %2, %60, %86 ve %106 olmuştur. 2,5 hacim fraksiyonlu kompozitlerde toklukta kısmi bir düşüş gerçekleşmiştir. Bunun nedeni lif miktarının kritik oranın altında kalmış olmasıdır.

Kırılma direncindeki artış, fiber matris ara yüzeyindeki kırılma yer değiştirmesi esnasında elyaf çözülmesi(debonding), fiber köprüsü(fibre bridging), lif çekme(fibre pullout) ve elyaf kırığı gibi mekanizmalarla enerji harcanmasına atfedilebilir. Bu özelliklerdeki artış hacim fraksiyonuna, karşım kuralına ve fiber matris uyumuna bağlıdır [23]. Test sırasında takviyeli kompozit numune yavaş ve istikrarlı bir çatlak büyümesi ile sünek bir şekilde hasara uğrarken pmma numunelerde hasar gevrek biçimde oluşmuştur(Şekil 6). Bu davranış ısrırgan lifi ile takviye edilmiş kompozitlerin kırılırken daha çok enerji absorbe ettiğini teyit eder.



Şekil 7a. 100% lifli takviyeli kompozitler



Şekil 7b. Hibrit kompozitler

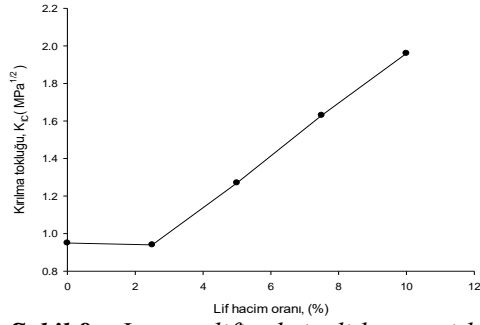
Şekil 7 a,b. Eğilme gerilmesi ve modülün lif hacim oranı ile değişimi

Yapılan çalışmalarda genellikle, polimer matrise liflerin eklenmesi ile matris mukavemetinin ve rijidliğinin artırılması yoluyla, kompozitlerin gerilme özellikleri belirgin şekilde geliştirilmiştir (24).

Kompozitin mekanik özelliklerin artırılmasında matris ve fiberlerin özellikleri ve bunların birlikte ortaya koydukları uyumun önemi büyüktür. Matris ve fiber ara yüzey bağlantısı, özelliklerin geliştirilmesindeki temel etkenlerin en önemlisidir. Bunun yanında fiberin bazı morfolojik özelliklerinin de uygun olması ( fiber çapı, kritik lif uzunluğu, lif kesitinin şekli vb.) bu özelliklerin geliştirilmesinde olumlu katkı yaptığı bilinmektedir. Bu katkının büyüklüğü, ısrırgan lifinin morfolojik özelliklerinin yanı sıra kimyasal yapısına da bağlıdır. Elyafaların, mekanik ve fiziksel özellikleri çoğunlukla bunların kimyasal kompozisyonu olan, selüloz, hemiselüloz ve ligninden etkilenmektedir[25]. Örneğin, yüksek çekme mukavemeti ve yüksek termal kararlılık daha fazla kristalin selüloz ihtiva eden liflerden elde edilir[26]. Bu çalışmada takviye olarak kullanılan ısrırgan lifi ve fındıkkabuğunda bulunan selülozun kristalin oranları Şekil. 4 ve 5 yardımı ile hesaplanarak sırası ile %71,6 ve % 31 olarak belirlenmiştir.

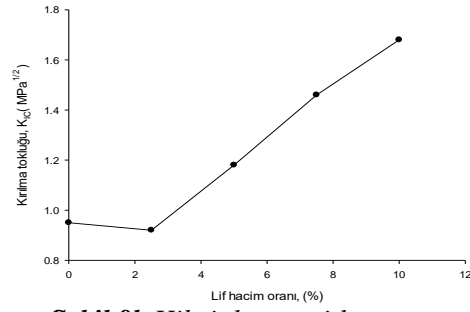
Bununla beraber lif hücrelerindeki fibriler yönelim de mekanik özellikleri etkileyen unsurlardan biridir. Sak lifleri selüloz molekül zincir demetlerinin bir araya gelmesi ile oluşan mikro fibrillerden meydana gelir. Mikro fibriller, fiberin uzunluğu boyunca helisel sarmal şeklinde yönelmiş fibril demetleri biçiminde organize olurlar[27]. Fibriler yönelim olarak adlandırılan ve ısrırgan lifi için “S” şeklinde[28] olan bu özelliğin mekanik özellikleri etkilediği bilinmektedir. Ayrıca lifin elde edilişi sırasındaki mekanik işlemlerin de lifin özelliklerini dolayısı ile de kompozitlerin özelliklerini etkilediği ortaya koyulmuştur.(29).

Saf ve ısrırgan lifi /Pmma-ısrırgan lifi/fındıkkabuğu unu/Polimetilmetakrilat kompozitlerin kırılma tokluğu grafikleri Şekil 8a, b 'de verilmiştir. ısrırgan lifi-Polimetilmetakrilat kompozitlerin kırılma tokluğu değerlerindeki artış saf matrise göre % 2,5-10 hacim fraksiyonlu kompozitlerde sırasıyla sırasıyla %-2, %60, %86 ve %106 olmuştur. 2,5 hacim fraksiyonlu kompozitlerde gerilmede kısmi bir düşüş gerçekleşmiştir. Aynı olgu hibrit kompozitlerde de görülmüştür. Kompozitlere fındıkkabuğu unu ilavesi ile kırılma tokluğunda meydana gelen artış sırasıyla %-6, % 34, % 53 % 76 olmuştur. Sonuçların da ortaya koyduğu gibi, kompozitlere fındıkkabuğu unu ilavesi, ısrırgan lifi kompozitlere göre kırılma tokluğu değerlerinde düşüşe neden olmuştur.



**Şekil 8a.** Isırgan lifi takviyeli kompozitler

**Şekil 8a,b.** Kırılma tokluğunun lif hacim oranı ile değişimi



**Şekil 8b.** Hibrit kompozitler

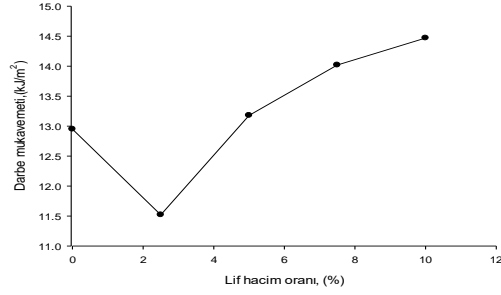
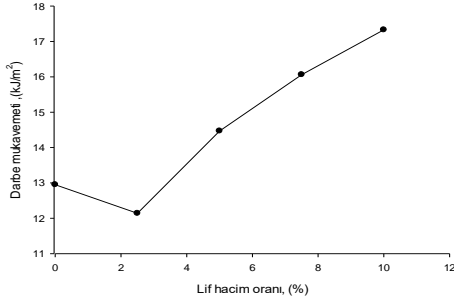
### 3.2.1. Katkı Maddelerinin Darbe Mukavemetine Etkisi (The Effect Of Additives On Impact Strength)

Isırgan lifinin varlığı Pmma matris darbe dayanıklılığını önemli ölçüde geliştirilmiştir. Saf- Pmma'ya göre darbe tokluğu %2,5-10 ısırgan lifi takviyeli kompozitlerde kJ / m<sup>2</sup> cinsinden maksimum %40 oranında artmıştır. Diğer testlerde görülen düşük lif miktarındaki düşüş, çarpma testinde hızında etkisi ile daha belirgin hale gelmiştir. Kritik oranın altında kalan lif miktarı darbe dayanımında düşüşe neden olurken kritik değer üzerinde kalan lif miktarlarında darbe dayanımında artışlar görülmüştür. Beklendiği gibi, çatlak büyümesindeki direncin belirgin bir şekilde artmasıyla, darbe dayanımında belirgin artış sağlandığı görülmüştür.

Bu sonuç, mikro görüntüleme de ortaya çıkan çatlak yayılmasının farklı mekanizmalarla gerçekleştiğini teyit etmektedir. Bu kırılma mekanizmaları daha öncede ifade edildiği gibi elyaf çözülmesi, fiber köprüsü, lif çekme ve elyaf kırığı gibi mekanizmalardır. Her ne kadar yukarıda işaret edilen mekanizmalar etkin olsa da darbe testlerinde etkinliği en yüksek mekanizma elyaf kırığı mekanizmasıdır. Diğer mekanizmalar hızın görece yüksek olmasından dolayı sistemin gerçekleşmesi için yeterli zamanı bulamamaktadır.

Saf ve Isırgan lifi /Pmma-Isırgan lifi/ındıkkabuğu unu/Polimetilmetakrilat kompozitlerin Darbe Dayanımı grafikleri Şekil9 a, b 'de verilmiştir. Isırgan lifi- Polimetilmetakrilat kompozitlerin kırılma tokluğu değerlerindeki artış saf matrise göre % 2,5-10 hacim fraksiyonlu kompozitlerde sırasıyla sırasıyla %-6, %14, %24 ve %40 olmuştur. 2,5 hacim fraksiyonlu kompozitlerde darbe dayanımında kısmi bir düşüş gerçekleşmiştir. Aynı davranış hibrit kompozitlerde de görülmüştür. Kompozitlere ındıkkabuğu unu ilavesi ile darbe dayanımı meydana gelen değişim sırasıyla %-11, %4, %16 %26 olmuştur. Sonuçlardan da, görüleceği üzere, kompozitlere ındıkkabuğu unu ilavesi, ısırgan takviyeli kompozitlere göre darbe dayanımı değerlerinde düşüşe neden olmuştur.





**Şekil 9a.** Isırgan lifi takviyeli kompozitler

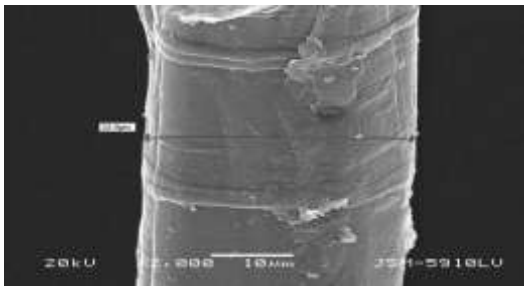
**Şekil 9b.** Hibrit kompozitler

**Fig 9a,b.** Isırgan lifi ve hibrit kompozitlerde, lif hacim oranı ile darbe dayanımının değişimi

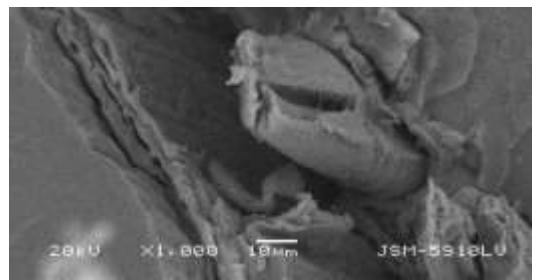
### 3. 3. Morfoloji (Morphology)

Saf Isırgan lifi SEM mikro fotoğrafı ve ısırgan lifi-Pmma kompozit numunelerin test sonrası kırık yüzeylerine ait SEM mikro fotoğrafları sırasıyla şekil 10 a, b, c, d, ' de verilmiştir. Saf ısırgan lifi yüzeyinin genellikle pürüzsüz sayılabilecek bir görüntüye sahip olduğu ilgili şekilden görülmektedir(şekil 10a).

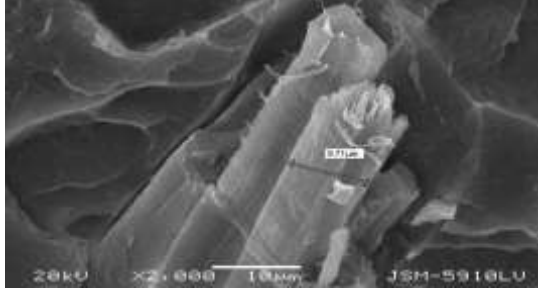
Şekil 10 b' de tek bir ısırgan lifinin kompozit içindeki kırılma fotoğrafı görülmektedir. Kırılma yüzeyi değerlendirildiğinde tek lifin kopma yolu ile hasara uğradığı görülmektedir. Kopmadan önce ısırgan lifinin plastik deformasyona uğrayarak kesitinin değiştiğini bu sayede daha fazla enerji absorbe ettiği söylenebilir. Şekil 10 c' de mikro fibrillerin birbirlerine göre yaptığı açılar görülmektedir. Genellikle sak liflerindeki fibril açıları 15° civarında iken ısırgan liflerindeki fibril açısının 4° olduğu belirlenmiştir. Bu veriler, ısırgan lifinin diğer liflere göre yük etkisi ile daha az bir yönlendirme gösterdiği ve bu nedenle gerilme-uzama eğrilerinin daha doğrusal olduğu sonucunu doğurur. Şekil 10d' de % 5 hacim oranına sahip kompozitin kırılma yüzeyinin görüntüsü verilmiştir. Kırılma yüzeyi incelemesinde yüzeyde farklı kırılma mekanizmalarının etkileri görülmektedir. İşaretlenmiş kısımlarda bulunan küçük deliklerin varlığı bu kısımlarda fiber çekilmelerinin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kısmın biraz daha ön tarafında bulunan kısımda fiber kopmalarının daha etkin olduğu açıkça görülmektedir. Tüm bu yüzey görüntüleri ısırgan lifi-Pmma kompozitlerin kırılma esnasında farklı mekanizmalarla enerji absorbe ederek mekanik ve kırılma özelliklerini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır.



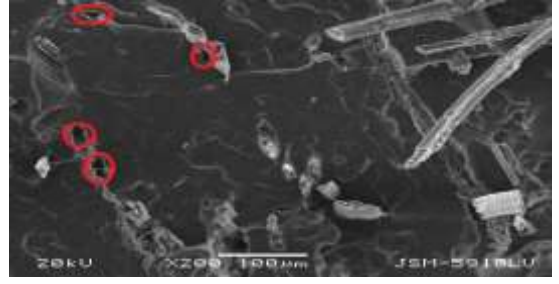
**Şekil 10a.** Isırgan lifinin görünümü



**Şekil 10b.** Isırgan lifinin hasara uğramış



**Şekil 10c.** Fibrillerin mikro görüntüsü



**Şekil 10d.** Kırılma yüzeyinin görünümü

#### 4. YORUMLAR VE SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma, Pmma matrise takviye edici katkı olarak, ısırgan lifi ilavesi ile iyi mekanik özelliklere sahip bir kompozitin başarılı bir şekilde üretilebileceğini göstermiştir. Pmma matrise göre, Isırgan lifi-Pmma kompozitlerin eğilme, kırılma ve darbe dayanımını özellikleri belirgin biçimde artmıştır. Bu sonuçlara göre ısırgan lifinin, sentetik fiberlere ağırlık/mukavemet oranına göre yapısal uygulamalarda alternatif olabileceği veya hibrit kompozitlerin geliştirilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Isırgan lifi /findikkabağu unu ile üretilen hibrit kompozitlerde eğilme, kırılma ve darbe değerlerinde hibrit olmayan kompozitlere göre kısmi bir düşüş gerçekleşmesine rağmen hibrit kompozitin saf matrise göre özelliklerinde; % 20 ile % 63 aralığında değişim olmuştur.

Kompozit içerisinde findikkabağu ununun varlığı, Eğme Elastisite modülünü artırmak sureti ile kompozitin rijitliğini hibrit olmayan kompozitlere göre daha fazla geliştirilmiştir.

Yapılan araştırmada beklendiği gibi, mekanik özelliklerde kısmi bir düşüş gerçekleşmesine karşılık eğilme elastisite modülünün artırılması yolu ile rijitlikte belirgin bir artış elde edilmiştir. Bu çalışmada oluşturulan hibrit kompozitler, rijitliğin ön plana çıktığı alanlarda rahatlıkla kullanım alanı bulabilir.

Bu çalışmanın sonunda oluşan düşünce, tüm uygulamalarda fosil kaynaklardan elde edilen fiberler ve dolgu malzemeleri yerine bazı uygulamalarda doğal malzemelerin rahatlıkla kullanılabileceği, hibrit yeni kompozitlerin üretilebileceği, bu yöndeki çalışmalara daha fazla imkan ayrılarak çevreye saygılı doğal malzemelerin geliştirilebileceği yönündedir.

#### 5. SEMBOLLER (SYMBOLS)

PTFE = Politetrafloretilen

$\mu\text{m}$  = Mikrometre

N = Newton

MN = Mega newton

kJ = Kilojul

XRD = X-ray diffraction

SEM = Scanning electron microscope

$M_f$  = Lif kütlesi,

$V_c$  = Kompozit hacmi

$\rho_f$  = Elyaf yoğunluğu

$\rho_r$  = Kür edilmiş polimerin yoğunluğudur

$M_c$  = Kompozitin kütlesi

P = Yük

a = Çatlak uzunluğu

h = numunenin kalınlığı

w = Numunenin eni

f = Polinomial geometrik düzeltme faktörü

$I_{am}$  = Amorf malzemenin en düşük noktası

$I_{002}$  = Kristalin zirvesinin maksimum noktası

CrI = Kristalin indeksi

ASTM = American Society for Testing and Materials

K<sub>IC</sub> = Kırılma tokluğu

## REFERANSLAR (REFERENCES)

- [1]- Donnell, O. A., Dweib, M.A. ve Wool R.P., Natural Fibre Composites with Plant oil-Based Resin, *Composite Science and Tecnologie*, 64 (2004 )1135- 1145.
- [2] Marsh G., Next Step for Automotive Materials, *Material Today*, 6 (4) (2003 )36-43.
- [3] Stevens E.S., *Green Plastics*, Princeton University Press, Princeton 2002
- [4] Bledzki, A.K. ve Gassan, J., Composites Reinforced with Cellulose-Based Fibres, *Progress in Polymer Science*, 2:24 (1999) 221-274.
- [5] Mohanty, A.K., Misra M. ve Drzal, L.T., Surface Modifications of Natural Fibres and Performance of the Resulting Biocomposites: an Overview. *Composites Interfaces*, 5:8 (2001 ) 313-343.
- [6] Li, Y., Mai, Y.W. ve Ye, L.,Sisal Fibre and its Composites: a Review of Recent Developments, *Composites Science and Technology*,11:60 (2000) 2037–2055.
- [7] Mishra, S., Tripathy, S.S., Misra, M., Mohanty, A.K. ve Nayak, S.K., Novel eco-friendly biocomposites: biofibre reinforced biodegradable polyester amide composites – fabrication and properties evaluation, *Journal of Reinforced Plastics Composites*, 21 (2002 ) 55-70.
- [8] Mwaikambo, L.Y. ve Ansell, M.P., Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibres by alkalisation, *Journal of Applied Polymer Science*, 12:84 (2002) 2222-2234.
- [9] Hepworth, D.G., Hobson, R.N., Bruce, D.M. ve Farrent, J.W., The use of unretted hemp fibre in composite manufacture. *Composites: Part A*, 11:31(2000) 1279-1283.
- [10] Van de Velde K. ve Kiekens, P., Thermoplastic pultrusion of natural fibre reinforced composites, *Composite structures*, 2:54 (2001) 355-360.
- [11] Zafeiropoulos, N.E., Williams, D.R., Baillie, C.A. ve Matthews, F.L., Engineering and characterization of the interface in flax fibre/ polypropylene composite materials. Part I. Development and investigation of surface treatments, *Composites, Part A*, 33 (2002) 1083-1093.
- [12] Mohanty, A.K., Drzal, L.T. ve Misra, M., Engineered natural fibre reinforced polypropylene composites, influence of surface modifications and novel powder impregnation processing. *Journal of Adhesive Science and Technology*, 8:16 (2002) 999-1015.
- [13] Devi, L., Bhagawan, S. ve Thomas, S., Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polyester composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 9:64 (1997) 1739-1748.
- [14] Low, I.M., Che, Z.Y., Latella, B.A. ve Sim, A.K., Mechanical and Fracture Properties of Bamboo, *Key Engineering Material*, 3:12 (2006) 15-20 .
- [15] Huang, G., Nettle (*Urtica cannabina* L) fibre, properties and spinning practice, *Journal of the Textile Institute*, , 1:96 (2005) 11-15.
- [16] Xiaofei, Z. ve Xiaozh, S, H., Low temperature fracture toughness of PMMA and crack-tipconditions under flat-tipped cylindrical indenter, *Polymer Testing*, 38 (2014) 57-63.
- [17] Marshall, G. P., Coutts, L. H, ve Williams, J. G., Temperature effects in the fracture of Pmma, *Journal of Materials Science* , 9 (1974) 1409-1419.
- [18] Roe, P. J. ve Ansell, J. M. P ., Jute-reinforced polyester composites, *journal of materials science*, 11:20 (1985) 4015-4020.

- [19] Atkins AG, Mai YW. Elastic and plastic fracture. Chichester, UK: Ellis Horwood/John Wiley; 1988
- [20] Low, I.M, McGrath, M. D., Lawrence, P., Schmidt, J., Lane, B. A. ve Latella, K. S. S., Mechanical and fracture properties of cellulose-fibre-reinforced epoxy laminates, *Composites, Part A*, 38 (2007) 963–974.
- [21] Jonoobi, M. J., Harun, P., Tahir, L. ve Zaini, S. S. A. M., Characteristics of nanofibers extracted from kenaf core, *Bio- Resources*, 4:5 (2010 ) 2556–2566.
- [22] Roncero, M.B., Torres, A. L., Colom, J. F., ve Vidal T., The effect of xylanase on lignocellulosic components during the bleaching of wood pulps, *Bioresource Technology*, 1: 96 (2005) 21–30.
- [23] Low, I. M., Schmidt P. ve Lane J., Synthesis and properties of cellulose-fibre/epoxy laminates, *Journal of Material Science, Letter*,14 (1995) 170-172.
- [24] Malkapuram, R., Kumar, V. ve Negi, Y. S., Recent development in natural fibre reinforced polypropylene composites, *Journal of Reinforced Plastics And Composites*, 10:28 (2009) 1169-1189.
- [25] Gümüşkaya, E., Usta, M. ve Kirei, H., The effects of various pulping conditions on crystalline structure of cellulose in cotton linters, *Polymer Degradation and Stability*, 81 (2003) 559–564.
- [26]. Ornaghi, H.L., Poletto, M.P., Zattera, A.J. ve Amico, S.C. Correlation of the thermal stability and the decomposition kinetics of six different vegetal fibers, *Cellulose* , 21(2014) 177–188.
- [27].Bergfjord, C. ve Holst, B. A., Procedure for identifying textile bast fibres using microscopy: Flax, nettle/ramie, hemp and jute, *Ultramicroscopy*, 9:110 (2010) 1192–1197.
- [28]. Herzog, A., *Mikrophotographischer Atlas der technisch wichtigen Pflanzenfasern*, (second ed.) Akademie-Verlag, Leipzig .1955
- [29] Fidelis, M. E.A., Pereira, T.V.C. Gomes, O. F.M., Silva, F.A., Filho, R. D.T., The Effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers, *Journal of Material Research and Technology*, 2:2 (2013) 149–157.