

## CAM ELYAFLA GÜÇLENDİRİLMİŞ DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN GELİŞTİRİLMESİ

**Mustafa BAKKAL<sup>1</sup>, Mehmet SAVAŞ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>[bakkalmu@itu.edu.tr](mailto:bakkalmu@itu.edu.tr) Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34437 İstanbul

### ÖZET

Çalışmada doğal elyaf malzemesi olarak atık pamuklu kumaştan elde edilen pamuk iplikçiklerinin, düşük yoğunluklu polietilen matris malzemesiyle birlikte oluşturdukları karma malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Atık pamuklu kumaşlar şifanöz makinasından geçirilerek pamuk iplikçikleri halini almışlardır. Karma malzemeler tek vidalı ekstrüder makinasında üretilmişlerdir. Malzeme yapısının homojenliğinin artırılması amacıyla üretilen plakalar kırıcıdan geçirilerek tekrar ekstrüdere beslenmiştir. Bu geri dönüşüm çevrimi her bir yapı için üç kez tekrar edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında oluşturulan bu karma malzemenin, cam elyafın farklı formlarıyla birlikte oluşturdukları tabakalı karma yapıların mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan tekrarlı testler sonucu tespit edilen dayanım değerleri yine aynı koşullarda testleri gerçekleştirilen Ford Transit Connect marka aracın ön tampon malzemesinin değerleriyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal elyaflar, Karma malzemeler, Polimer matrisli karma malzemeler, Elyaflar, Cam elyaf kompozitler

### ABSTRACT

In this study, mechanical properties of composite laminates reinforced with various forms of glass fibers have been investigated. Tensile testing, impact testing and optical microscopy and SEM analysis results were discussed. The results of glass fiber reinforced novel composite material have been compared with the results of a commercial car front bumper material tests performed in same conditions. Study concludes that glass fiber has positive hybridization effect and increased tensile strengths, elastic modules and impact strengths in laminar hybrid composites.

**Keywords:** Natural fibers, polymer matrix composite materials, waste fabric, laminate composites

## 1. GİRİŞ

Azalan doğal kaynaklarla birlikte bu kaynakların verimli kullanımının öneminin artışı ve yükselen çevresel bilinç, sentetik malzemelerin yerlerini çevresel etkileri daha az olan doğal, biyolojik malzemelerin almasını sağlamıştır. Kyoto protokolü başta olmak üzere emisyon oranlarının düşürülmesine yönelik yaptırımların neticesinde doğal malzemelere yönelik ilgi artmıştır.

Karma yapılarda kullanılan elyafların, doğal malzemeler kaynaklı kullanılması yönünde bir eğilim mevcuttur. Daha çok otomotiv sanayinde emisyon oranlarının düşürülmesine yönelik olarak araçların hafifletilmesi ve bunun için de dayanım/ağırlık oranları yüksek olan doğal elyaflar kullanımı gelişmektedir. Doğal elyafların mekanik özellikleriyle ilgili olarak bir çok araştırma yapılmaktadır.

Örneğin, C. A. B. Vieira ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, içerisindeki toplam oranı % 25 olan farklı oranlardaki sisal/cam elyaf katkılı karma malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Cam elyaf katkısının artışıyla birlikte çekme ve darbe deneylerinde elde edilen dayanım değerleri artış göstermektedir. Sisal elyafın artışıyla birlikte mekanik özelliklerde düşme gözlenirken su emme kabiliyetinde artış gözlemlenmektedir. Bu artış boyut ve ölçü sabitliği özelliğini düşüren bir etki göstermektedir [1]. 2009 yılında T. M. Schmidt ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, reçine transfer kalıplama yöntemiyle oluşturulan sisal-cam elyafı polipropilen matrisli karma malzemenin geçirgenlik özelliği ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Sisal elyaf takviyesi karma malzeme yapısının geçirgenlik özelliğini arttırmakta ve ayrıca mekanik özelliklerin gelişmesine yol açtığı görülmüştür [2]. M. Karina ve arkadaşlarının 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada ise palmye meyvesi demeti elyafı (PMD)-cam elyaf ile polyester matrisli karma malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini, PMD elyafın uzunluğuna ve elyaf yüklenmesine göre incelemişlerdir. PMD elyafların uzunluklarının karma malzemenin eğilme dayanımına ve malzeme yoğunluğuna gözle görülür bir etki yapmadığı fakat kısa PMD elyaflarının uzun elyaflara göre yüksek su emilimine ve boyutsal değişikliğe yol açtığı tespit edilmiştir. PMD elyaf miktarının artmasıyla karma malzeme eğilme dayanımı ve yoğunluk değerleri düşmekle birlikte hacimsel olarak % 40-70 oranında PMD elyaf miktarı, polyester reçine eğilme dayanımını % 350 arttırmaktadır [3].

Doğal elyafların pozitif katkı yaptığı bir özellik de karma malzemenin çekme karakteristiğidir. G. Kalaprasad ve arkadaşlarının 2004 yılında yapmış oldukları çalışmada, kısa sisal/cam elyaf katkılı düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) matrisli karma malzemenin, elyaf uzunlukları ile çeşitli yüzey işlemlerinin elyaf ve matrisin çekme özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. İnceleme sonucunda, karma malzemenin oluşturulması sırasında cam elyaflarının kırılmalık özelliğinin yüksek olduğundan dolayı sisal elyaflara nazaran daha yüksek kırılmalara maruz kaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç sisal/cam elyaf katkılı polietilen karma malzemesinin çekme özelliği sisal elyaf uzunluğuna bağlı olduğunu göstermektedir. Elyafı uygulanan farklı kimyasal uygulamaları karma malzemenin çekme özelliği üzerinde olumlu yönde değişimlere yol açmıştır. Farklı kimyasallar içerisinde benzil peroksit uygulanan elyaflardan oluşan karma malzemeler en yüksek çekme dayanımı ve modülü değerlerini veren malzemeler olmuştur. Çalışmada kullanılan kimyasal uygulamalar arasında fiyat/performans oranı değerleri göz önüne alındığında asetilen uygulaması en iyi sonucu veren kimyasal olarak tespit edilmiştir [4]. C. Z. Paiva Junior ve arkadaşlarının 2004 yılında yapmış oldukları çalışmada, rami/pamuk karma elyaf polyester matrisli çoklu karma malzemelerinin çekme özellikleri incelenmiştir. Çalışmada çekme yönünde sıralanan rami elyafın hacimsel oranı çoklu karma malzemenin çekme karakteristiğini pozitif anlamda etkilediği, kumaşın ve pamuk elyafın çapının çekme mukavemetine etkisinin minimum olduğu görülmüştür. % 45 hacimsel oranındaki rami elyaf katkısının, saf polyester matrisin çekme gerilmesini % 338 oranında arttırdığı tespit edilmiştir [5].

Doğal elyafların diğer bir özelliği de kimyasal ve mekanik işlemlerin karma malzemedeki yüksek elyaf-matris tutunması sağlamasıdır. S. Panthapulakkal ve arkadaşlarının 2005 yılında yayınladıkları çalışmada, kimyasal ve mekanik olarak hazırlanan buğday sapı elyaflarının termoplastik malzeme içerisinde göstermiş olduğu özellikleri incelemişlerdir. Elyafın kimyasal içeriğine, yüzey morfolojisine, fiziksel, mekanik ve termal özelliklerine göre incelenmiştir. Kimyasal işlemlerle hazırlanan elyafların yüzey düzensizliklerinin giderildiği ve daha iyi mekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Mekanik işlemlerle hazırlanan elyafların, kimyasal işlemlerle hazırlanan elyaflara göre daha dayanım özellikleri gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni olarak aynı koşullar altında kimyasal işlemlerle hazırlanmış olan elyafların termoplastik malzeme içerisindeki saçılma (dispersiyon) miktarını azaltması gösterilmiştir [6]. A. Haneefa ve arkadaşlarının 2008 yılında yaptıkları çalışmada ise, muz elyaf-cam elyaf takviyeli polistren matrisli karma malzemenin elyaf içeriği, elyaf yüklemesi ve karmalaşma etkisinin, çekme gerilmesi, elastisite modülü, kopma uzaması ve eğilme özellikleri gibi mekanik özelliklerin üzerine etkisi incelenmiştir. Karma malzemenin ara yüz değişiminin mekanik özellikler üzerine etkisi ayrıca incelenmiş, alkali, benzoil klorid ve maleik anhidrit uygulanmış polistren gibi kimyasal işlemlerin çekme özelliklerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Kimyasal işlemler neticesinde karma malzemedeki oluşan gelişmiş elyaf dağılımı, muz elyafın su

emme kabiliyetinin düşürdüğü, elyaf-matris uyumluluğunu geliştirerek mekanik sabitlik, fiziksel ve kimyasal bağlanmanın olduğu görülmüştür [7]. S. K. Samal ve arkadaşlarının 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada, Haake çift vidalı ekstrüderde üretilen kısa muz elyaf-cam elyafli polipropilen matrisli karma malzeme daha sonra basınçlı döküm yöntemiyle bağlama kimyasalı olarak maleik anhidrit uygulanmış polipropilen (MAPP) ve saf polipropilen malzemeyle birlikte üretilen karma malzemeler incelenmiştir. Cam elyafın ve bağlama kimyasalı olan MAPP'ın bulunması karma malzemenin su emme kabiliyetini düşürdüğü görülmüştür. Muz elyaf oranının % 30, cam elyaf oranının % 15 ve bağlama kimyasalı MAPP oranının % 2'ye yükseltilmesi neticesinde karma malzemenin çekme, eğilme ve darbe gerilme değerlerinin yükseldiği görülmüştür [8].

Doğal elyaflar karma malzemelerde pozitif yönlü bir rol üstlense de, mühendislik malzemelerine alternatif oluşturabilecek kadar yeterli değildir. Sentetik elyafların pozitif hibrit etkisine ihtiyaçları vardır. Örneğin, K. Jarukumjorn ve N. Suppakarn'ın 2009 yılında yaptıkları çalışmada, cam elyafın sisal/propilen karma malzemesi üzerindeki, karmalaşma (hibritleşme) etkisi incelenmiştir. Sisal/propilen karma malzemesi içerisine cam elyafın katılmasıyla çekme ve eğilme modüllerinde bir farklılık yaratmadan çekme, eğilme ve darbe gerilmeleri değerlerini yükseltmiştir. Cam elyafın malzemedeki artış miktarıyla malzemenin su emme kabiliyetinde düşme görülmüştür. Bu düşüş cam elyaf oranının artmasıyla aynı şekilde devam etmiştir [9]. S. Mishra ve arkadaşlarının 2003 yılında yapmış olduğu çalışmada, sisal/cam karma elyaf ve ananas yaprağı elyafı (AYE)/cam elyaflarının polyester matrisle oluşturdukları karma malzemelerin mekanik performansları incelenmiştir. Biyolojik karma malzemelerin çekme, eğilme ve darbe mukavemetleri karma malzemeye cam elyafın değişik oranlarda katılmasıyla pozitif karmalaşma (hibrit) etkisi görülmüş, dayanım değerlerinde artış gerçekleşmiştir. Çeşitli kimyasal işlemlere uğrayan biyolojik elyaflardan, optimum çekme ve darbe dayanımını sağlayan %5 alkali uygulanmış biyolojik elyaf olduğu görülmüştür [10]. M. Idicula ve arkadaşlarının 2005 yılında yayınladıkları çalışmada kısa uzunluklarda rastgele yerleştirilmiş muz ve sisal elyaf/polyester matrisle oluşturdukları karma malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Karma malzemelerin eğilme dayanımlarında ve eğilme modülünde pozitif karmalaştırma (hibrit) etkisi gözlenmiştir. Çekme dayanımında çeşitli hacimsel katılım oranlarındaki elyafların pozitif karmalaşma etkisi görülmüş olup, maksimum çekme dayanımı muz/sisal oranının 4/1 olduğu durumda gerçekleştiği tespit edilmiştir [11].

Selülozik elyaflar, diğer doğal elyaflardan farklı yapıya sahiptirler. Bünyelerinde sıvı fazda yapılar mevcuttur. H. D. Rozman ve arkadaşlarının 2001 yılında yayınladıkları çalışmada, polipropilen matris içerisinde palmye meyvesi demeti (PMD) elyafı ve cam elyaf katkısı bulunan karma malzemelerin, PMD yağının eğilme ve çekme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. PMD elyafındaki yağ miktarının çıkarılması, eğilme ve çekme modülü ile kopma uzaması değerlerini bir miktar düşürmesi yanında, eğilme ve çekme dayanımları ile tokluk değerlerini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Yapılan ön çalışmalarda matris içerisindeki PMD ve cam elyaflarının her ikisinin de bulunması, elyafların birbirleriyle olan etkileşimi sebebiyle karma malzemedeki polipropilen malzemesinin çekme ve eğilme gerilme değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir [12].

## 2. DENEY

### 2.1 Malzeme

Çalışmada doğal elyaf malzemesi olarak kullanılan pamuk iplikçikleri, LİNENS Pazarlama AŞ firması tarafından temin edilen reaktif boyalı, rinbana örgülü, 30 Ne iplikten %100 pamuklu atık kumaşlardan elde edilmiştir. Matris malzemesi olarak PETKİM AŞ marka G03-5 marka DYPE malzeme kullanılmıştır. Tabakalı karma malzeme oluşturulurken, sentetik elyaf olarak METYX Composites firmasının LT 850E10C markalı cam elyafı kullanılmıştır.

## 2.2 Yöntem

Çalışmada, piyasada kullanılan ön tampon malzemesinin laboratuvar ortamında elde edilen çekme ve darbe testleri sonuçları ile yine aynı laboratuvar ortamında tespit edilen DYPE malzeme, pamuk elyaf takviyeli karma malzeme, cam elyafın farklı formlarının kullanıldığı tabakalı karma malzemelerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

### 2.2.1 Karma malzeme üretimi

Çalışmada karma malzeme, atık pamuklu kumaş ile DYPE malzemesinin, Ün-Mak AŞ firması tarafından özel olarak imal edilen ekstrüzyonda üretilmesiyle elde edilmiştir. Ekstrüderdeki vida kovan arası muhtemel sıkışmaların önlenmesi ve levha kalıbındaki tıkanmaların önlenmesi amacıyla kumaşlar BALKAN DT-10 marka şifanöz makinasında geri dönüşüm işlemine tabi tutularak pamuk iplikçikleri haline getirilmiştir.

Karma malzemelerin ekstrüderdeki üretim sırasında uygulanan sıcaklıklar Çizelge 1'de gösterilmiştir. Ekstrüderde eriyik haline getirilen karma malzemeler küçük parçalar haline getirilmiştir. Bu parçalar daha sonra kırıcıda (granulator) parçalanarak tekrar ekstrüdere beslenecek şekilde granül halini almışlardır. Yapılan bu geri dönüşüm çevrimiyle, takviye malzemesiyle matris malzemesinin homojen şekilde karışması sağlanmıştır. Çalışmada bu geri dönüşüm çevrimi her bir malzeme için 3 kez tekrarlanmıştır.

Çizelge 1. Üretim değişkenleri

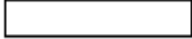
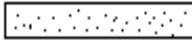

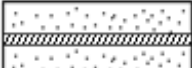

Malzeme	Isıtıcı 1 (°C)	Isıtıcı 2 (°C)	Isıtıcı 3 (°C)	Kalıp Isıtıcısı (°C)	Ekstrüder Vida Hızı (rpm)
Saf DYPE	175	180	185	190	30
Karma Malzeme	185	190	195	200	30

Son kırma aşamasından sonra eriyik haldeki karma malzeme merdanelerden geçirilerek preslenmeye hazır hale getirilirler. Merdanelerden çıkan malzeme etüve alınır. Önceden 190°C sıcaklığa getirilmiş olan etüvde yaklaşık 15 dakika bekletilen tabakalı yapılar soğumalarına izin verilmeden hidrolik pres altına konularak 4000 kg kuvvet altında preslenerek plakalar oluşturulmuştur. Malzeme pres altında yaklaşık 20 dakika bekletilerek soğuması sağlanmış ve böylece malzemenin boyutsal kararlılığı sağlanmıştır. Merdaneler arası mesafe 5 mm'ye ayarlanmış olup, pres sonrası elde edilen karma malzeme kalınlıkları 5-7 mm arasında değişmiştir.

Çalışmada, saf (takviyesiz) düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) G-03 ve ağırlık olarak % 15 oranında pamuk elyaf takviyeli karma malzemelerin, 90°/0° örme cam elyafı ve 3-5 cm boyutlarındaki serbest cam elyafı yapıları tabakalı karma malzemeler kullanılmıştır. Pamuk elyaf takviyeli karma malzemesi için özelliklerin homojen bir dağılım göstermesi için 3 kez ekstrüzyon işleminden geçirilmiştir.

Çalışmada kullanılan farklı ağırlık oranlarındaki karma malzemelerin yapıları ve ağırlıkça katılım oranları Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Deney malzemelerinin ağırlık oranları ve yapıları

Kısaltma	Malzeme	Yapı	Ağırlık yüzdeleri
DYPE	Saf polietilen malzeme		% 100 DYPE
KM	Karma malzeme		% 85 DYPE + % 15 Pamuk
TKM	Tabakalı karma malzeme		% 85 DYPE + % 15 Pamuk
SCE-TKM	Kısa cam elyafı tabakalı karma malzeme		% 77 LDPE + % 13 Pamuk + % 10 Cam elyaf
ÖCE-TKM	Örme cam elyafı tabakalı karma malzeme		% 77 LDPE + % 13 Pamuk + % 10 Cam elyaf

## 2.3 Mekanik testler

Çalışmada, malzemelere iki farklı tekrarlı test uygulanmıştır. Çekme testi sonucunda, malzemenin çekme gerilmesi ve elastiklik modüllerinin tespit edilmiştir. Darbe testi sonucunda ise malzemenin dinamik yükler karşısındaki davranışları, darbe dayanımı tespit edilerek incelenmiştir.

### 2.3.1 Çekme deneyi

Malzemelerin çekme deneyi ASTM D638-10 standardına uygun olarak Shimadzu Autograph AG-IS 50kN çekme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numune boyutları, numune kalınlıklarının 7 mm ve altında olan değerleri için ilgili standarttaki "tip I", 7 mm ile 14 mm arasındaki kalınlıklardaki malzemeler için "tip III" ile ifade edilen boyutlara göre belirlenmiştir. Deneylerde her bir malzeme türü için 5 adet numune kullanılmıştır. Çekme deneyi oda sıcaklığında gerçekleştirilip, şekil değiştirme hızı 50 mm/dk. olarak ayarlanmıştır [13].

Çekme deneyi sonunda elde edilen çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerlerinin ortalaması alınıp, standart sapma değerleri ile test sonuçlarının normalleştirilerek karşılaştırabilmek için değişim katsayısı değerleri aşağıdaki denklemler uyarınca elde edilmiştir (Denklem 1-3).

$$x_m = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - x_m)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

$$v = \left( \frac{s}{x_m} \right) \cdot (100\%) \quad (3)$$

s: Standart sapma

v: Değişim katsayısı (%)

$x_m$ : Değerlerin ortalaması

x: Her bir değer

n: Değerlerin adedi

### 2.3.2 Darbe testi

Malzemelerin darbe testleri EN ISO 179:2010 standardına uygun olarak "Alşa" darbe deney cihazı kullanılarak yapılmıştır. Test numuneleri ilgili standartta belirtilen boyutlarda imal edilmiştir. Numunelere herhangi bir çentik açılmamıştır.

Darbe testinde malzemenin kırılma enerjileri skaladan okunup, darbe dayanımları EN ISO 179:2010 standardında mevcut çentiksiz malzemeler için kullanılan formül yardımıyla kJ/m<sup>2</sup> biriminde hesaplanmıştır (Denklemler 4).

$$a_{CU} = (E_c \times 10^3)/(h \times b) \quad (4)$$

$a_{CU}$ : Darbe dayanımı (kJ/m<sup>2</sup>)  
 $E_c$ : Kırılma enerjisi (J)  
 $h$ : Malzeme kalınlığı (mm)  
 $b$ : Malzeme genişliği (mm)

## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

### 3.1 Test sonuçları

#### 3.1.1 Çekme deneyi

Çalışmada kullanılan malzemelerden elde edilen mekanik özelliklerin karşılaştırılacağı Ford Transit Connect marka otomobilin polipropilen (PP) ile karbon siyahı malzemelerinden imal edilmiş olan ön tampon malzemesinin laboratuvar ortamında elde edilen çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri Çizelge 3'te gösterilmiştir.

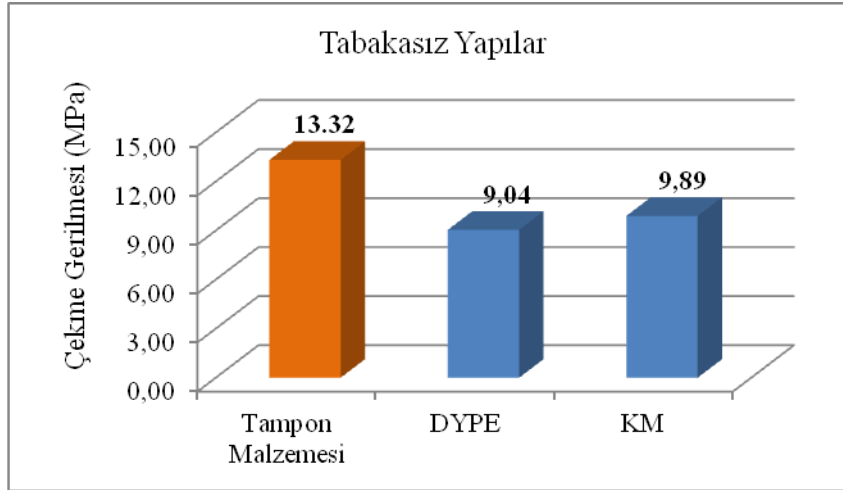
Çizelge 3. Tampon malzemesi mekanik özellikleri

Malzeme	Çekme dayanımı, $\sigma_c$ (MPa)	Değişim katsayısı, $\sigma_c$ (%)	Elastiklik modülü, E (MPa)	Değişim katsayısı, E (%)
Tampon malzemesi	13,3	3,62	393	2,85

Ekstrüzyon işlemi sonrasında Çizelge 2'deki ağırlık oranlarına göre oluşturulan plakalardan elde edilen numunelere ait çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri ile ilgili değişim katsayısı yüzde değerleri Çizelge 4'te gösterilmiştir.

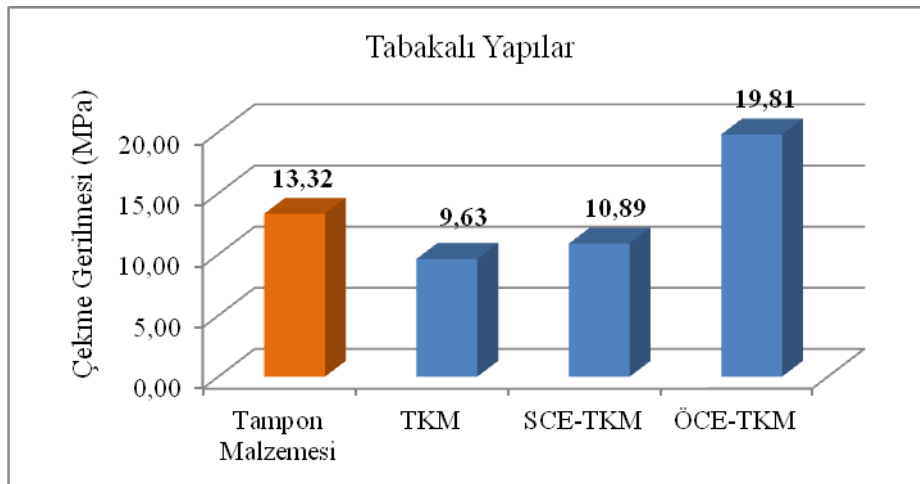
Çizelge 4. Deney malzemelerinin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri

Malzeme	Çekme gerilmesi, $\sigma_c$ (MPa)	Değişim katsayısı, $\sigma_c$ (%)	Elastiklik modülü, E (MPa)	Değişim katsayısı, E (%)
DYPE	9,04	7,00	130	2,23
KM	9,89	3,60	191	0,63
TKM	9,63	1,50	221	19,9
SCE-TKM	10,9	11,6	291	14,9
ÖCE-TKM	19,8	13,3	711	2,48



Şekil 1 : Tabakasız malzemelerin çekme dayanım değerleri

Şekil 1'de görüldüğü üzere % 15 pamuk takviyesi ile oluşturulan karma malzemenin çekme dayanımı değeri, düşük yoğunluklu polietilen malzemenin çekme dayanım değerinden yaklaşık % 9 daha yüksek çıkmıştır. Burada, karma malzeme içerisindeki takviyelerle matris malzemesi arasında oluşan ara yüzey tutunması sonucu dayanım değerinde bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu artışın, mevcut kullanılan tampon malzemesinin çekme dayanım değerinin altında kaldığı tespit edilmiştir.

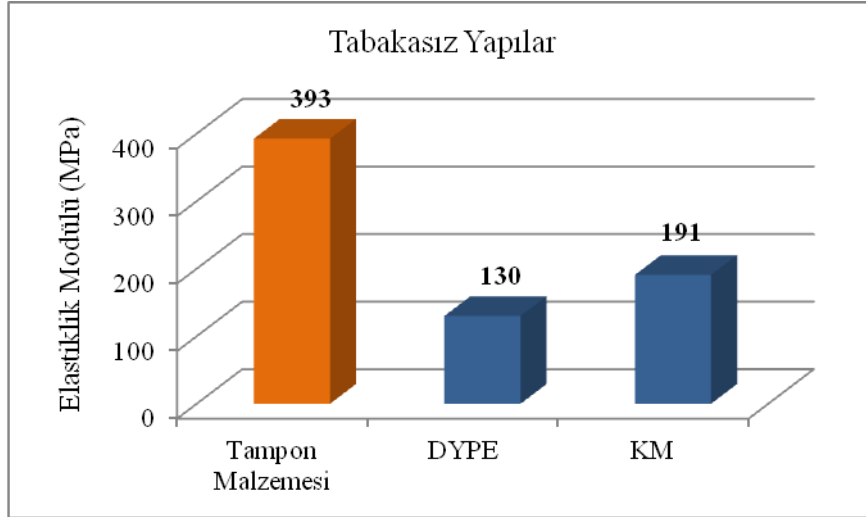


Şekil 2 : Tabakalı malzemelerin çekme dayanım değerleri

Şekil 2'de, % 15 pamuk takviyeli karma malzeme ile cam elyafın farklı formlarının oluşturduğu tabakalı yapıların çekme dayanımları görülmektedir. Cam elyafın kullanıldığı tabakalı yapıların çekme dayanımının cam elyaf olmama durumundaki değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Cam elyafların yüzeyler arasındaki tutunmadan dolayı malzemeye gelen yükü taşıması sebebiyle dayanımı arttırdığı tespit edilmiştir. Serbest cam elyafın kullanılmasıyla çekme dayanım değeri % 13 oranında artarken, 90°/0° örme cam elyafın kullanılmasıyla bu değer % 200'den fazla artmaktadır. Örme cam elyafı durumdaki 2 katı aşan bu yüksek artışın sebebi, uzun ve düzenli dizilmiş elyafların yüzeylerinin tabakalar arasındaki tutunma miktarını arttırması olarak belirlenmiştir.

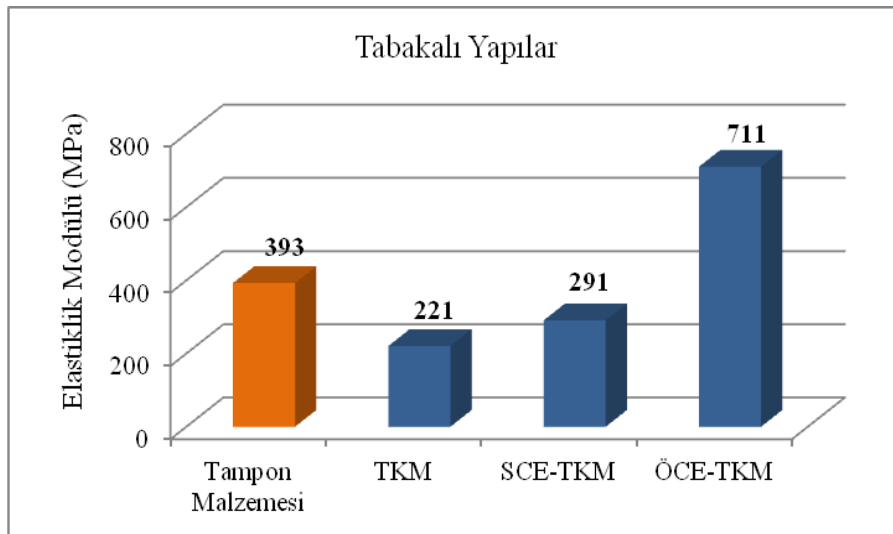
Tabakalı malzemelerin deney sırasında hasara uğraması, cam elyaf/karma malzeme ara yüzeyinde oluşturulan tutunmanın aşılması sonucu gerçekleşmiş, cam elyafların her hangi bir hasarı söz konusu olmamıştır.

Şekil 2'deki grafikte de görüldüğü üzere, örme cam elyafli tabakalı karma malzemenin (ÖCE-TKM) çekme dayanımı, tampon malzemesi dayanım değerini aşan tek malzeme olduğu görülmüştür.



Şekil 3 : Tabakasız malzemelerin elastiklik modülü değerleri

Şekil 3'te görüldüğü üzere, pamuk takviyeli karma malzemenin (KM) elastiklik modülü değeri saf DYPE'nin değerinden yaklaşık % 47 oranında yüksek çıkmıştır. Burada takviye olarak kullanılan pamuk elyaflarının karma malzemenin elastiklik modülünü geliştirdiği görülmektedir. Bu artışın sebebi olarak, Kartalis ve arkadaşlarının 2000 yılında yapmış oldukları çalışmada da belirttikleri üzere, malzemelerin geri dönüşüm işleminde tekrar ekstrüderde sıcaklığa maruz bırakılmasıyla oluşan yeni çapraz bağların ve organik takviye olan pamuktaki radikallerin başlattıkları polimer zincir dallanmasının bir sonucu olarak gösterilebilmektedir [14]. Bunun sonucunda daha rijit bir yapı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4 : Tabakalı malzemelerin elastiklik modülü değerleri



Şekil 4'te görüldüğü üzere, cam elyaf takviyesi ile elastiklik modülü değerlerinde bir artış söz konusu olmuştur. Serbest cam elyaf tabakalı karma malzemenin modül değeri % 32, örme cam elyaf tabakalı karma malzemenin değeri ise yaklaşık % 322 oranında arttırdığı görülmüştür.

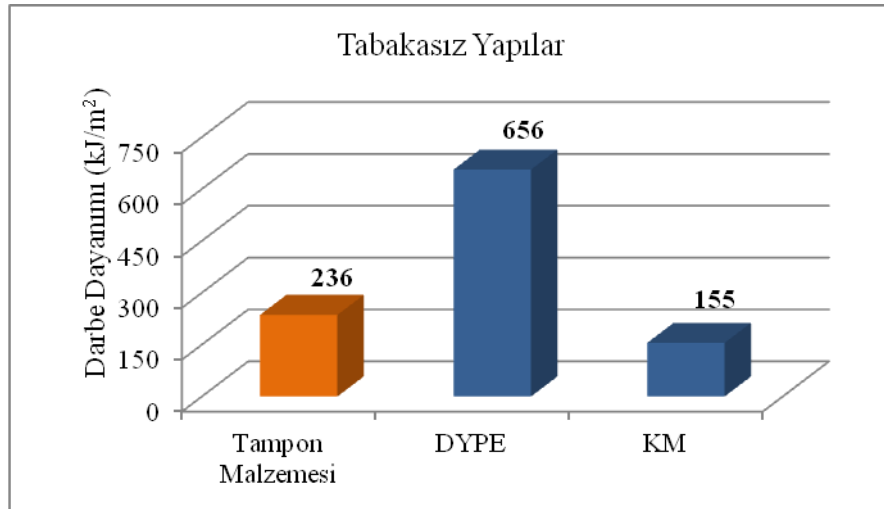
### 3.1.2 Darbe testi

Çizelge 5'te darbe testi sonucu elde edilen darbe dayanımları gösterilmiştir.

Çizelge 5. Deney malzemelerinin darbe dayanımı değerleri

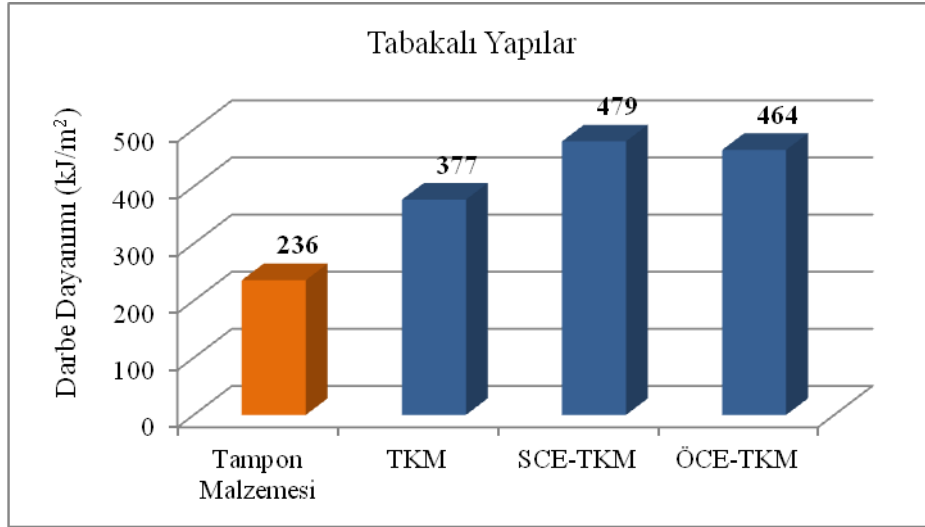
	Darbe dayanımı (kJ/m <sup>2</sup> )	Değişim katsayısı (%)
Tampon malzemesi	236	12,3
DYPE	656	9,81
KM	155	11,1
TKM	377	11,0
SCE-TKM	479	4,39
ÖCE-TKM	464	6,06

Şekil 5'te görüldüğü üzere, takviyesiz DYPE'nin darbe dayanımı, pamuk takviyeli karma malzemenin dayanımının 4 katından daha fazladır. Burada geri dönüşüm işlemi sırasında oluşan termomekanik bozulmayla birlikte polimer zincirlerin ayrışması sonucu gevrek kırılma eğiliminin arttığı, tokluk miktarının düştüğü, dolayısıyla mekanik ve plastiklik özelliklerini azaldığı görülmektedir.



Şekil 5 : Tabakasız malzemelerin darbe dayanımları

Şekil 6'daki grafikte görüldüğü üzere, cam elyaf takviyesiyle birlikte malzemenin darbe dayanımının arttığı görülmektedir. Serbest cam elyaf tabakalı karma malzemede % 27 oranında arttığı, örme cam elyaf tabakalı malzemede ise % 23 oranında arttığı görülmektedir. Burada serbest cam elyaflarının, dağınık halde bulunmaları sebebiyle yükü farklı doğrultularda taşıyarak sağladığı malzeme tokluğuna katkısı örme elyaflarından daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır.

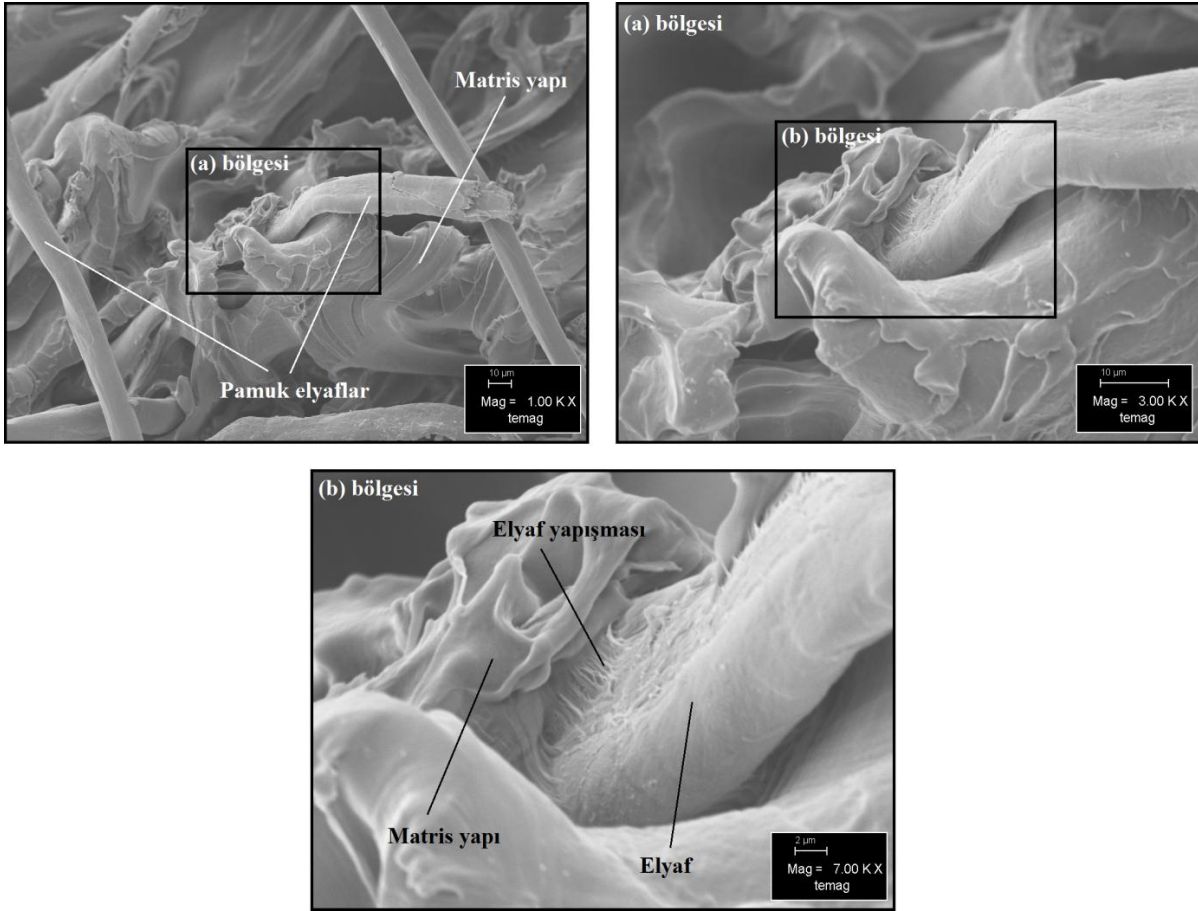


Şekil 6 : Tabakalı malzemelerin darbe dayanımları

### 3.1.3 Tarayıcı elektron mikroskobu görüntüleri (SEM)

Çalışmada kullanılan elyafların malzemelerin mekanik özelliklerine etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, çekme deneyi sırasında kopan parçaların kopma yüzeylerinden farklı büyütmelerdeki SEM (tarayıcı elektron mikroskop) görüntüleri çekilmiştir. Bu görüntüler sayesinde liflerin ve ipliklerin düşük yoğunluklu polietilen malzemeyle etkileşimi ve tutunabilirliği hakkında daha rahat fikir elde edilmiştir.

Karma malzeme üretiminde ilk ekstrüder aşamasında katılan pamuklu kumaş kırpıntı takviyeleri, geri dönüşüm işlemiyle birlikte giderek elyaf halini almışlardır. İpliklerin elyaf haline dönüşümü ile beraber matris-elyaf tutunma yüzey alanı daha fazlaşmakta, böylece geri dönüşüm işlemiyle mekanik özelliklerde de bir iyileşme görülmektedir. Şekil 7'deki görüntüden, plastiğin yük altında elyafa tutunduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 7 : Matris yapı-elyaf tutunmalarının SEM görüntüleri (1000x, 3000x, 7000x)

#### 4. SONUÇ

Çalışmada, mevcut ticari bir ürünün mekanik özelliklerini karşılayacak, doğal elyaftan yapılmış bir karma malzeme oluşturmak amaçlanmıştır. Bu amaçla tek vidalı ekstrüderde oluşturulan karma malzeme tabakalarının meydana getirdiği, örme cam elyaf takviyeli tabakalı karma malzeme (ÖCE\_TKM) oluşturulmuş ve yapılan testler sonucunda, mevcut ticari ürüne göre çekme dayanımında % 49, elastiklik modülü değerinde % 81 ve darbe dayanımı değerinde % 97 artış elde edilerek başarıya ulaşılmıştır.

Test sonuçlarına göre, tabakasız yapılarda pamuk elyafı katkısıyla birlikte malzemenin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerlerinin arttığı, darbe dayanımı değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla malzemenin rijitlik değerleri artış, tokluk değerlerinde de azalış söz konusu olmuştur.

Tabakalı yapılarda ise cam elyafın karma malzeme üzerindeki pozitif hibritleşme etkisiyle, malzemenin çekme dayanımı, elastiklik modülü ve darbe dayanımı değerlerinin arttığı görülmüştür.

#### TEŞEKKÜR

Tarayıcı elektron mikroskobu görüntülerinin elde edilmesine vesile olan, Sn. Dr. Ertan ÖZNERGİZ ve Sn. Edhem KAHRAMAN başta olmak üzere bütün İstanbul Teknik Üniversitesi TEMAG Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederiz.

## 5. KAYNAKÇA

- [1] VIEIRA, C. A. B., SUSIN, S. B. S., FREIRE, E., AMICO, S. C., ZATTERA, A. J., 2009. Characterization of hybrid composites produced with mats made using different methods, **Materials Research**, Vol 12, No.4, 433-436.
- [2] SCHMIDT, T. M., GOSS, T. M., AMICO, S. C., LEKAKOU, C., 2009. Permeability of hybrid reinforcements and mechanical properties of their composites molded by resin transfer molding, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 28, 2839-2850.
- [3] KARINA, M., ONGGO, H., DAWAM ABDULLAH, A. H. VE SYAMPURWADI, A. (2008). Effect of oil palm empty fruit bunch fiber on the physical and mechanical properties of fiber glass reinforced polyester resin. **Journal of Biological Sciences**, 8, 101-106.
- [4] KALAPRASAD, G., FRANCIS, B., THOMAS, S., KUMAR, C. R., PAVITHRAN, C., GROENINCKX, G., 2004. Effect of fiber length and chemical modifications on the tensile properties of intimately mixed short sisal/glass hybrid fiber reinforced low density polyethylene composites, **Polymer International**, 53, 1624-1638.
- [5] PAIVA JUNIOR, C. Z., DE CARVALHO, L. H., FONSECA, V. M., MONTEIRO, S. N., D'ALMEIDA, J. R. M., 2004. Analyses of the tensile strength of polyester/hybrid ramie-cotton fabric composites, **Polymer Testing**, 23, 131-135.
- [6] PANTHAPULAKKAL, S., ZERESHKIAN, A., SAIN, M., 2005. Preparation and characterization of wheat straw fibers for reinforcing application in injection molded thermoplastic composites, **Bioresource Technology**, 97, 265-272.
- [7] HANEEFA, A., BINDU, P., ARAVIND, I., THOMAS, S., 2008. Studies on tensile and flexural properties of short banana/glass hybrid fiber reinforced polystyrene composites, **Journal of Composite Materials**, 42, 1471-1489.
- [8] SAMAL, S. K., MOHANTY, S., NAYAK, S. K., 2009. Banana/glass fiber-reinforced polypropylene hybrid composites: Fabrication and performance evaluation, **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 48, 397-414.
- [9] JARUKUMJORN, K., SUPPAKARN, N., 2009. Effect of glass fiber hybridization on properties of sisal fiber-polypropylene composites, **Composites Part B: Engineering**, 40, 623-627.
- [10] MISHRA, S., MOHANTY, A. K., DRZAL, L. T., MISRA, M., PARIJA, S., NAYAK, S. K., TRIPATHY, S. S., 2003. Studies on mechanical performance of biofiber/glass reinforced polyester hybrid composites, **Composites Science and Technology**, 63, 1377-1385.
- [11] IDICULA, M., NEELAKANTAN, N. R., OOMMEN, Z., JOSEPH, K., THOMAS, S., 2005. A study of the mechanical properties of randomly oriented short banana and sisal hybrid fiber reinforced polyester composites, **Journal of Applied Polymer Science**, 96, 1699-1709.
- [12] ROZMAN, H. D., TAY, G. S., KUMAR, R. N., ABUSAMAH, A., ISMAİL, H. VE MOHD, Z. A. (2001). The effect of oil extraction of the oil palm empty fruit bunch on the mechanical properties of polypropylene-oil palm empty fruit bunch-glass fiber hybrid composites, **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 40, 103-115.
- [13] BAKKAL, M., BODUR, M. S., BERKALP, O.B., YILMAZ, S., 2010. The effect of reprocessing mechanical properties of the waste fabric reinforced composites. **J. Mater. Process Tech.**

### 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi

29-30 Kasım 2012- Balıkesir



- [14] KARTALIS, C. N., PAPASPRIDES, C. D., PFAENDNER, R., 2000. Recycling of post-used PE packaging film using the restabilization technique, **Polymer Degredation and Stability**, 70, 189-197.