



## **Saman Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilen Kompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Su Emme Kapasitelerindeki Değişimlerin İncelenmesi**

### **Investigation of Changes in Mechanical Properties and Water Absorption Capacities of Straw Reinforced High Density Polyethylene Composites**

**Yılmaz Kısmet <sup>1</sup>, Akar Doğan <sup>2,3\*</sup>**

<sup>1,2</sup> Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

<sup>3</sup> Munzur Üniversitesi, Nadir Toprak Elementleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Tunceli, Türkiye

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [akardogan@munzur.edu.tr](mailto:akardogan@munzur.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 20.06.2022

Kabul Tarihi / Accepted: 10.08.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2023257316

*Atıf şekli/How to cite:* KISMET, Y., DOĞAN, A. (2023). Saman Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilen Kompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Su Emme Kapasitelerindeki Değişimlerin İncelenmesi. DEÜ FMD 25(73), 193-204.

#### **Öz**

Bu çalışmada, poliolefinler grubunun önemli bir üyesi olan yüksek yoğunluklu polietilen ile saman bitkisinden oluşan kompozitler üretilmiştir. Kompozit malzemeler, yüksek yoğunluklu polietilen içerisine saman takviyesi ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranlarında takviye edilerek üretilmiştir. Bu karışımlar öncelikle mekanik olarak karıştırılmış daha sonra homojen bir karışım oluşturabilmek için 160 ila 180 °C sıcaklıklar arasında ekstrüzyondan geçirilmiştir. Ekstrüzyon sonrası elde edilen karışım önce soğutma havuzunda soğutulmuş daha sonra kırıcıdan geçirilerek granül hale getirilmiştir. Elde edilen bu granüller plastik enjeksiyon makinasında kalıplara basılarak standart test numuneleri üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin takviye malzemesi oranı ile mekanik özelliklerindeki ve su emme kapasitelerindeki değişimler incelenmiş ve sonuçlar grafik ve tablo olarak verilmiştir. Kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri, üç nokta eğilme mukavemetleri ve izod darbe dayanımları analiz edilmiştir. Malzemelerin çekme ve izod darbe dayanımları azalırken, eğilme mukavemetinde iyileşme gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek Yoğunluklu Polietilen, Saman, Ekstrüzyon, Enjeksiyon Kalıplama, Mekanik Analizler, Kompozit

#### **Abstract**

In this study, composites consisting of high-density polyethylene, an important member of the polyolefins group, and straw plant were produced. Composite materials are produced by reinforcing straw into high-density polyethylene at 5%, 10% and 20% by weight. These mixtures were first mixed mechanically and then extruded between 160 and 180 °C temperatures in order to form a homogeneous mixture.. The mixture obtained after extrusion was first cooled in the cooling pool and then passed through the crusher and brought in granular form. These obtained granules were pressed into the molds in the plastic injection machine and standard test samples were produced. The variations in the mechanical properties and water absorption capacities of the produced composites

with the reinforcement material ratio were examined and the results were given as graphics and tables. Tensile strength, three-point bending strength and izod impact strength of composite materials were analyzed. While the tensile and izod impact strengths of the materials decreased, an improvement in flexural strength was observed.

**Keywords:** High Density Polyethylene, Straw, Extrusion Molding, Injection, Mechanical Analysis, Composite

## 1. Giriş

Günümüz dünyasında atık malzemelerin tekrar kullanılması ve bu şekilde alternatif ürünler geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu noktada gelişen teknolojiyi de kullanarak insan ihtiyaçlarını içinde yaşadığımız doğaya zarar vermeden geri dönüşüm ile karşılamaya çalışarak farklı malzemeler geliştirilmektedir [1].

En çok kullandığımız, günlük hayatımızın her alanında ihtiyaç duyduğumuz birçok malzeme direk polimer veya polimer matrisli kompozit malzemelerdir. Üretimini kolay, maliyetinin düşük ve hafif olmaları gibi nedenlerden dolayı polimer esaslı malzemeler endüstride hemen hemen her alanda tercih edilir [2]. Polimer malzemeler direkt bir ürünün eldesin de kullanıldıkları gibi matris malzemesi olarak da kompozit malzemelerin üretiminde kullanılırlar. Polimer esaslı kompozit malzemeler sahip oldukları yüksek dayanım-ağırlık oranlarıyla sayesinde havacılık, otomotiv, uzay alanları gibi birçok uygulamada geleneksel metallerin yerini almışlardır [3]. Polimer matrisli herhangi bir kompozit malzemede sentetik veya doğal yapıda organik/inorganik malzemeler takviye elemanları olarak kullanılmaktadır. Doğal lifleri, polimerlerde (termoplastik ve termoset) takviye malzemeleri olarak kullanarak, ham maddelerin nihai bertarafı ve iyi çevresel faydalara sahip yeşil malzemeler üretmek mümkündür. Bu nedenle, son birkaç yılda, kompozitlerde geleneksel sentetik liflerin doğal liflerle değiştirilmesinin fizibilitesini araştıran bazı çalışmalar yapılmıştır [4-7]. Ayrıca, tüketimin her geçen gün artması ile günümüzde sürdürülebilir ürünlerin kullanılmasına büyük bir ihtiyaç vardır [8-10]. Kullanılan takviye malzemeleri ile polimer matrisin mekanik, ısı ya da fiziksel özellikleri gibi farklı birçok özelliği iyileştirilebilmektedir [11]. Örnek olarak mobilya endüstrisinde mobilya parçalarının üretiminde odun talaşlarının sentetik malzemeler ile karıştırılmasını verebiliriz [12]. Odun talaşı dışında doğal ve sürekli yetişen, muz lifi [13], Hindistan cevizi lifi [14], bambu [15],

jüt[16] keten [17], kolza [18], kenevir [19], [20] ve fıstık kabuğu [21] gibi hammaddeler ile takviye edilmiş polimer matrisli kompozitlerin mekanik, ısı ya da farklı fiziksel özellikleri araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Bu özelliklerin iyileştirilmesinin dışında maliyeti düşüreceği için ekonomik kazanımlar elde edilecektir.

Termoplastik polimerlerin poliolefin grubunun en yaygın üyelerinden biri olan polietilen, bir ya da birden fazla çifte bağa sahip bir hidrokarbon olan etilen ( $CH_2=CH_2$ ) monomerinin polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Etilenin polimerizasyonu sonucunda elde edilen parlak, dayanıklı maddeye polietilen denilmektedir. Isıtıldığında düşük viskoz özelliklere sahip polietilen oda sıcaklığında katı halde bulunur. Bu polimerler termoplastik özelliğe sahip oldukları için hiçbir bozunma olmaksızın defalarca ısıtılıp soğutulabilmektedirler. Yoğunluk ve zincir yapısına göre yüksek yoğunluklu, alçak yoğunluklu ve lineer alçak yoğunluklu olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar[1], [22]. Polietilen içerisinde de organik ve inorganik olmak üzere pek çok dolgu maddesi kullanılmakta ve bu şekilde farklı türden kompozitler geliştirilmektedir [23], [24].

Bu çalışmada ise yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) içerisinde kurutulmuş saman takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Saman bitkisi YYPE içerisine ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranlarında takviye edilmiştir. Karışımlar önce mekanik olarak bir mikserde daha sonra da belirli sıcaklıklarda homojen yapı elde edilecek şekilde ekstrüzyonda oluşturulmuştur. Elde edilen bu homojen karışım soğutulup granül hale getirildikten sonra plastik enjeksiyon makinasında deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca numunelerin yoğunlukları ve su emme kapasiteleride araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada matris malzemesi olarak "I-668" ürün numaralı PETKİM AŞ. tarafından üretilen yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak ise ülkemizin Tunceli bölgesinde buğday üretimi sonrası elde edilen saman kullanılmıştır. Tablo 1'de YYPE malzemesinin özellikleri verilmiştir. Burada MFI malzemenin erime akış indeksini (Melt Flow Index) göstermektedir.

**Tablo 1.** YYPE (I-668) malzemesinin bazı özellikleri

**Table 1.** Some properties of HDPE (I-668) material

Özellikler	Değer	Birim
MFI (190 °C/2,16kg)	4,4-6,4	g/10dak
Yoğunluk	0,963- 0,967	g/cm <sup>3</sup>
Erime Sıcaklığı	110-140	°C

Matris ve takviye malzemelerinin karışımları oluşturulmadan önce kurutulmuş saman atıkları öğütülerek küçük parçacıklar haline getirilmiştir. Daha sonra eleklerden geçirilerek tane büyüklüğü 2 ila 4 mm olacak şekilde ayrıştırılmıştır. Bu şekilde elde edilen saman daha sonra ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranlarında yüksek yoğunluklu polietilen ile mekanik olarak bir mikserde karıştırılmıştır. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda polimer matrisli kompozitlerin artan doğal takviye malzemesi miktarı ile çekme gerilmelerinin önemli ölçüde azaldığını görülmüştür. Ayrıca, %20 takviye malzemesi karışımı üzerindeki değerlerde, malzemenin erime akış indeksi değeri oldukça düşmüştür. Bu nedenle bu çalışmada da takviye malzemesi matris içerisinde ağırlıkça karışım oranının üst sınırının %20 olması uygun bulunmuştur [3], [11], [25], [26].

Tablo 2'de oranları belirtilen matris ve takviye malzemeleri mekanik karışımından sonra, karışımların mümkün olduğunca homojen bir yapıda olabilmesi için, oluşturulan karışımlar 160 ila 180 °C sıcaklıklarında arasında ısıtma bölmeleri olan "S-265 00 ASTORP" model tek vidalı ekstrüdere dökülmüştür. Ekstrüderin çıkışında silindirik bir kalıp kafası mevcut olup, buradan çıkan karışım şerit şeklinde çekilip

soğutma havuzundan geçirilerek soğutulmuş ve daha sonra kırıcıya yönlendirilmiştir. Kırıcı ile bu şeritler granül haline getirilmiştir. Bu granüllerden standart test numuneleri elde etmek için, plastik enjeksiyon makinesi ile kalıplara basılmıştır. Çekme, üç nokta eğilme ve izod darbe deney numuneleri üretilmiştir. Üç bölge ısıtmaya sahip enjeksiyon makinesindeki sıcaklıklar 180 °C olarak ayarlanmıştır. Enjeksiyon meme sıcaklığı ise 170 °C olarak belirlenmiştir [11], [27-29]. Şekil 1'de malzemelerin üretimi sırasında uygulanan akış şeması görülmektedir.

**Tablo 2.** Karışım türü ve oranları

**Table 2.** Mixture type and proportions

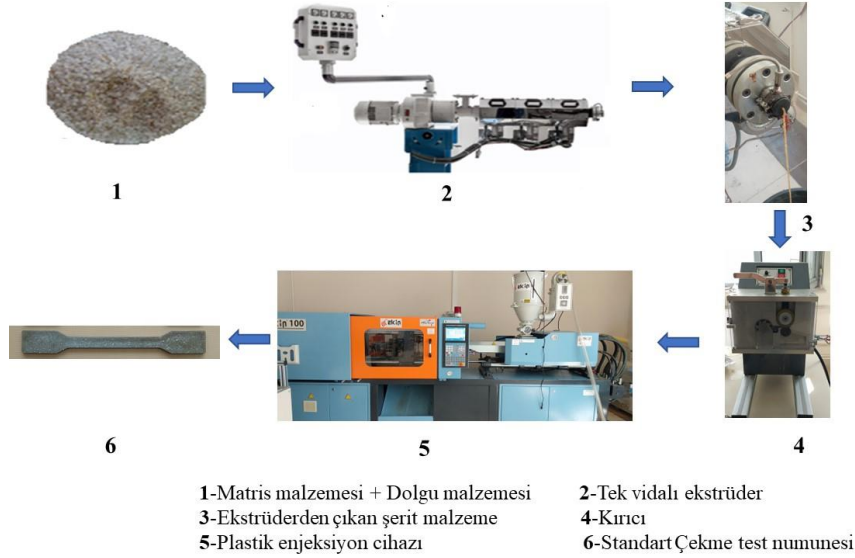
Karışım	YYPE Oranı [%]	Saman Oranı [%]
A	100	-
B	95	5
C	90	10
D	80	20

Her bir test için beşer adet test numunesi kullanılmış ve ortalama değerler ile standart sapma değerleri verilmiştir. Çekme testi ASTM D 638 [30] standardına uygun olarak 50 mm/dak çekme hızında ve üç nokta eğilme testi ise ASTM D 790 [31] standardına uygun olarak 10 mm/dak hız ile Shimadzu marka AG-IC model (Japonya) 10 ton yük kapasitesine sahip universal çekme test cihazında yapılmıştır. Darbe analizi ise Şekil 2'de verilen numunelerin sağ ve sol kenarları kesilerek 80mm×10mm×4mm boyutlarında ki numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir [1], [2].

Saman ile taviye edilmiş YYPE malzemelerinin su emme kapasitelerindeki değişimlerde incelenmiştir. Malzemelerin su emme kapasitelerindeki değişimi incelemek için, ASTM D570 [32] standardı kullanılarak, malzemeler 63 gün boyunca oda sıcaklığında su içerisinde bekletilmiş ve her yedi günde bir kısa süreliğine sudan çıkarılıp kurutulduktan sonra ağırlıkları ölçülmüş ve not alınmıştır. Daha sonra Formül 1 yardımı ile malzemelerin ağırlıklarındaki yüzdelik değişimler (M) bulunmuştur.

$$M = [(m_2 - m_1) / m_1] \times 100 \quad (1)$$

Burada, M numunenin ağırlığındaki yüzdelik değişimi, m<sub>1</sub> malzemelerin ilk ağırlığı, m<sub>2</sub> ise suya batırıldıktan sonra her yedi gün sonunda ölçülen ağırlıktır.



Şekil 1. Üretimin Akış Şeması

Figure 1. Production Flow Chart



Şekil 2. Farklı oranlarda saman ile takviye edilmiş YYPE standart test numuneleri

Figure 2. Standard test samples of straw reinforced HDPE in different proportions

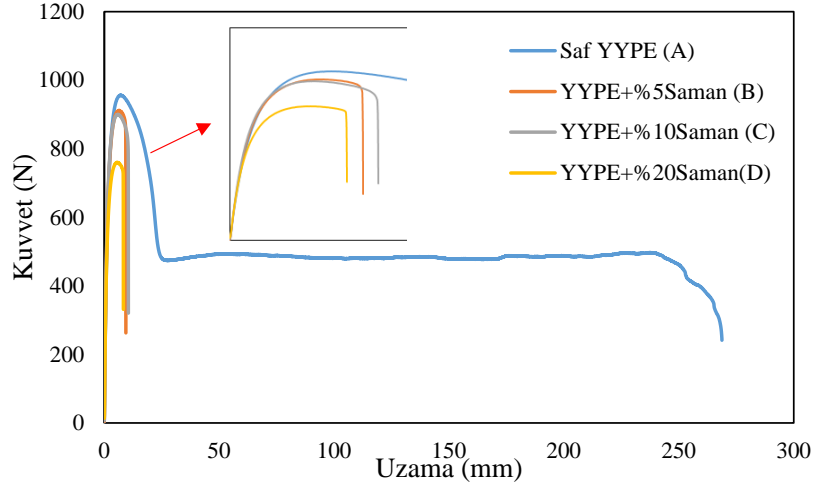
### 3. Bulgular

Tablo 1'de belirtilen takviye malzemesi oranlarına sahip karışımlarından üretilmiş standart çekme deney numuneleri ile üniversal çekme test cihazında dakikada 50 mm hız ile çekme testi yapılmıştır. Çekme testi sonunda elde edilen farklı saman oranına sahip YYPE

malzemelerine ait kuvvet uzama eğrileri Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere özellikle takviye malzemesi ile YYPE malzemesinin uzama miktarında keskin bir düşüş meydana gelmiştir. Saf YYPE malzemesinin maksimum uzama miktarı 250 mm civarında iken saman ile takviye edilmiş

YYPE malzemelerinin maksimum uzama değeri 10 mm civarındadır. Bu da maksimum uzama miktarında yaklaşık olarak 25 kat azalma anlamına gelmektedir. Aynı şekilde maksimum kuvvet değerinde de saman miktarının artması ile düşüş gözlenmiştir. Bunun yanında saf YYPE malzemenin kuvvet değeri 950 N civarında olan

maksimum değerine ulaştıktan sonra 470 N'a kadar düşmüş ve sabit bir kuvvet altında uzamaya devam etmiş daha sonra 250 mm uzama civarında kopmuştur. Ancak saman ile takviye edilmiş YYPE malzemelerinde kuvvet değeri maksimum değere ulaştıktan kısa bir süre sonra kopma meydana gelmiştir.



Şekil 3. Farklı takviye malzemesi oranına sahip YYPE'nin Kuvvet-Uzama eğrileri

Figure 3. Force-Elongation curves of HDPE with different reinforcement material ratio

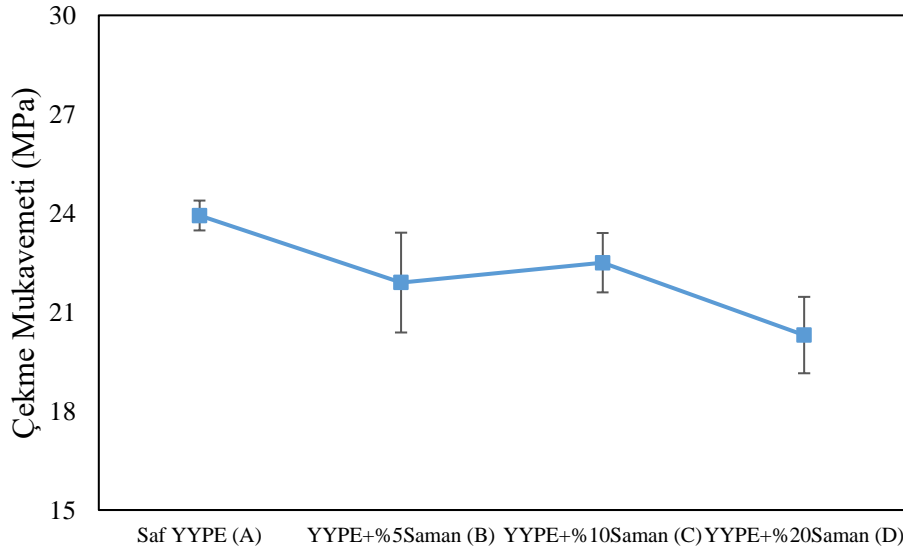


Şekil 4. Çekme testine tabi tutulmuş numunelerin görüntüleri

Figure 4. Images of samples subjected to tensile test

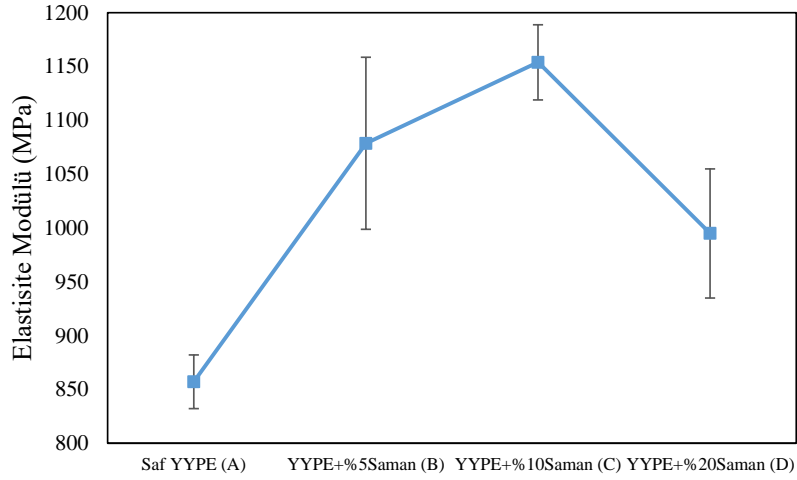
Farklı oranda saman ile takviye edilmiş YYPE kompozit malzemelerinin çekme testi sonucunda hasara uğramış numune görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Saf YYPE malzemesi Kuvvet-Uzama eğrilerinde değinildiği gibi sünek bir karakteristik sergilerken, saman takviyesi ile malzemelerdeki hasar gevrek malzeme hasar türüne dönüşmüştür. Şekil 5'te YYPE malzemesinin çekme mukavemetinin saman takviyesi oranı ile değişimi görülmektedir. Saf YYPE malzemesinin çekme mukavemeti 24 MPa iken, bu değer %5, %10 ve %20 saman takviyeli YYPE malzemelerinde sırasıyla 22 MPa, 22,5 MPa ve 20 MPa civarındadır. Ayrıca, şekilde görüldüğü üzere saman miktarının artması ile standart sapma değerinin yükseldiği görülmektedir. Şekil 6'da ise farklı oranda saman ile takviye edilmiş YYPE malzemelerinin Elastisite modülleri verilmiştir. Elastisite modülü saman takviyesi ile artmıştır. Ancak %20 saman takviyeli YYPE malzemesinin Elastisite modülü %5 ve %10 saman takviyeli YYPE

malzemesine göre düşmüştür. Matris malzemesi içerisindeki takviye malzemesinin oranının artması ile topaklanma miktarının artması ve homojenliğinin azalması bu durumun sebebi olabilmektedir. Saf, %5, %10 ve %20 saman takviyeli YYPE malzemelerin Elastisite modülü sırasıyla, 850 MPa, 1080 MPa, 1150 MPa ve 990 MPa olarak ölçülmüştür. Parçacık takviyeli kompozit malzemelerde giderilemeyen hava boşlukları ve ara-yüzey yapışma kusurlarından dolayı gözenekli yapı artacağından süneklik ve mukavemet azalır. Artan gözenekli yapı yüzünden malzemeler için, kopma gerilimi akma dayanımının altındadır ve gerinim de düşük olduğundan ölçülen uzama da düşüktür[33], [34]. Ayrıca, zayıf ara yüzey bağlanması, kısmen ayrılmış mikro boşluklar yaratır, bu da takviye malzemesi ve matris arasındaki gerilimin ilerlemesini engeller. Takviye malzemesi arttıkça bu engelin derecesi artar, bu da rijitliği artırır [35]-[37].



**Şekil 5.** Farklı takviye malzemesi oranına sahip YYPE'lerin çekme mukavemetlerindeki değişim

**Figure 5.** Change in the tensile strength of HDPE with different reinforcement material ratio

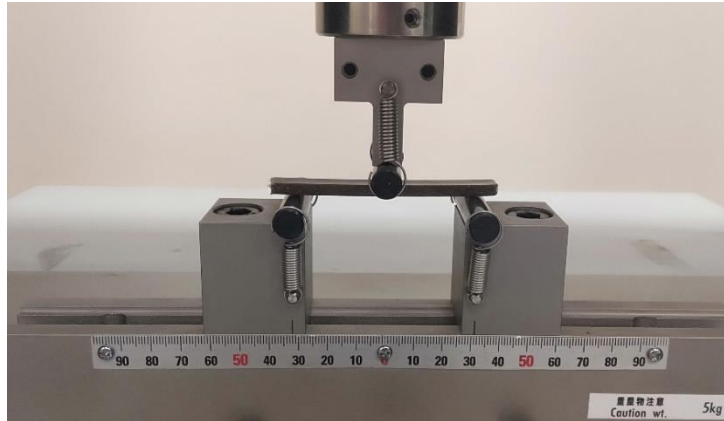


**Şekil 6.** Farklı takviye malzemesi oranına sahip YYPE'lerin Elastisite modülündeki değişim

**Figure 6.** Change in the Elastic modulus of HDPE with different reinforcement material ratio

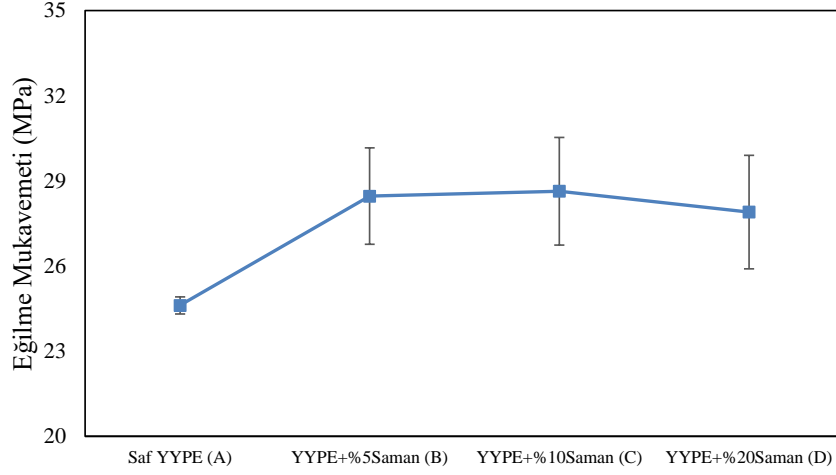
Malzemelerin eğilme mukavemetini bulmak için üç-nokta eğilme testleri yapılmıştır. Şekil 7'de üç nokta eğilme testi düzeneği ve test numunesi görülmektedir. Şekil 8'de ise takviye malzemesi oranına bağlı olarak YYPE'nin eğilme mukavemetindeki değişim verilmiştir. Eğilme mukavemeti çekme gerilmesinden farklı olarak YYPE içerisindeki takviye malzemesi miktarının artışı ile saf YYPE malzemesine göre artmıştır. Saf YYPE malzemesinin eğilme mukavemeti 25 MPa iken, %5, %10 ve %20 saman takviyeli YYPE malzemelerinin eğilme mukavemetleri

sırasıyla 28 MPa, 29 MPa ve 27 MPa olarak ölçülmüştür. Benzer sonuçlar, Kısmet ve Dogan [18] tarafından incelenen kolza bitkisi ile takviye edilmiş YYPE malzemelerin mekanik özelliklerinde görülmüştür. Ayrıca, takviye malzemesinin artması ile matris ve takviye malzemesi arasındaki ara yüzey yapışma bölgesi artmaktadır. Böylece, olası ara-yüzey yapışma kusurları artar ve takviye malzemesinin matris malzemesi içinde homojen dağılımını azalır. Sonuç olarak, numunelerin standart sapmaları yükselir.



**Şekil 7.** Üç nokta eğilme test düzeneği ve test numunesi

**Figure 7.** Three-point bending test apparatus and test specimen

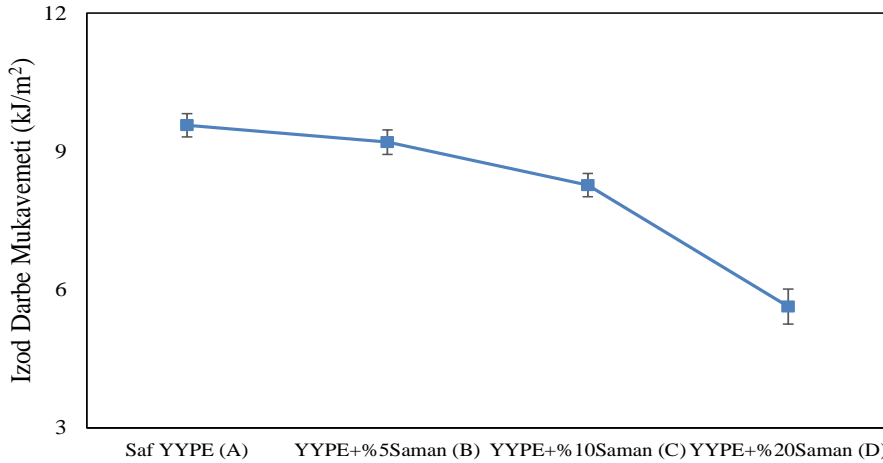


**Şekil 8.** Farklı takviye malzemesi oranına sahip YYPE'lerin eğilme mukavemetlerindeki değişim

**Figure 8.** Change in the bending strength of HDPE with different reinforcement material ratio

Takviye malzemesi miktarına bağlı olarak YYPE'nin Izod-Darbe mukavemetinin değişimi ve standart sapmaları Şekil 9'da verilmiştir. Çekme mukavemetine benzer şekilde, Izod darbe mukavemeti de takviye malzemesinin oranı arttıkça düşmektedir. Saf YYPE, %5, %10 ve %20 oranında saman takviyeli YYPE malzemelerinin Izod darbe mukavemeti

değerleri sırasıyla, 9,5 kJ/m<sup>2</sup>, 9,2 kJ/m<sup>2</sup>, 8,3 kJ/m<sup>2</sup> ve 5,6 kJ/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Değerlerde görüldüğü üzere %20 oranında saman ile takviye edilmiş YYPE malzemesinin Izod darbe mukavemeti saf YYPE malzemesine göre %41 oranında düşmüştür. Bu düşüş oranı %5 ve %10 saman ile takviye edilmiş YYPE malzemelerinde ise %3 ve %12 oranındadır.



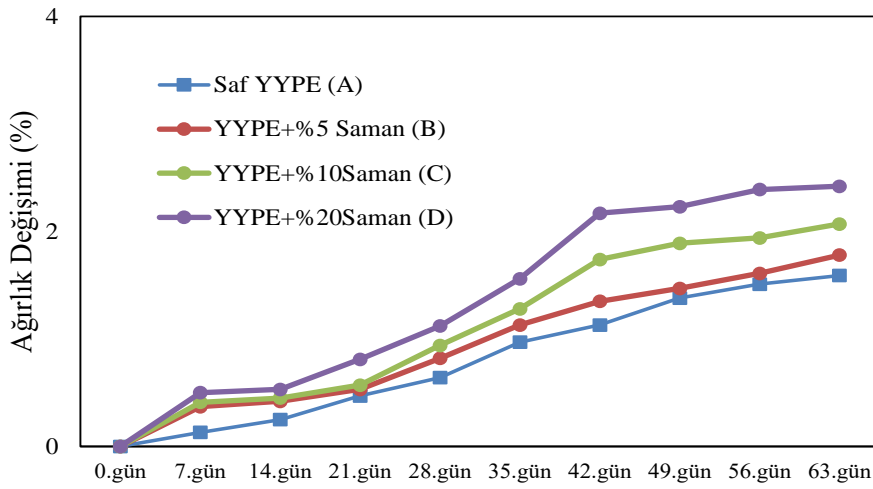
**Şekil 9.** Farklı takviye malzemesi oranına sahip YYPE'lerin Izod darbe mukavemetlerindeki değişim

**Figure 9.** Change in the impact strength of HDPE with different reinforcement material ratio



Dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak YYPE'nin su emme kapasitesindeki değişim Şekil 10'da görülmektedir. Saf YYPE malzemesinin ağırlığında haftalık olarak lineer bir artış meydana gelmiştir. Bunun yanında saf YYPE malzemesinin ağırlığındaki değişim saman takviyeli malzemelere oranla daha düşüktür. İlk bir hafta sonunda farklı oranda saman takviyeli YYPE malzemelerin ağırlığında hızlı bir değişim görülmüş ve daha sonraki iki hafta nispeten ağırlık artışı daha az bir oranda meydana gelmiştir. Bununla birlikte, üçüncü ve altıncı haftalar arasında artış oranı yükselmiş ve daha

sonraki haftalarda bu artış hızı düşmüştür. Beklenildiği üzere saman takviye oranı yükseldikçe malzemelerin su emme kapasiteleri artmıştır. Örneğin, saf YYPE malzemesinin dokuzuncu hafta sonunda su emme kapasitesi %1,6 iken bu değer, %5, %10 ve %20 saman takviyeli YYPE malzemelerinde sırasıyla %1,8, %2,1 ve %2,4 olarak ölçülmüştür. Saman takviye oranının artması ile daha önceden bahsedilen hava boşluklarının artmasının yanında samanın YYPE malzemesine göre su emme kapasitesinin yüksek olması nedeniyle saman oranının artması ile malzemelerin su emme kapasitesi artmıştır.



Şekil 10. Takviye malzemesi miktarına bağlı olarak YYPE'nin su emme kapasitesindeki değişimi

Figure 10. Variation in the water absorption capacity of HDPE depending on the amount of reinforcement material

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, farklı oranlarda saman ile takviye edilmiş yüksek yoğunluklu polietilen kompozit malzemelerinin mekanik özellikleri ve su emme kapasiteleri incelenmiştir ve aşağıda ki sonuçlar elde edilmiştir;

1) Çekme deneyi ile hasara uğrayan malzemelerin kesit yüzeyleri incelendiğinde, gözle görülür bir şekilde saman takviyesi ile YYPE matris malzemesinin yeterince homojen karışmadığı hava boşluklarının olduğu gözlenmiştir. Saman takviye oranı arttıkça bu boşlukların oranının arttığı, bu da sonuç olarak saman takviyesi oranının artışı ile çekme mukavemetinde düşüşe neden olmuştur. Yüzde yirmi oranında saman takviyeli YYPE

malzemesinin çekme mukavemeti saf YYPE malzemesine göre yüzde 16 daha düşüktür.

2) Malzemelerin eğilme mukavemeti ise takviye malzemesi miktarının artması ile yükselmiştir. Ancak, yüzde yirmi saman ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin eğilme mukavemetleri yüzde beş ve yüzde on saman takviyeli kompozit malzemelere göre düşüktür. Takviye malzemesinin oranının artması eğilme dayanımı daha da düşürebilecektir.

3) Çekme mukavemetine benzer şekilde üretilen numunelerin darbe dayanımı artan takviye malzemesi miktarı ile azalmış ve yüzde yirmi saman takviyeli YYPE malzemesinde saf YYPE malzemeye göre yaklaşık olarak %40 oranında düşüş göstermiştir.

4) Takviye malzemesinin oranı arttıkça üretilen malzemenin su emme kapasiteleri artmıştır. 63 gün sonunda farklı oranlarda saman takviye edilmiş YYPE malzemenin su emme kapasitelerinde, saf YYPE malzemesine göre yaklaşık olarak %2 ila %8 arasında artış gözlenmiştir.

Sonuç olarak, farklı oranlarda saman ile takviye edilmiş yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin eğilme mukavemetlerinde iyileşme görülürken çekme ve darbe dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Eğilme mukavemeti, yüzde on saman takviyeli kompozit malzemede maksimum değere ulaşmış ve yüzde yirmi saman takviyeli malzemede düşüş göstermiştir. Çekme ve darbe dayanımlarının iyileştirilmesi için ekstrüzyon işlemi için tek vidalı ekstrüder yerine çift vidalı ekstrüder kullanılabilir ve bu şekilde karışım içerisindeki hava boşlukları minimize edilebilir ve homojenlik artırılabilir. Bununla birlikte, karıştırma işleminden önce saman malzemesi ile YYPE malzemeleri arasındaki ara-yüzey yapışmasını artırmak için saman malzemesine çeşitli iyileştirmeler uygulanarak, bu kompozit malzemenin mekanik özellikleri iyileştirilebilir.

## 5. Discussion and Conclusion

In this study, the mechanical properties and water absorption capacities of high density polyethylene composite materials reinforced with straw at different ratio were investigated and the following results were obtained;

1)When the cross-sectional surfaces of the materials damaged by the tensile test were examined, it was observed that air voids were formed where the straw reinforcement and HDPE matrix material were not mixed sufficiently homogeneously. As the straw reinforcement ratio increased, the ratio of these voids increased, resulting in a decrease in the tensile strength with the increase in the straw reinforcement ratio. The tensile strength of the 20 percent straw reinforced HDPE material is 16 percent lower than the pure HDPE material.

2)The bending strength of the materials increased with the increase in the amount of reinforcement material. However, the bending strengths of composite materials reinforced with 20 percent straw are lower than composite materials reinforced with five percent and ten

percent straw. Increasing the rate of reinforcement material will further decrease the flexural strength.

3) The impact strength of the samples produced decreased similar to the tensile strength with the increasing amount of reinforcement material and decreased by approximately 40% in the 20% straw reinforced HDPE material compared to the pure HDPE material.

4) As the proportion of reinforcement material increased, the water absorption capacity of the produced material increased. At the end of 63 days, an increase in the water absorption capacity of HDPE materials with different proportions of straw was observed between 2% and 8% compared to pure HDPE material.

As a result, flexural strengths of high-density polyethylene materials reinforced with different proportions of straw were improved, while tensile and impact strengths decreased. The flexural strength reached its maximum value in the ten percent straw reinforced composite material and decreased in the twenty percent straw reinforced material. In order to improve the tensile and impact strengths, a twin screw extruder can be used instead of a single screw extruder for the extrusion process, and in this way, the air gaps in the mixture can be minimized and homogeneity can be increased. However, the mechanical properties of this composite material can be improved by applying various improvements to the straw material to increase the interfacial adhesion between the straw material and HDPE materials before mixing.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

## Kaynakça

- [1] Kismet, Y. 2012. Entwicklung eines Verfahrens für die Verwertung von Pulverlackrecyclaten, Technische Universität Berlin, PhD Thesis, Berlin.
- [2] Akier, A.H. 2011. Untersuchungen zum Materialverhalten von Rapsstroh-polypropylen compounds (Cilt. 73). Univerlag tuberlin.
- [3] Doğan, A., Kismet, Y. 2021. Gama Işımasının Kolza Takviyeli Polipropilen Kompozit Malzemenin

- Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, *Int J Pure Appl Sci, Cilt. 7*, s. 490–499. DOI: 10.29132/ijpas.996361.
- [4] Pervaiz, M., Sain, M.M. 2003. Carbon storage potential in natural fiber composites, *Resour Conserv Recycl, Cilt. 39*, s. 325–340. DOI: 10.1016/S0921-3449(02)00173-8.
- [5] Roumeli, E., Terzopoulou, Z., Pavlidou E., ve diğ. 2015. Effect of maleic anhydride on the mechanical and thermal properties of hemp/high-density polyethylene green composites, *J Therm Anal Calorim, Cilt. 121*, s. 93–105. DOI: 10.1007/s10973-015-4596-y.
- [6] Russo, P., Simeoli, G., Acierno, D., Lopresto, V. 2015. Mechanical properties of virgin and recycled polyolefin-based composite laminates reinforced with jute fabric, *Polym Compos, Cilt. 36*, s. 2022–2029. DOI: 10.1002/pc.23112.
- [7] Oumer, A.N., Bachtiar, D. 2014. Modeling and experimental validation of tensile properties of sugar palm fiber reinforced high impact polystyrene composites, *Fibers Polym, Cilt. 15*, s. 334–339. DOI: 10.1007/s12221-014-0334-5.
- [8] Jariwala, H., Jain, P. 2019. A review on mechanical behavior of natural fiber reinforced polymer composites and its applications, *J Reinf Plast Compos, Cilt. 38*, s. 441–453. DOI: 10.1177/0731684419828524.
- [9] Singh, S., Ramakrishna, S., Gupta, M.K. 2017. Towards zero waste manufacturing: A multidisciplinary review, *J Clean Prod, Cilt. 168*, s. 1230–1243. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.108.
- [10] Kandas, H., Özdemir, O. 2021. Çam ve Meşe Palamudu Tozu Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendis Fakültesi Fen Ve Mühendis Derg, Cilt. 23*, S. 147–155. DOI: 10.21205/deufmd.2021236713
- [11] Nawang, R., Danjaji, I.D., Ishiaku, U.S., ve diğ. 2001. Mechanical properties of sago starch-filled linear low density polyethylene (LLDPE) composites, *Polym Test, Cilt. 20*, s. 167–172. DOI: 10.1016/S0142-9418(00)00018-0
- [12] Olszewski, A., Kosmela, P., Piszczyk, L. 2021. Synthesis and characterization of biopolyols through biomass liquefaction of wood shavings and their application in the preparation of polyurethane wood composites, *Eur J Wood Wood Prod, s. 1–18*. DOI: 10.1007/s00107-021-01755-6
- [13] Kenned, J.J., Sankaranarayanan, K., Binoj, J.S., Chelliah, S.K. 2020. Thermo-mechanical and morphological characterization of needle punched non-woven banana fiber reinforced polymer composites, *Compos Sci Technol, Cilt. 185*, s. 107890. DOI: 10.1016/j.compscitech.2019.107890
- [14] Widnyana, A., Rian, I.G., Surata, I.W., Nindhia, T.G.T. 2020. Tensile Properties of coconut Coir single fiber with alkali treatment and reinforcement effect on unsaturated polyester polymer, *Mater Today Proc, Cilt. 22*, s. 300–305. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.08.155
- [15] Aruchamy, K., Subramani, S.P., Palaniappan, S.K., ve diğ. 2020. Study on mechanical characteristics of woven cotton/bamboo hybrid reinforced composite laminates, *J Mater Res Technol, Cilt. 9*, s. 718–726. DOI: 10.1016/j.jmrt.2019.11.013
- [16] Ovalı, S., Sancak, E. 2020. Investigation of mechanical properties of jute fiber reinforced low density polyethylene composites, *J Nat Fibers, s. 1–18*. DOI: 10.1080/15440478.2020.1838999
- [17] Fiore, V., Calabrese, L., Miranda, R., ve diğ. 2022. On the response of flax fiber reinforced composites under salt-fog/dry conditions: Reversible and irreversible performances degradation, *Compos Part B Eng, Cilt. 230*, s. 109535. DOI: 10.1016/j.compositesb.2021.109535
- [18] Kismet, Y., Dogan, A. 2022. Characterization of the mechanical and thermal properties of rape short natural-fiber reinforced thermoplastic composites, *Iran Polym J, Cilt. 31*, s. 143–151. DOI: 10.1007/s13726-021-00988-9
- [19] Saha, A., Kumar, S., Zindani, D. 2021. Investigation of the effect of water absorption on thermomechanical and viscoelastic properties of flax-hemp reinforced hybrid composite, *Polym Compos, Cilt. 42*, s. 4497–4516. DOI: 10.1002/pc.26164
- [20] Stelea, L., Filip, I., Lisa, G., ve diğ. 2022. Characterisation of Hemp Fibres Reinforced Composites Using Thermoplastic Polymers as Matrices, *Polymers, Cilt. 14*, s. 481. DOI: 10.3390/polym14030481
- [21] García, E., Louvier-Hernández, J.F., Cervantes-Vallejo, F.J., ve diğ. 2021. Mechanical, dynamic and tribological characterization of HDPE/peanut shell composites, *Polym Test, Cilt. 98*, s. 107075. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2021.107075
- [22] Osman, M.A., Atallah, A., Suter, U.W. 2004. Influence of excessive filler coating on the tensile properties of LDPE–calcium carbonate composites, *Polymer, Cilt. 45*, s. 1177–1183. DOI: 10.1016/j.polymer.2003.12.020
- [23] Khanam, P.N., AlMaadeed, M.A.A. 2015. Processing and characterization of polyethylene-based composites, *Adv Manuf Polym Compos Sci, Cilt. 1*, s. 63–79. DOI: 10.1179/2055035915Y.0000000002
- [24] Torres, F.G., Cubillas, M.L. 2005. Study of the interfacial properties of natural fibre reinforced polyethylene, *Polym Test, Cilt. 24*, s. 694–698. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2005.05.004
- [25] Kijeńska, M., Kowalska, E., Palys B., Ryczkowski, J. 2010. Degradability of composites of low density polyethylene/polypropylene blends filled with rape straw, *Polym Degrad Stab, Cilt. 95*, s. 536–542. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2009.12.023
- [26] Zou, P., Xiong, H., Tang, S. 2008. Natural weathering of rape straw flour (RSF)/HDPE and nano-SiO<sub>2</sub>/RSF/HDPE composites, *Carbohydr Polym, Cilt. 73*, s. 378–383. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.12.002
- [27] Metin, G., Akyüz, Y., Emin, A. 2005. Mermer tozu/polyester kompozitlerde dolgu oranının mekanik özelliklere etkileri, *Politek Derg, Cilt. 8*, s. 271–274. DOI:
- [28] Juhasz, J.A., Best, S.M., Brooks, R., ve diğ. 2004. Mechanical properties of glass-ceramic A–W–polyethylene composites: effect of filler content and particle size, *Biomaterials, Cilt. 25*, s. 949–955. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2003.07.005
- [29] Luo, X., Li, J., Feng, J., ve diğ. 2013. Evaluation of distillers grains as fillers for low density polyethylene: Mechanical, rheological and thermal

- characterization, *Compos Sci Technol*, Cilt. 89, s.175-179. DOI: 10.1016/j.compscitech.2013.10.001
- [30] International A (2014) Standard test method for tensile properties of plastics. ASTM international.
- [31] ASTM I (2007) Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. ASTM D790-07.
- [32] Testing AAS for, *Materials* (2010) ASTM D570-98 (2010) e1: standard test method for water absorption of plastics.
- [33] Bourell, D., Kruth, J.P., Leu, M., ve diğ. 2017. Materials for additive manufacturing, *CIRP Ann*, Cilt. 66, s. 659-681. DOI: 10.1016/j.cirp.2017.05.009
- [34] Zhang, X., Liao, G., Jin, Q., ve diğ. 2008. On dry sliding friction and wear behavior of PPESK filled with PTFE and graphite, *Tribol Int*, Cilt. 41, s. 195-201. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.08.003
- [35] Yang, H.S., Kim, H.J., Park H.J., ve diğ. 2006. Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic filler-polyolefin bio-composites, *Compos Struct*, Cilt. 72, s. 429-437. DOI: 10.1016/j.compstruct.2005.01.013
- [36] Singh, S., Ramakrishna, S., Gupta, M.K. 2017. Towards zero waste manufacturing: A multidisciplinary review, *J Clean Prod*, Cilt. 168, s. 1230-1243. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.108
- [37] Väisänen, T., Haapala, A., Lappalainen, R., Tomppo, L. 2016. Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review, *Waste Manag*, Cilt. 54, s. 62-73. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.04.037