



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 05.12.2024  
Kabul Tarihi : 13.03.2025

Received Date : 05.12.2024  
Accepted Date : 13.03.2025

## YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN ESASLI KOMPOZİTLERDE DOLGU MADDESİ OLARAK ODUN UNU VE TAVUK TÜYÜ KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI RESEARCH ON THE USE OF WOOD FLOUR AND CHICKEN FEATHER AS FILLER IN HIGH DENSITY POLYETHYLENE BASED COMPOSITES

Büşra AVCI<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-1710-2778)  
İlkay ATAR<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0001-9527-1791)  
Fatih MENGELOĞLU<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-2614-3662)

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İlkay ATAR, iatar@ksu.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) esaslı kompozitlerde odun unu ilavesi ve tavuk tüyü kullanım oranının fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Kompozit üretimlerinde odun unu %0-15 oranında, tavuk tüyü %0-5-10-15 oranlarında kullanılmıştır. Uyumlaştırıcı ajan olarak maleik anhidritle muamele edilmiş polietilen (MAPE) kullanılmıştır. Toplam 8 farklı kombinasyonda kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Örnek gruplarının yoğunluk değeri, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, darbe direnci ve yatay yanma hızı değerleri tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre odun unu kullanımı ile yoğunluk değeri, çekmede elastikiyet modülü, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış meydana gelmiştir. Tavuk tüyü kullanım oranının artması ile çekme direnci, elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerlerinde artış görülmüştür. Odun unu ilavesi ve tavuk tüyü kullanım oranının artması ile örneklerin yatay yanma hızlarında düşüş olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, odun unu ve tavuk tüyü dolgu maddelerinin farklı oranlarda kullanımı, kompozit malzemelerin performansını önemli ölçüde etkilemiştir. Özellikle, %15 odun unu ve %15 tavuk tüyü içeren kompozitlerde eğilmede elastikiyet modülü, kontrol grubuna kıyasla %40'tan fazla artış göstermiştir. Bu sonuç, odun unu ve tavuk tüyünün sinerjik etkisiyle kompozit malzemelerin mekanik performansının optimize edilebileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Odun-plastik kompozit, tavuk tüyü, YYPE, enjeksiyon kalıplama

### ABSTRACT

In this study, the effects of wood flour addition and chicken feather usage rate on physical, mechanical and combustion properties in high-density polyethylene (HDPE) based composites were investigated. Wood flour was used at a 0-15% rate and chicken feather at a 0-5-10-15% rate in composite production. Maleic anhydride-treated polyethylene (MAPE) was used as a compatibilizer. Composite production was carried out in a total of 8 different combinations. The density value, tensile strength, tensile modulus, elongation at break, flexural strength, flexural modulus, impact strength and horizontal burning rate values of the sample groups were determined. According to the test results, an increase occurred in the density value, tensile modulus, flexural strength and flexural modulus with the use of wood flour. An increase was observed in tensile strength, elastic modulus and flexural strength values with the increase in the chicken feather usage rate. It was determined that the horizontal burning rates of the samples decreased with the addition of wood flour and the increase in the chicken feather usage rate. In particular, the flexural modulus in composites containing 15% wood flour and 15% chicken feather increased by more than 40% compared to the control group. This result shows that the mechanical performance of composite materials can be optimized with the synergistic effect of wood flour and chicken feather.

**Keywords:** Wood-plastic composite, chicken feather, HDPE, injection molding

## GİRİŞ

Plastik atıklar doğada yüzlerce yıl boyunca bozulmadan kalabilir. Plastik malzemelerin bir bölümü uzun vadeli kullanım için tasarlanırken, büyük bir kısmı kısa ömürlü kullanım amacıyla üretilmektedir. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), geniş bir kullanım alanına sahip olduğu için dünya genelinde yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Atık YYPE'nin geri dönüştürülmesi ve kompozit malzemelerde kullanımı, hem çevresel sürdürülebilirliği sağlamak hem de plastik atıkların ekonomik bir kaynağa dönüştürülmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Geri dönüştürülmüş YYPE'nin kompozitlerde kullanımı, polimer matrisin maliyetini düşürmekle birlikte, mekanik özellikleri iyileştirebilmekte ve bu malzemelerin çeşitli endüstriyel uygulamalar için uygun hale gelmesini sağlamaktadır (Kim ve Pal 2010; Geyer et al., 2017). Ayrıca, atık YYPE'nin kullanılması, plastiklerin doğal olarak zor bozunurluğu nedeniyle çevreye verdiği zararın azaltılmasına katkı sağlar (Korley et al., 2021).

Çevresel kaygılar nedeniyle sentetik malzemelerin yerine doğal malzeme kullanımı her zaman öncelik kazanmıştır. Doğal lifler, çevresel açıdan avantajları nedeniyle son zamanlarda bilim insanlarının dikkatini çekmiştir, ancak araştırmaların neredeyse tamamı bitkisel kaynaklardan elde edilen selüloza odaklanmıştır. Dünya çapında birçok bilim insanı araştırmalarını doğadan elde edilen malzemeleri kullanmaya odaklanmıştır. Özellikle kompozitler ve filmler söz konusu olduğunda, biyopolimerlerin kullanımı ilginç bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bunun açık bir örneği, onlarca yıldır araştırılan bitkilerden elde edilen selülozun kullanımınıdır (Brostow vd., 2010). Lifsel yapıya doğal malzeme, binlerce yıldır ürünlerin dayanıklılığını arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Polimer kompozitlerde dolgu maddesi olarak çeşitli ağaç türlerinden elde edilen odun unları, kenevir lifleri, yıllık bitki atıkları gibi birçok selülozik lif kullanıldığı bilinmektedir (Mohanty et al. 2002; Kim and Pal 2010; Mantia and Morreale 2011; Mengeloğlu and Çavuş 2020; Basboga ve ark., 2022; Kilic et al. 2023).

Odun unu ve lignoselülozik dolgu maddeleri, odun-plastik kompozitlerinde (OPK) genellikle üretim maliyetlerini düşürmek ve saf polimerlere kıyasla malzemenin özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılır. Bu liflerin polimer matrisine dahil edilmesi, kompozitlerin çevre dostu olmasını sağlayarak fosil bazlı malzemelere sürdürülebilir ve maliyet etkin bir alternatif sunmaktadır (Kim ve Pal 2010; Summerscales et al. 2010). Lignoselülozik lifler, örneğin odun unu, düşük yoğunluk, işlenebilirlik kolaylığı ve yenilenebilirlik gibi ek faydalar sağlar ve bu özellikleri, onları çeşitli endüstriler için cazip takviye malzemeleri haline getirir (Mohanty et al. 2002; Mengeloğlu ve Karakuş 2012). Ayrıca, bu liflerin kullanımı mekanik özellikleri, örneğin sertlik ve boyutsal stabiliteyi artırırken, malzemenin ağırlığını da azaltır ve OPK'ları döşeme, mobilya ve inşaat gibi bir dizi uygulama için uygun hale getirir (Beaugrand et al. 2014; Kilic et al. 2023). Ancak, en büyük zorluklardan biri, hidrofobik polimer matris ile hidrofilik lignoselülozik lifler arasındaki zayıf yapıdır; bu durum OPK'ların mekanik performansını olumsuz etkileyebilir. Bu sorunu çözmek amacıyla, MAPP (maleik anhidrit graftlı polipropilen) gibi bağlayıcı ajanlar, lifler ile polimer matris arasındaki uyum ve bağlanmayı iyileştirmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Borysiak et al. 2011; Çetin et al. 2000; Maziero et al. 2019). Son dönemlerde ise selülozik dolgu maddelerinin dışında hayvansal atıkların da polimer kompozitlerde değerlendirilmesi yönünde araştırmalar başlamıştır.

Teknolojik alandaki gelişmeler ve nüfusun hızlı artması, tarımsal, kümes hayvancılığı ve evsel faaliyetlerden kaynaklı olarak yılda yaklaşık 2,4 milyar ton (UNEP 2020) katı atık meydana gelmektedir. Endüstriyel atıklar ve belediye atıklarının yanı sıra, kümes hayvancılığı sektörü; tavuk tüyleri ve diğer atıklardan kaynaklanan önemli kümes hayvanı atıklarından sorumludur. Dünya çapında yıllık kümes hayvanı tüketimi yaklaşık 127,06 metrik kilotondur. Tüyler tavuk ağırlığının yaklaşık %10'unu, yani yılda yaklaşık 12,7 metrik kiloton atığı oluşturur. Bu atıkların bertarafı, mevcut senaryoda endüstriler ve belediyeler için problem oluşturmakta ve bu durum, çevredeki atık malzeme birikiminde daha da artışa neden olmaktadır. Bu atıkların yakılması, hayvan yemi yapılması, biyoenerji üretimi ve geri dönüşüm gibi bertarafı için çeşitli yöntemler araştırılmış ve uygulanmıştır (Williams 2013). Ancak bu yöntemler çok fazla zaman ve enerji gerektirmekte ve işleme sırasında zehirli gazların açığa çıkmasına neden olarak çevreye daha fazla zarar vermektedir. Kümes hayvanı atıklarını değerlendirmek için kapsamlı araştırmalar yürütülmektedir. Tavuk tüyleri çevreyle uyumlu yapıları nedeniyle tamamen biyolojik olarak parçalanabilen, toksik olmayan, yenilenebilir, hafif, ücretsiz ve düşük yoğunluklu, doğal bir lifli yapıda malzemedir.

Kümes hayvanı atıklarının bertarafı amacıyla birçok araştırma yürütülmektedir. Şu anda kümes hayvanı atıklarının bertarafı yöntemleri yakma, kontrollü depolama, kompostlama, keratinolitik mantarlar (Ardyati vd., 2019) gibi biyolojik bozunma ajanlarının kullanılması, anaerobik sindirim, metan üretimi, iplik ve kumaşların (Evazynajad ve

ark. 2002) tüyünün bir parçası haline getirilmesi vb.'dir (Shih 1993). Ancak bu yöntemlerin çoğu kirliliğe yol açmakta ve atık bertarafı için yeterli gelmemektedir (Soubhagya ve ark. 2019).

Tavuk tüylerinden elde edilen keratin lifleri aşındırıcı olmayan, çevre dostu, biyolojik olarak parçalanabilen, yenilenebilir, organik çözücülerde çözünmeyen ve ayrıca iyi mekanik özelliklere, düşük yoğunluğa, hidrofobik davranışa, sesi azaltma yeteneğine, ısı tutma özelliğine ve son olarak düşük maliyete sahiptir. Bu özellikler, tavuk tüylerinden elde edilen keratin liflerini polimer kompozitlerde yüksek yapısal takviye olarak kullanılmaya uygun bir malzeme haline getirir (Meyers ve ark., 2008; Martinez-Hernandez ve ark., 2005a). Tavuk tüyleri yaklaşık %91 protein (keratin), %1 lipid ve %8 sudan oluşur (Martinez-Hernandez ve ark., 2005b). Bir tavuk tüyünün amino asit dizisi diğer tüylerinkine çok benzer ve ayrıca pençelerden elde edilen sürüngen keratinleriyle de çok ortak noktaları vardır (Hong ve Wool 2005). Dizi büyük ölçüde sistin, glisin, prolin ve serinden oluşur ve neredeyse hiç histidin, lizin veya metionin içermez (Winandy ve ark., 2014).

Tavuk tüylerinin kompozit malzemelerde takviye edici olarak kullanılabilirliği, son yıllarda yapılan araştırmalarla dikkat çekici şekilde incelenmiştir. Tavuk tüylerini çimento ile bağlanmış kompozitlerde takviye malzemesi olarak değerlendirilerek, bu tür malzemelerin özelliklerini araştırmıştır. %5-10 oranında tavuk tüyü içeren kompozitlerin, ticari ahşap lifli çimento kompozitlerle karşılaştırılabilir mekanik ve boyutsal özellikler sunduğu ifade edilmiştir (Meandero, 2010). Salhi (2012), keratin liflerinden elde edilen biyo-kompozitlerin geliştirilmesi üzerine çalışarak, tavuk tüyü liflerinin geri dönüştürülüp polimer matrisli kompozitlerde kullanılabilirliğini göstermiştir. Bununla birlikte, tavuk tüyü lifli bazlı kompozitlerin sıkıştırma dayanımının daha iyi olduğunu ve bu tür malzemelerin mühendislik uygulamalarında yapısal eleman olarak kullanılabilirliğini göstermiştir (Subramani et al., 2014). Ayrıca, PLA matrisine eklenen tavuk tüyü liflerinin elastik modül ve sertlik özelliklerini iyileştirerek çevre dostu bir kompozit alternatifi sunduğu belirtilmiştir (Baba ve Özmen, 2017).

Bu çalışmada, odun unu ve tavuk tüyü gibi çevre dostu ve sürdürülebilir dolgu maddelerinin polimer kompozit malzemelerde kullanımı araştırılmıştır. Odun unu, lignoselülozik yapısı sayesinde maliyetleri düşürme, mekanik özellikleri artırma ve yenilenebilir bir kaynak olarak sürdürülebilirlik sunma potansiyeline sahiptir. Tavuk tüyünden elde edilen keratin lifleri ise düşük yoğunluk, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve iyi mekanik özellikler gibi avantajlarıyla dikkat çekmektedir. Bu iki dolgu maddesinin sinerjik bir şekilde kullanımı hem çevresel kaygıları azaltmayı hem de kompozit malzemelerin mekanik performansını optimize etmeyi hedeflemektedir. Çalışmanın sonucunda, odun unu ve tavuk tüyü içeren kompozitlerin, çevre dostu, maliyet etkin ve çeşitli endüstriyel uygulamalara uygun nitelikte özellikler sunduğu gösterilerek, bu tür yenilikçi malzemelerin hem akademik hem de endüstriyel çalışmalar için önemli bir alternatif olduğu ortaya konulmuştur.

## MATERYAL VE METOT

Kompozit üretiminde polimer matris olarak geri dönüşüm yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kullanılmıştır. Geri dönüşüm YYPE özel bir firmadan satın alınmıştır. Öğütülmüş toz halinde temin edilmiştir. Dolgu maddesi olarak kızılçam odun unu, tavuk tüyleri kullanılmıştır. Kızılçam odun unları yerel kereste atölyelerinden temin edilmiş ve sarsak elekte elenerek 60mesh üzerinde kalan odun unları üretimde kullanılmıştır. Üretimlerde uyumlaştırıcı olarak maleik anhidritle muamele edilmiş polietilen (MAPE) kullanılmıştır.

Tavuk tüyleri mersinde faaliyet gösteren Pilyem işletmesinden temin edilmiştir. Tavuk tüyleri üretimde kullanılmadan önce bol miktarda saf suyla yıkanmış ve daha sonra dezenfekte yapmak amacıyla %5 klorlu suda yarım saat bekletilerek saf suyla tekrar yıkama yapılmıştır. Yıkanmış tavuk tüyleri süzildikten sonra etüvde 80 °C'de kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından tavuk tüyleri uzunluğu 5mm olacak şekilde kesilmiştir. Şekil 1'de tavuk tüylerinin kesim işlemi ve kullanılan tavuk tüyü görüntüsü verilmiştir.

Kompozit üretimlerinde %0-15 odun unu ve %0-5-10-15 oranlarında tavuk tüyü kullanılarak toplam 8 farklı kombinasyonda üretim gerçekleştirilmiştir. Üretim reçetesi Tablo 1'de verilmiştir.

Üretim reçetesinde belirlenen karışım oranlarına göre malzemeler yüksek devirli karıştırıcı makinesinde önce homojen olana kadar karıştırılmıştır. Daha sonra karışım ekstrüder makinesinden (sıcaklık zonları: 180, 185, 190, 195 ve 200 °C) geçirilir ve homojen olarak karışmış eriyik malzeme küçük parçalara kesilerek suda soğutulur. Bu parçalar kırıcı makinesinde küçük granül haline gerilir ve etüvde 103 °C derecede kurutulur. Kurutulmuş granül halindeki malzemedan enjeksiyon kalıplama makinesinde (sıcaklık zonları:170, 180, 185, 190 ve 190 °C) test örnekleri üretilmiştir. Örnekler test edilmeden önce iklimlendirme kabiniinde 20°C'de ve %65 bağıl nemde

kondisyonlanmaya bırakılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen örneklerin yoğunluğu, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama değeri, darbe direnci ve yatay yanma hızı sırasıyla ASTM D792-20 (2020), ASTM D790 (2010), ASTM D638 (2010), ASTM D256 (2010) ve UL 94 (2021) standartlarına göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Tavuk Tüylerinin Kesim İşlemi ve Kullanılan Tavuk Tüyü Görüntüsü

Tablo 1. Üretim Reçetesi

Örnek Kodu	Geri Dönüşüm YYPE	Odun unu	Tavuk tüyü	MAPE
W0Ç0	97	-	-	3
W0Ç5	92	-	5	3
W0Ç10	87	-	10	3
W0Ç15	82	-	15	3
W15Ç0	82	15	-	3
W15Ç5	77	15	5	3
W15Ç10	72	15	10	3
W15Ç15	67	15	15	3

Elde edilen dataların SPSS programı (IBM SPSS 20.0) kullanılarak istatistik analizleri yapılmıştır. Örnek kombinasyonlarının fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla ANOVA basit varyans analizi uygulanmıştır. Ayrıca bu grupların ortalamaları arasındaki farklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

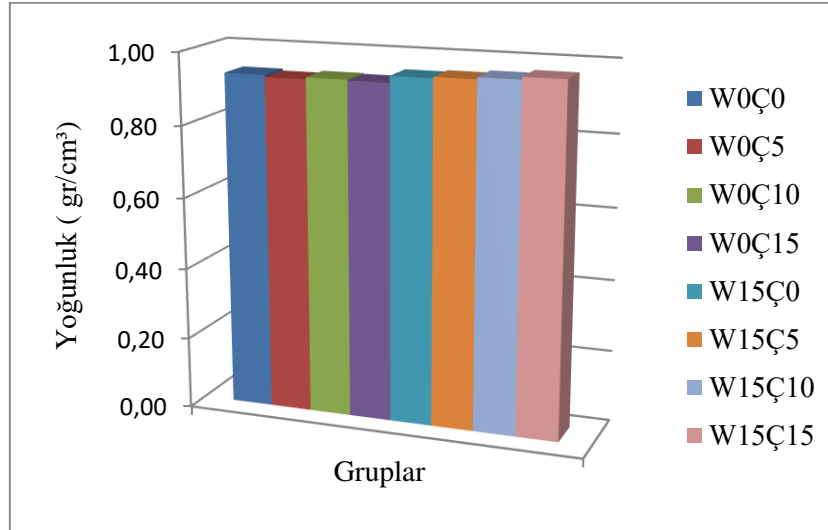
Kompozit malzemeleri yoğunluğu, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama değeri, darbe direnci ve yatay yanma hızı değerleri belirlenmiştir. Tablo 2’de örnek gruplarının test sonuçları verilmiştir.

Şekil 2’de örnek gruplarının yoğunluk değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Yapılan istatistik analiz sonuçlarına göre yoğunluk değeri üzerine odun unu kullanımı önemli oranda etkili olurken tavuk tüyü kullanım oranının etkisiz olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerde odun unu kullanımı ile birlikte yoğunluk değerlerinde bir miktar artış meydana gelmiştir. Literatürde de polimer matrise odun unu ilavesi ile yoğunlukta artış meydana geldiği rapor edilmiştir rastlanmıştır (Atar vd., 2021; Başboğa vd., 2020). Tavuk tüyü yoğunluğu  $1.01 \pm 0.02$  g/cm<sup>3</sup> tür (Zhan ve

Wool 2016). Bu sebeple tavuk tüyü ve polimer matris yoğunlukları birbirine yakın olması sebebiyle tavuk tüyü yoğunluğu etkilememiştir.

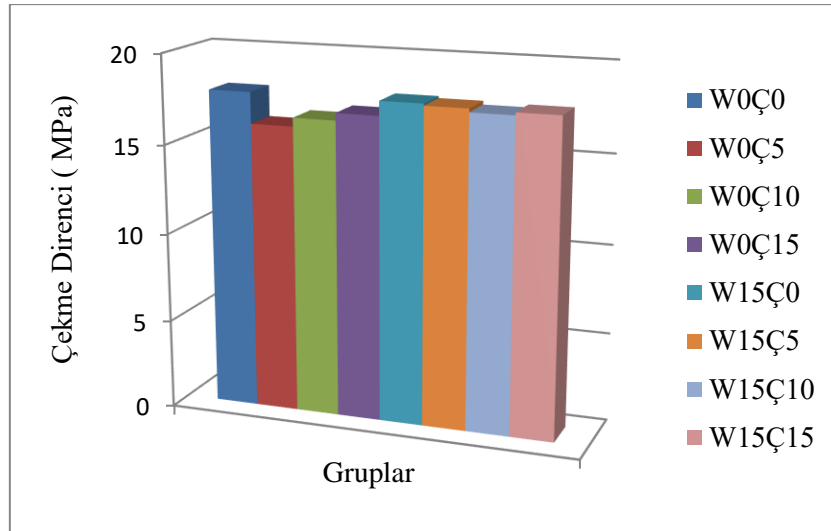
**Tablo 2.** Örnek Gruplarının Fiziksel, Mekanik ve Yanma Test Sonuçları

Örnek Kodu	Çekme Direnci (MPa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Kopmada Uzama (%)	Eğilme Direnci (MPa)	Eğilmede Elastikiyet modülü (MPa)	Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Yatay yanma (mm/dk)
W0Ç0	17,86	434,74	10,92	22,53	664,72	2,88	0,94	41,31
W0Ç5	16,13	449,16	6,05	25,06	777,35	3,26	0,93	37,46
W0Ç10	16,62	502,74	5,02	27,41	884,23	3,38	0,94	35,63
W0Ç15	17,03	558,63	4,46	29,04	984,24	2,71	0,93	31,52
W15Ç0	17,83	597,54	4,89	28,90	1124,37	3,56	0,95	33,99
W15Ç5	17,72	653,90	4,30	30,79	1240,99	3,17	0,96	32,28
W15Ç10	16,04	657,99	3,54	32,27	1379,48	2,81	0,96	29,71
W15Ç15	17,67	810,91	2,91	34,40	1818,12	2,57	0,97	25,65



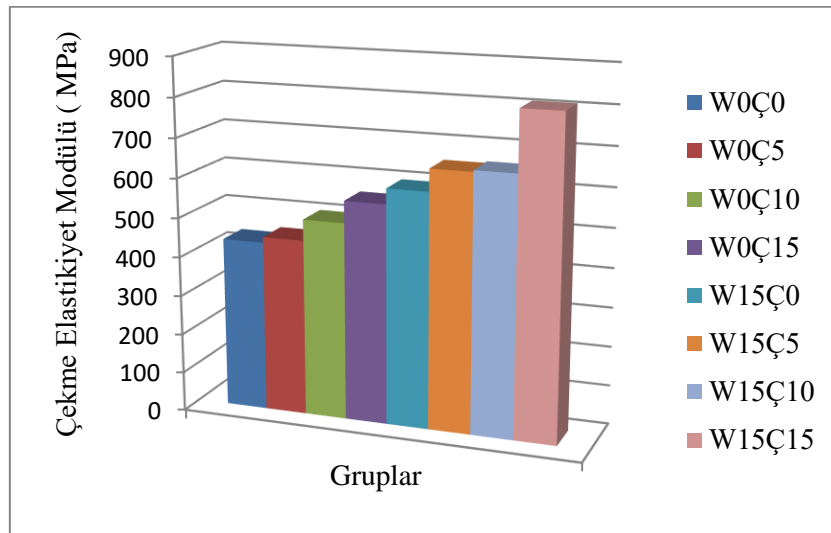
**Şekil 2.** Örnek Gruplarının Yoğunluk Değerini Gösteren Bar Grafiği

İstatistik analiz sonuçlarına göre çekme direnci üzerine odun unu kullanımı önemli oranda etkili olmazken tavuk tüyü kullanım oranı önemli oranda etkili olmuştur. Odun unu kullanılmayan örneklerde tavuk tüyü kullanım oranının artması ile çekme direncinde artış olduğu görülmüştür. Kontrol örneğine kıyasla dolgu maddesi kullanımı ile çekme direncinde bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Odun unu ve tavuk tüyü dolgu maddelerinin çekme direnci üzerindeki etkilerinin farklı mekanizmalarla belirlendiğini göstermektedir. Odun unu, lignoselülozik yapısı nedeniyle kompozit malzemenin sertliğini ve stabilitesini artırırken, polimer matris ile dolgu malzemesi arasındaki zayıf bağ nedeniyle çekme direncinde belirgin bir artış sağlamamaktadır. Buna karşın, tavuk tüyü kullanımının artışı, keratin liflerinin polimer matris içinde yapısal takviye sağlaması ve liflerin yük taşıma kapasitesini artırmasıyla çekme direncini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Bu iyileşme, tavuk tüyü liflerinin düşük yoğunluğu ve elastik yapısıyla ilişkilidir; ancak bu mekanizma, odun unu ile birlikte kullanıldığında sınırlı kalmıştır. Dolgu maddelerinin birbirinden farklı yüzey özellikleri ve matris ile etkileşim seviyeleri, özellikle lif-matris bağlanmasının zayıflığı nedeniyle mekanik performansı sınırlayabilir. Bu durum, önceki çalışmalarda da rapor edildiği gibi, bağlayıcı ajanların etkin kullanımıyla iyileştirilebilir (Yang vd., 2004; Yang vd., 2007; Bledzki ve Faruk 2003; Maziero vd., 2019; Çavuş, 2020; Çavuş ve Mengeloğlu 2020; Başboğa vd., 2022; Kılıç vd., 2023; Kılıç vd., 2024). Şekil 3'te çekme direnci bar grafiği verilmiştir.



Şekil 3. Örnek Gruplarının Çekme Direnci Değerini Gösteren Bar Grafiği

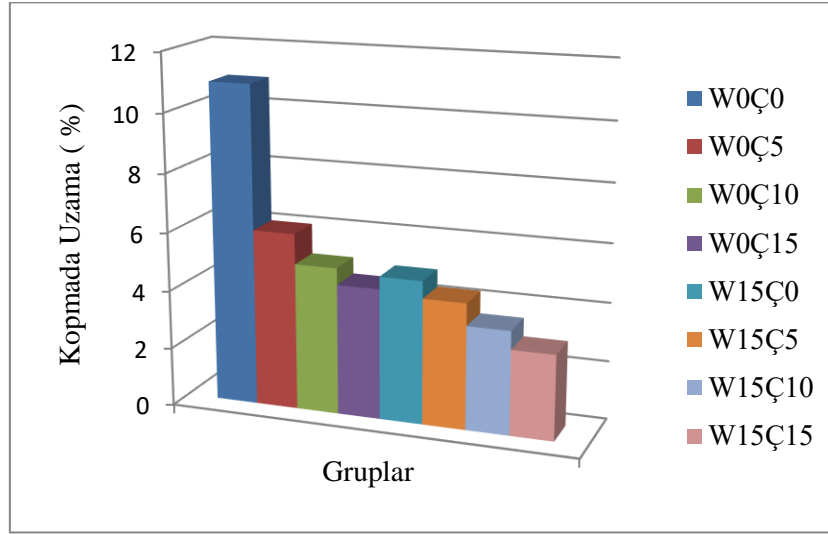
Çekmede elastikiyet modülü üzerine odun unu kullanımı ve tavuk tüyü kullanım oranının önemli oranda etkili olduğu görülmüştür. Şekil 4'te örnek gruplarının çekmede elastikiyet modülü değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Polimer matrise odun unu ilavesi ve tavuk tüyü kullanım oranının artması ile örneklerin çekmede elastikiyet modülü değerlerinde artış meydana gelmiştir. Odun unu, yüksek elastikiyet modülü değerine sahip lignoselülozik bir dolgu maddesi olarak polimer matrise sertlik ve rijitlik kazandırmış, bu da kompozitlerin elastikiyet modülü değerlerinde artışa neden olmuştur. Özellikle odun unu ve tavuk tüyü oranlarının artırılması, dolgu maddelerinin yüksek modül değerleri ile polimer matrisin daha rijit bir yapıya dönüşmesine neden olmuş, bu da çekmede elastikiyet modülü değerinde artışa neden olmuştur. Yapılan diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Zaini vd., 1996; Stark ve Berger 1997; Yuan vd., 2008; Çavdar vd., 2011; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020; Başboğa vd., 2022; Kılıç vd., 2023; Kılıç vd., 2024).



Şekil 4. Örnek Gruplarının Çekmede Elastikiyet Modülü Değerini Gösteren Bar Grafiği

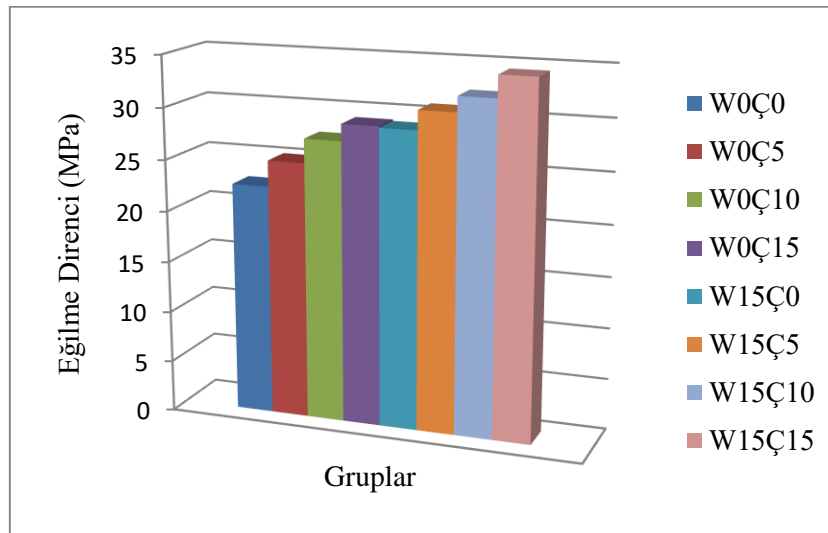
Örneklerin kopmada uzama değerlerine bakıldığında hem odun unu kullanımı hem de tavuk tüyü kullanım oranının önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Polimer matrise odun unu ilavesi ve tavuk tüyü kullanım oranının artması ile kopmada uzama değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. En yüksek kopmada uzama değeri W0Ç0 (%10.92) grubunda iken en düşük kopmada uzama değeri W15Ç15 (%2.91) grubunda bulunmuştur. Odun unu, lignoselülozik yapısı nedeniyle polimer matrise rijitlik kazandırarak malzemenin esnekliğini sınırlamış ve kopmada uzama değerinde azalmaya neden olmuştur. Tavuk tüyü ise elastik bir yapıya sahip olmasına rağmen, lif-matris bağlanmasındaki zayıflıklar nedeniyle malzemenin kopma noktasında deformasyon kapasitesini artırmak yerine sınırlamıştır. Bu durum, dolgu maddelerinin polimer matrisin esnekliğini azaltarak kompozitin daha rijit bir yapıya

dönüşmesine yol açtığını ve kopmada uzama değerlerinin dolgu oranı arttıkça azaldığını ortaya koymaktadır. (Zaini vd., 1996). Şekil 5'te örnek gruplarının kopmada uzama değerini gösteren bar grafiği verilmiştir.

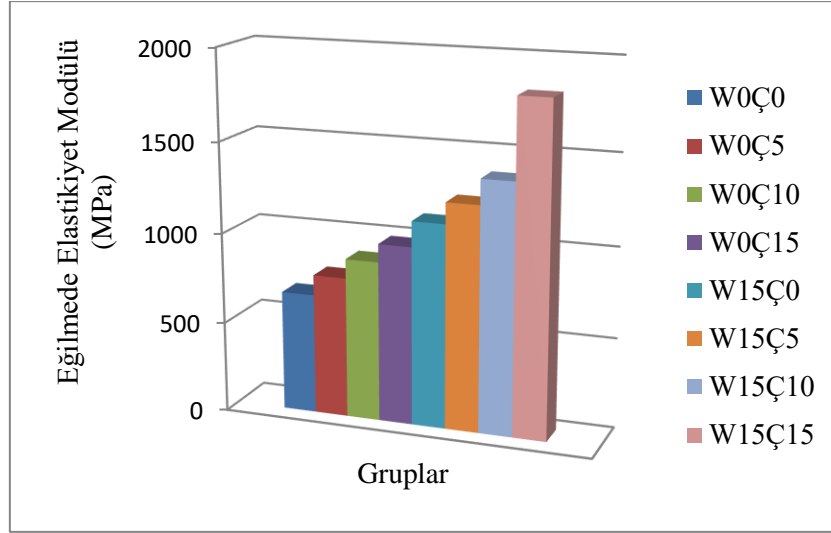


Şekil 5. Örnek Gruplarının Kopmada Uzama Değerini Gösteren Bar Grafiği

Kompozit malzemelerin eğilme direnci değerleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Eğilme direnci ve eğilme elastikiyet modülü değeri üzerine odun unu kullanımı ve tavuk tüyü kullanım oranının önemli oranda etkili oldu belirlenmiştir. Polimer matrise odun unu katkısı ve tavuk tüyü kullanım oranının artışı ile eğilme direncinde artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek eğilme direnci değeri W15Ç15 grubunda iken en düşük eğilme direnci değeri W0Ç0 (kontrol grubu) grubunda bulunmuştur. Yapılan önceki çalışmada da odun unu ilavesi ile eğilme direncinde artış olduğu rapor edilmiştir (Atar vd., 2021). Tavuk tüyü ise keratin yapısı sayesinde yük taşıma kapasitesini artırarak ve deformasyon direnci sağlayarak bu değerler üzerinde olumlu bir etki yaratmıştır. Özellikle her iki dolgu maddesinin bir arada kullanılması, rijitlik ve mekanik dayanıklılığı artırarak eğilme direnci ve elastikiyet modülünde sinerjik bir etki oluşturmuştur. Polimer matrise ilave edilen dolgu maddeleri daha yüksek elastikiyet modülüne sahip olmaları nedeniyle eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artışa neden olmaktadır. Daha önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Espinach vd., 2013; Mengeloğlu ve Çavuş, 2020; Başboğa, 2023). Şekil 7'de örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerini gösteren bar grafiği verilmiştir.

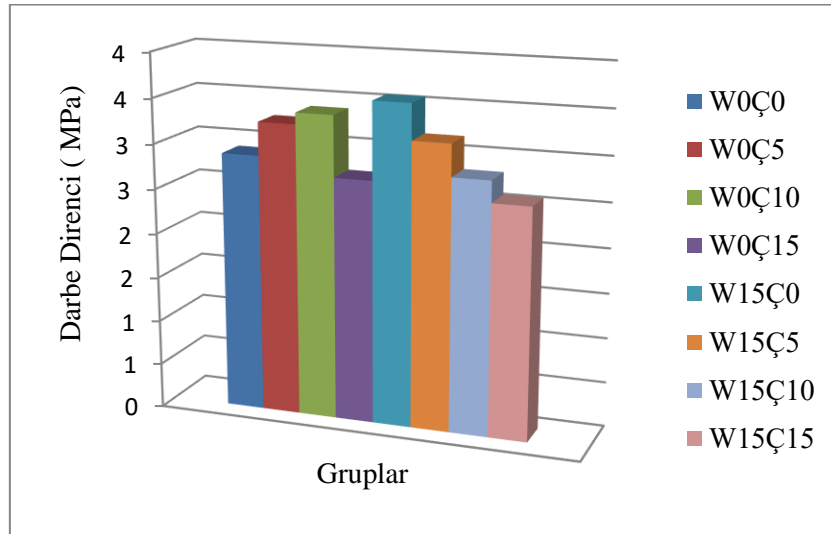


Şekil 6. Örnek Gruplarının Eğilme Direnci Değerini Gösteren Bar Grafiği



Şekil 7. Örnek Gruplarının Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerini Gösteren Bar Grafiği

Darbe direnci üzerine odun unu ilavesinin önemli oranda etkili olmadığı, tavuk tüyü kullanımının önemli oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Genel olarak odun unu kullanımı ile darbe direnci değerlerinde düşüş görülmüştür. Tavuk tüyü ise esnek yapısı ve lif bazlı doğası sayesinde polimer matriste enerji absorpsiyonunu artırarak darbe direnci üzerinde olumlu bir etki yaratmıştır. Özellikle tavuk tüyü oranının %5-10 seviyelerinde olduğu örneklerde darbe direncinde iyileşme gözlemlenmiştir. Ancak odun unu oranının artması, lif-matris arayüzündeki bağlanma problemleri nedeniyle darbe direnci üzerinde olumsuz bir etki yaratmıştır. Polimer matrise dolgu maddesi ilavesi ile kompozit malzemenin kırılabilirliği artmakta ve darbe direncini olumsuz etkilemektedir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Li ve Matuana, 2003; Mengeloğlu vd., 2000). Şekil 8’de örneklerin darbe direnci bar grafiği verilmiştir.



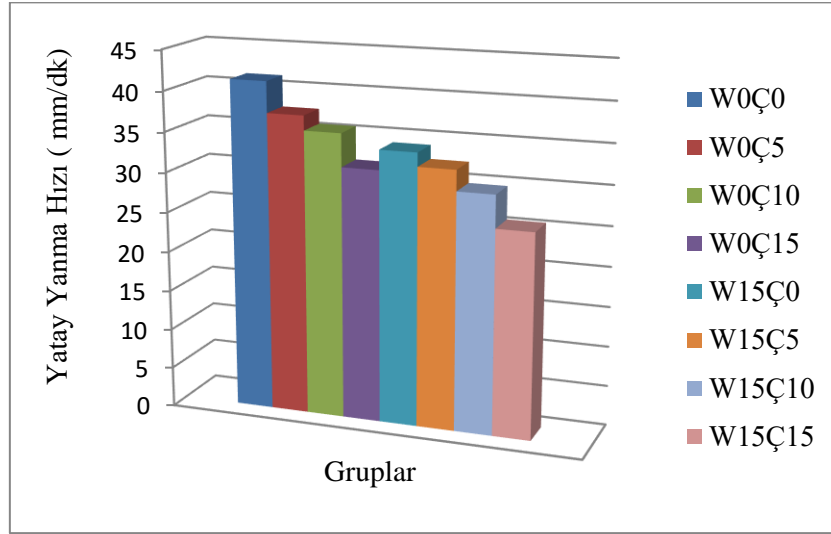
Şekil 8. Örnek Gruplarının Darbe Direnci Değerini Gösteren Bar Grafiği

Örneklerin yatay yanma hızı incelendiğinde odun unu ilavesi ve tavuk tüyü kullanım oranının artması ile yanma hızında azalma olduğu tespit edilmiştir. Odun unu, lignoselülozik yapısındaki karbon içerikli bileşenler nedeniyle yanma sırasında kömürleşme oluşturarak kompozitin yüzeyinde bir bariyer etkisi yaratmış ve yanma hızını düşürmüştür. Tavuk tüyü ise keratin bazlı yapısı sayesinde yanma sırasında karbonlu bir tabaka oluşturmuş ve kömürleşme oranını artırarak ısı transferini azaltmıştır. (Cheng vd., 2009). Özellikle odun unu ve tavuk tüyünün birlikte kullanımı, malzeme yüzeyinde oluşan koruyucu kömürleşme tabakasını güçlendirmiş ve yatay yanma hızında belirgin bir azalma sağlamıştır.

Sonuç olarak, yatay yanma hızındaki düşüş, odun unu ve tavuk tüyünün polimer matris ile etkileşimlerinden ve kömürleşme davranışlarından kaynaklanmaktadır. Bu dolgu maddelerinin oranlarının optimize edilmesi ve yanma



sırasında oluşan koruyucu tabakanın güçlendirilmesi, kompozit malzemelerin yangına karşı dayanıklılığını artırmak için önemli bir strateji sunmaktadır.



Şekil 9. Örnek Gruplarının Yatay Yanma Hızı Değerini Gösteren Bar Grafiği

## SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) esaslı kompozitlerde odun unu ve tavuk tüyü dolgu maddelerinin fiziksel, mekanik ve yanma özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları, odun unu ve tavuk tüyünün farklı oranlarda kullanımının kompozit malzemelerin performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

Odun unu kullanımı, kompozitlerin yoğunluğunu artırmıştır. %15 oranında odun unu kullanılan örneklerde yoğunluk 0,97 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Tavuk tüyü ise yoğunluk üzerinde anlamlı bir değişikliğe neden olmamıştır. Tavuk tüyü kullanımı ile çekme direncinde artış gözlemlenmiş ve %15 oranında tavuk tüyü içeren örneklerde çekme direnci 17,67 MPa'ya ulaşmıştır. Ancak, dolgu maddesi ilavesi genel olarak çekme direncinde hafif bir düşüşe neden olmuştur. Hem odun unu hem de tavuk tüyü ilavesi ile çekmede elastikiyet modülü değerlerinde artış görülmüştür. En yüksek elastikiyet modülü değeri %15 odun unu ve %15 tavuk tüyü içeren örneklerde 810,91 MPa olarak kaydedilmiştir. Dolgu maddelerinin artışı ile kopmada uzama değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Kontrol grubundaki en yüksek değer %10,92 iken, %15 odun unu ve %15 tavuk tüyü içeren örneklerde bu değer %2,91'e düşmüştür. Odun unu ve tavuk tüyü ilavesi, eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde artış sağlamıştır. %15 odun unu ve %15 tavuk tüyü içeren örneklerde eğilme direnci 34,40 MPa, eğilmede elastikiyet modülü ise 1818,12 MPa olarak ölçülmüştür. Tavuk tüyü oranının %5-10 seviyelerinde olduğu durumlarda darbe direnci iyileşmiştir. Ancak odun unu oranının artışıyla darbe direncinde düşüş gözlemlenmiştir. Odun unu ve tavuk tüyü ilavesi, yatay yanma hızında azalma sağlamıştır. En düşük yanma hızı, %15 odun unu ve %15 tavuk tüyü içeren örneklerde 25,65 mm/dk olarak ölçülmüştür. ASTM D6662 standardı (2001), poliolefinlere dayalı plastik kereste döşeme tahtalarının minimum 6,9 MPa eğilme direnci ve 340 MPa eğilmede elastikiyet modülü değerine sahip olmasını gerektirir. Çalışma kapsamında, tüm kompozit grupları standartta istenen değeri sağlamıştır.

Sonuç olarak, geri dönüştürülmüş YYPE esaslı kompozitlerde odun unu ve tavuk tüyü dolgu maddelerinin kullanımı, malzeme özelliklerini geliştirebilecek potansiyele sahiptir. Tavuk tüyünün düşük maliyeti, hafifliği ve çevre dostu özellikleri, bu malzemeyi yenilikçi ve sürdürülebilir uygulamalar için cazip bir seçenek haline getirmektedir. Ancak, her iki dolgu maddesiyle birlikte kullanımda mekanik ve fiziksel özelliklerin optimizasyonu, uygulama ihtiyaçlarına bağlı olarak dikkatlice değerlendirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Ardyati, T., Sutoyo, S., & Suharjano, (2019). Screening of keratinolytic fungi for biodegradation agent of keratin from chicken feather waste. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 391, 012027, 1. doi:10.1088/1755-1315/391/1/012027.
- ASTM D256, (2010). Standard test for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D638, (2010). Standard test for tensile properties of plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D790, (2010). Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D792-20 (2020). Standard Test Methods for density and specific gravity (Relativedensity) of Plastics by displacement. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Atar, İ., Başboğa, İ.H., Karakuş, K., & Mengeloğlu F. (2021). Effect of waste tea (*camellia sinensis*) wood fibers and MAPE on some properties of high density polyethylene (HDPE) based polymer composites. Turkish Journal of Forest Science, 5(2), 606-619. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.991612>
- Baba, B. O., & Özmen, U. (2017). Preparation and mechanical characterization of chicken feather/PLA composites. Polymer Composites, 38(5), 837-845. <https://doi.org/10.1002/pc.23644>
- Başboğa, İ.H., Atar, İ., Karakuş, K., & Mengeloğlu, F. (2020). Determination of Some Technological Properties of Injection Molded Pulverized-HDPE Based Composites Reinforced with Micronized Waste Tire Powder and Red Pine Wood Wastes. Journal of Polymers and the Environment, 28, 1776–1794. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01726-7>
- Başboğa, H. İ., Kılıç, İ., Atar, İ., & Mengeloğlu, F. (2022). The usage of wood of dahoma (*Piptadeniastrum africanum*), a tropic tree, in the production of wood plastic composite. Turkish Journal of Forestry Research, 9 (Special Issue), 271-280. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1091247>
- Başboğa, H. I. (2023). Polypropylene-based composites reinforced with waste tropic wood flours: Determination of accelerated weathering resistance, tribological, and thermal properties. BioResources, 18(4), 7251-7294. DOI: 10.15376/biores.18.4.7251-7294
- Beaugranda, J., Nottez, M., Konnerth, J., and Bourmaud, A. (2014). “Multi-scale analysis of the structure and mechanical performance of woody hemp core and the dependence on the sampling location,” Industrial Crops and Products 60, 193-204. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.06.019
- Bledzki, A., & Faruk, O. (2003). Wood fibre reinforced polypropylene composites: Effect of fibre geometry and coupling agent on physico-mechanical properties. Applied Composite Materials, 10, 365-379. DOI: 10.1023/A:1025741100628
- Brostow, W., Datashvili, T., & Miller, H. (2010). Wood and Wood Derived Materials. J. Mater. Educ., Vol. 32, pp.125–138.
- Borysiak, S., Pauksza, D., Batkowska, P., and Mankowski, J. (2011). “The structure, morphology, and mechanical properties of thermoplastic composites with lignocellulosic fiber,” in: Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites, S. Kalia, B. S. Kaith, and I. Kaur (eds.), Springer Heidelberg, Dordrecht, Netherlands, pp. 263-290. DOI: 10.1007/978-3-642-17370-7
- Cheng, S., Lau, K., Liu, T., Zhao, Y., Lam, PM., & Yin, Y. (2009). Mechanical and thermal properties of chicken feather fiber/PLA green composites. Composites: Part B, 40, 650-654. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2009.04.011>
- Çavdar, A. D., Kalaycıoğlu, H., & Mengeloğlu, F. (2011). Tea mill waste fibers filled thermoplastic composites: The effects of plastic type and fiber loading. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 30(10), 833-844. DOI: 10.1177/0731684411408752
- Çavuş, V. (2020). Selected properties of mahogany wood flour filled polypropylene composites: The effect of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP). BioResources, 15(2), 2227-2236. DOI: 10.15376/biores.15.2.2227-2236

- Çavuş, V., & Mengeloğlu, F. (2020). Effect of wood particle size on selected properties of neat and recycled wood polypropylene composites. *BioResources*, 15(2), 3427-3442. DOI: 10.15376/biores.15.2.3427-3442
- Çetin, N. S., Alma, M. H., & Baştürk, M. A. (2000). Yeni kompozitler üretmek amacıyla doğal lignoselülozik lifler ile sentetik polimerler arasında uyum sağlayan birleştirici maddeler ve metotlar. *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(2), 58-68.
- Espinach, F. X., Julian, F., Verdaguer, N., Torres, L., Pelach, M. A., Vilaseca, F., & Mutje, P. (2013). Analysis of tensile and flexural modulus in hemp strands/ polypropylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 47, 339-343. DOI: 10.1016/j.compositesb.2012.11.021
- Evazynajad, A., Kar, A., Veluswamy, S., McBride, H., & George, B. R. (2002). Production and characterization of yarns and fabrics utilizing Turkey feather fibers. *Materials Research Society Symposium Proceedings*, 702, 5–16. <https://doi.org/10.1557/PROC-702-U1.2.1>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Hong, C.K., & Wool, R.P. (2005). Development of a Bio-Based Composite Material from Soybean Oil and Keratin Fibers. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 95: pp.1524–1538. <https://doi.org/10.1002/app.21044>
- Kılıç, İ., Avcı, B., Atar, İ., Korkmaz, N., Yılmaz, G., & Mengeloğlu, F. (2023). Using furniture factory waste sawdust in wood plastic composite production and prototype sample production. *BioResources*, 18(4), 7212-7229. DOI: 10.15376/biores.18.4.7212-7229
- Kılıç, İ., Avcı, B., Atar, İ., Korkmaz, N., Yılmaz, G., & Mengeloğlu, F. (2024). Utilization of flours from hemp stalks as reinforcement in polypropylene matrix. *Bioresources*, 19(1), 1494-1516. DOI: 10.15376/biores.19.1.1494-1516
- Kim, J. K., and Pal, K. (2010). *Recent Advances in the Processing of Wood–Plastic Composites*, Springer-Verlag Berlin, Germany. DOI: 10.1007/978-3-642-14877-4
- Korley, L. T. J., Epps, T. H., Helms, B. A., & Ryan, A. J. (2021). Toward polymer upcycling—Adding value and tackling circularity. *Science*, 373(6550), 66–69. <https://doi.org/10.1126/science.abg4503>
- Li, Q. & Matuana, L.M. (2003). Effectiveness of maleated and acrylic acid-functionalized polyolefin coupling agents for HDPE-wood-flour composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 16, 551-564; DOI 10.1177/089270503033340.
- Martínez-Hernández, A.L., Velasco-Santos, C., De Icaza, M., & Castaño, V.M. (2005a) Microstructural Characterization of Keratin Fibres from Chicken Feathers. *International Journal of Environment and Pollution*. Vol. 23: pp.162–178. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2005.006858>
- Martínez-Hernández, A.L., Velasco-Santos, C., De Icaza, M., & Castaño, V.M. (2005b) Mechanical Properties Evaluation of New Composites with Protein Biofibers Reinforcing Poly (Methyl Methacrylate). *Polymer*, Vol. 46: pp.8233–8238. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.06.093>
- Maziero, R., Soares, K., Filho, A. I., Franco, A. R., & Rubio, J. C. C. (2019). Maleated polypropylene as coupling agent for polypropylene composites reinforced with eucalyptus and pinus particles. *BioResources*, 14(2), 4774-4791. DOI: 10.15376/biores.14.2.4774-4791
- Meandro, N. A. (2010). Waste chicken feather as reinforcement in cement-bonded composites. *Philippine Journal of Science*, 139, 161-166.
- Mengeloğlu, F., & Karakuş, K., 2008. Some properties of eucalyptus wood flour filled recycled high density polyethylene polymer-composites. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32:537–546. <https://doi.org/10.3906/tar-0801-7>
- Mengelöglü, F., and Karakuş, K. (2012). “Mechanical properties of injection-molded foamed wheat straw filled HDPE biocomposites: The effects of filler loading and coupling agent contents,” *BioResources* 7(3), 3293-3305. DOI: 10.15376/biores.7.3.3293-3305
- Mengelöglü, F., Matuana, L.M. & King, J. (2000). Effect of impact modifiers on properties of rigid PVC/ wood-fiber composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 6: 153–157. <https://doi.org/10.1002/vnl.10244>

- Meyers, M. A., Chen, P. Y., Lin, A. Y. M., & Seki, Y. (2008). *Biological Materials: Structure and Mechanical Properties*. *Progress in Materials Science*, Vol. 53: pp.1–206. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2007.05.002>
- Mohanty, A. K., Misra, M., and Drzal, L. T., (2002). “Sustainable bio-composites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world,” *Journal of Polymers and the Environment* 10, 19-26
- Salhi, S. S. A. B. A. (2012). Development of bio-composites based on polymer matrix and keratin fibres: Contribution to poultry biomass recycling. *Materials Science Forum*, 237-243.
- Shih, J. C. H. (1993). Recent development in poultry waste digestion and feather utilization: A review. *Poultry Science* 72 (9), 1617–20. doi:10.3382/ps.0721617.
- Soubhagya, M., A. Champati, H. K. Popalghat, P. Patel, & Sneha. K. R. (2019). Poultry waste management: an approach for sustainable development. *International Journal of Advanced Scientific Research* 4 (1):8–14.
- Stark, N., & Berger, M. J., (1997). Effect of species and particle size on properties of wood-flour-filled polypropylene composites. *Symposium of Functional Fillers for Thermoplastics and Thermosets*, San Diego, CA, USA, pp. 1-20.
- Subramani, T., Krishnan, S., Ganesan, S. K., & Nagarajan, G. (2014). Investigation of mechanical properties in polyester and phenyl-ester composites reinforced with chicken feather fiber. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 4(12), 93-104.
- Summerscales, J., Dissanayake, P. J., Virk, A. S., and Hall, W. (2010). “A review of bast fibres and their composites. Part 1- Fibres as reinforcements,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 41(10), 1329-1335. DOI: 10.1016/j.compositesa.2010.06.001
- UL 94, (2021). Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. American National Standard.
- Williams, C. M. (2013). Poultry waste management in developing countries. *The Role of Poultry in Human Nutrition* 46.
- Winandy, J. E., Muehl, J. H., Micaels, J. A., & Raina, A. (2014). Potential of chicken feather fibre in Wood mdf Composites. Available online: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2003/winan03d.pdf> (accessed on 4 FEB 2016).
- Yang, H.-S., Kim, H.-J., Son, J., Park, H. J., Lee, B. J., & Hwang, T. S. (2004). Rice- husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study. *Composite Structures*, 63, 305-312. DOI: 10.1016/S0263-8223(03)00179-X
- Yang, H. S., Kim, H. J., Park, H. J., Lee, B. J., & Hwang, T. S. (2007). Effect of compatibilizing agents on rice-husk flour reinforced polypropylene composites. *Composite Structures*, 77, 45-55. DOI: 10.1016/j.compstruct.2005.06.005
- Yuan, Q., Wu, D., Gotama, J., & Bateman, S. (2008). Wood fiber reinforced polyethylene and polypropylene composites with high modulus and impact strength. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 21(3), 195-208. DOI: 10.1177/0892705708089472
- Zaini, M. J., Fuad, M. Y. A., Ismail, Z., Mansor, M. S., & Mustafah, J. (1996). The effect of filler content and size on the mechanical properties of polypropylene/oil palm wood flour composites. *Polymer International*, 40, 51-55. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0126(199605)
- Zhan, M., & Wool, R.P. (2016). Mechanical properties of composites with chicken feather and glass fibers. *Journal of Applied Polymer science*. 133, 44013. <https://doi.org/10.1002/app.44013>