

Saponin kullanımının PP esaslı odun-plastik kompozitlerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisi

İlkay Atar^{a,*} 

Öz: Bu çalışmada şişen alev geciktirici ve odun ununun kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Şişen alev geciktirici olarak saponin (SP), amonyum polifosfat (APP) ve pentaeritritol (PER) kullanılmıştır. Üretimlerde odun unu %0-10, APP %0-18 ve PER %0-6 oranında kullanılmıştır. SP'nin kompozit malzemenin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0-2-4-6-8 oranında kullanılmıştır. Toplamda 20 farklı kombinasyonda kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Üretimi yapılan kompozitlerin yoğunluk değeri, çekme direnci (ÇD), çekme elastikiyet modülü (ÇM), kopmada uzama (KU), eğilme direnci (ED), eğilmede elastikiyet modülü (EM), darbe direnci (DD), yatay yanma ve limit oksijen indeksi (LOI) değerleri tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre odun unu, APP/PER ve SP ilavesi ile çekme direncinde ve kopmada uzama değerlerinde azalma görülürken çekme elastikiyet modülü, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direncinde değerlerinde artış meydana gelmiştir. Dolgu maddelerinin ilavesi ile örneklerin yoğunluklarında artış tespit edilmiştir. Kompozit malzemelere APP/PER ilave edilmesi yanma özelliklerini iyileştirmiştir. Yatay yanma testinde APP/PER katkılı örneklerde alev ilerleme yapmamış ve sönmüştür. SP kullanım oranının artması ile yanma hızında düşme ve LOI değerinde artış tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Saponin, Amonyum polifosfat (APP), Şişen alev geciktirici, Polipropilen (PP)

Effect of saponin usage on physical, mechanical and fire properties of PP based wood-plastic composites

Abstract: In this study, the effects of intumescent flame retardant and wood flour on the physical, mechanical and combustion properties of fire materials were investigated. Saponin (SP), ammonium polyphosphate (APP) and pentaerythritol (PER) were used as intumescent flame retardants. 0-10% wood flour, 0-18% APP and 0-6% PER were used in production. SP was used at 0-2-4-6-8% ratio to determine the effect on the physical, mechanical and fire properties of the composite material. A total of 20 different combinations of composite materials were produced. The density value, tensile strength (TS), tensile modulus of elasticity (TM), elongation at break (EB), flexural strength (FS), flexural modulus (FM), impact strength (IS), horizontal burning and limit oxygen index (LOI) properties of the produced composites were determined. According to the test results, with the addition of wood flour, APP/PER and SP, there was a decrease in tensile strength and elongation at break values, while there was an increase in tensile modulus of elasticity, flexural strength, flexural modulus and impact strength values. An increase in the density of the samples was detected with the addition of fillers. Addition of APP/PER to composite materials improved their fire properties. In the horizontal combustion test, the flame did not progress and was extinguished in the APP/PER added samples. A decrease in burning rate and an increase in LOI value were detected with the increase in SP usage rate.

Keywords: Saponin, Ammonium polyphosphate (APP), Intumescent flame retardant, Polypropylene (PP)

1. Giriş

Polipropilen (PP) işlenebilirliği kolay, kimyasal kararlılığa sahip, yüksek sıcaklık dayanımlı ve düşük fiyatı sayesinde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Maddah, 2016). Fakat PP malzemeler düşük yangın performansı sergilerler. Yanma anında şiddetli damlama yaparak yanmamış alandaki malzemelerin tutuşmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden bu malzemelerin yangın geciktiricilerle muamele edilmesini gerektirir (Istomina vd., 1996; Weil ve Levchik, 2008). PP'nin yancılığının üstesinden gelmek için, çevre dostu olmaları ve yüksek verimlilikleri nedeniyle şişen alev geciktiricilerin (IFR) eklenmesi üzerine ilgi çokça artmaktadır (Wen vd., 2013).

Genel olarak şişen alev geciktiriciler üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar: asit kaynağı (Amonyum polifosfat (APP)), karbon kaynağı (Pentaeritritol (PER)) ve gaz kaynağından (melamin (MEL)) oluşmaktadır (Vandersall, 1971). Ancak giderek artan çevre koruma bilinci ile melamin, halojenler ve halojen türevleri gibi potansiyel kirlilik riski taşıyan bazı katkı maddelerinin kullanılması hoş karşılanmamaktadır (Qian vd., 2015). Son yıllarda doğa dostu alev geciktirici teknolojilerinin geliştirilmesi insanların ve araştırmacıların dikkatini önemli ölçüde çekmiştir. PP, LDPE, PA6 ve EVA için yeni nesil doğa dostu yangın geciktiriciler olarak siklodekstrin nano süngerler gibi doğal karbonhidratlar kullanılmıştır (Alongi vd., 2010; Alongi vd., 2012). Ayrıca polilaktik asit (PLA) ve LDPE bazlı

✉ ^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46050, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): iatar@ksu.edu.tr

✓ **Received** (Geliştarih): 01.06.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 09.09.2024



Citation (Atıf): Atar, İ., 2024. Saponin kullanımının PP esaslı odun-plastik kompozitlerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisi. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 483-493.

DOI: [10.18182/tjf.1494050](https://doi.org/10.18182/tjf.1494050)

malzemelerde β -siklodekstrin kömür kaynağı olarak uygulanmıştır (Le Bras, vd., 1997; Feng vd., 2011). Bunlara ek olarak polyester-pamuk kumaşlar için kullanılacak yangın geciktiricilerde hem karbon kaynağı hem de köpük ajanı olarak bir biokarbonhidrat olan kitosan (Carosio vd., 2012) ve PLA bazlı kompozitlerde şişen alev geciktirici olarak APP, nişasta ve lignin kullanılmıştır (Reti vd., 2008).

Şişen alev geciktirici formüllerde köpük oluşumunu sağlayacak doğal maddelerden bir diğersaponinlerdir. Saponinler (SP) birçok bitki tarafından sentezlenen sekonder metabolitlerdir (Arif vd., 2009). Saponin doğal iyonik olmayan bir yüzey aktif maddesi, enzimlerle toksik olmayan bileşiklere dönüşebilir ve çevre kirliliğine sebep olmayan bir maddedir (Qian vd.,2015). Ayrıca,saponinkarbondioksit'i (CO_2) güçlü absorplama özelliğinden dolayı gaz beton üretiminde, köpüklü yangın tüplerinde köpük ajanı olarak kullanılmaktadır (Ruter, 2002;Jiang ve Sun, 2003).

Yapılan son çalışmalarda saponin şişen alev geciktirici vernik formülünde belirli oranlarda kullanılarak kontrplağın yüzeylerine uygulama yapılmıştır. Saponinin yüksek sıcaklıklarda karbon ve su buharına dönüştüğü ve kömür oluşumu için diğer bileşiklerle bağlanabildiği tespit edilmiştir (Qian vd.,2015). Diğer bir çalışmada saponin katkılı şişen alev geciktirici vernik uygulamalarında piroliz performansı incelenmiştir. Çalışma sonucunda saponinin kömür tabakasının mikro yapısında, alev geciktirici ve piroliz performansında önemli oranda etkili olduğu görülmüştür (Qian vd., 2019).

Literatür araştırmalarında saponinin PP bazlı odun-plastik kompozitlerde yangın geciktirici olarak kullanılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada doğal ve çevre dostu bir malzeme olan saponin ile yangına dayanıklı kompozit malzemelerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda saponinin farklı oranlarda şişen alev geciktirici formülüne eklenerek kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada polimer malzeme olarak PETKİM firmasından temin edilen polipropilen (PP) (EH-102) kullanılmıştır.Şişen alev geciktirici formülünde; amonyum polifosfat (APP), pentaeritritol (PER), saponin (SP) kullanılmıştır. Odun-plastik kompozitler için %10 oranında 60mesh boyutunda kızılçam odunu kullanılmıştır. Odununu ve diğer yangın geciktirici katkı maddeleri ile birlikte toplam dolgu maddesi %42'ı bulmaktadır. Üretimlerde dolgu maddesi oranı %40'ı geçtikçe malzemenin akışkanlığında azalma olmakta ve üretimi zorlaşmaktadır. Ekstruder ve enjeksiyon üretimlerinin sorunsuz yapılabilmesi için odununu oranı %10 olarak belirlenmiştir.APP (EXOSEL APP) ve PER kimyasalları Ataman Kimya firmasından, saponinShaanxiRainwoodBiotechCo., Ltd.'den satın alınmıştır. Kızılçam odununu kereste atölyesinden temin edilmiştir.

Şişen alev geciktiricili kompozit üretiminde bağlayıcı olarak PP, asit sağlayıcı olarak Amonyum polifosfat (APP), karbon sağlayıcı olarak pentaeritritol (PER) kullanılmıştır. Saponin karışımında hem karbon kaynağı hem köpük ajanı olarak görev almıştır. Çizelge 1'de üretim reçetesi verilmiştir.

2.2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında dolgu maddesi olarak kullanılan kızılçam odununu sarsak elek yardımı ile sınıflandırılmış ve 60mesh üzerinde kalan malzemeler üretimde kullanılmıştır. Üretim reçetesinde belirlenen malzemeler mekanik karıştırıcıya koyularak homojen bir şekilde karışması (5dk) sağlanmıştır. Daha sonra karışımlar ekstruder makinesinden geçirilmiş (Sıcaklıklar: 180-185-195-200°C) ve granül halinde odun-plastik karışımı elde edilmiştir (Şekil 1). Elde edilen granüller kırıcı makinesinde küçük parçalara ayrılarak pelet haline getirilmiştir. Peletler 103°C de etüvde ağırlıkları değişmeyinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra enjeksiyon kalıplama makinesinde (Sıcaklıklar: 180-190-200°C) test örnekleri üretilmiştir. Üretilen örnekler test edilmeden önce 20°C sıcaklıkta ve %65 bağıl nemdeki iklimlendirme kabininde kondisyonlanmaya bırakılmıştır. Daha sonra örneklerin mekanik, fiziksel ve yanma özellikleri belirlenmiştir. Şekil 2'de üretim deseni verilmiştir.



Şekil 1. Ekstruder üretimi yapılan grupların granül hali
Figure 1. Granule form of extruder produced groups

Çizelge 1. Üretim Reçetesi
Table 1. Production Recipe

Örnek kodu	Polipropilen(%)	Odun unu(%)	APP (%)	PER (%)	SP (%)
PP-0	100	0	0	0	0
PP-2	98	0	0	0	2
PP-4	96	0	0	0	4
PP-6	94	0	0	0	6
PP-8	92	0	0	0	8
PP-AP0	76	0	18	6	0
PP-AP2	74	0	18	6	2
PP-AP4	72	0	18	6	4
PP-AP6	70	0	18	6	6
PP-AP8	68	0	18	6	8
PPO-0	90	10	0	0	0
PPO-2	88	10	0	0	2
PPO-4	86	10	0	0	4
PPO-6	84	10	0	0	6
PPO-8	82	10	0	0	8
PPO-AP0	66	10	18	6	0
PPO-AP2	64	10	18	6	2
PPO-AP4	62	10	18	6	4
PPO-AP6	60	10	18	6	6
PPO-AP8	58	10	18	6	8

Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Eğilme Özellikleri: Zwick/Roell Z010 Universal Test Makinesi kullanılarak 5 adet örnek 2mm/dk. hızda test edilerek eğilme mukavemeti (MPa) ve eğilmede elastikiyet modülü (MPa) değerleri ASTM D 790 (2010)'a göre belirlenmiştir. Çekme Direnci: Zwick/Roell Z010 Universal Test Makinesi kullanılarak 5 adet örnek ASTM D 638 (2010)'e göre belirlenmiştir. Darbe Direnci: Zwick/Roell HIT5.5P Test Makinesi kullanılarak 5 adet örnek ASTM 256 (2010)'ya göre belirlenmiştir. Örneklerin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama ve darbe direnci değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmıştır.

$$ED = \frac{3 \cdot P_{max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Eşitlikte; ED: Eğilme direncini (MPa), Pmax: Kırılma anındaki maksimum kuvveti (N), L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm), b: örnek genişliğini (mm), h: örnek kalınlığını (mm) ifade etmektedir.

$$EEM = \frac{\Delta F \cdot L}{4 \cdot b \cdot h \cdot \Delta f} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Eşitlikte; EEM: Eğilmede elastikiyet modülünü (MPa), ΔF : Deformasyonu sağlayan kuvveti (n), L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm), b: örnek genişliğini (mm), h: örnek kalınlığını (mm), Δf : Eğilme miktarını (mm) ifade etmektedir.

$$\text{ÇD: } \frac{P_{max}}{a \cdot b} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

Eşitlikte; ÇD: Çekme direncini (MPa), Pmax: Maksimum kuvveti (N), a: Örnek kalınlığını (mm), b: Örnek genişliğini (mm) ifade etmektedir.

$$\text{ÇEM: } \frac{F}{L} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

Eşitlikte; F: Deformasyonu gerçekleştiren kuvveti (N), L: Deformasyon miktarını (mm) ifade etmektedir.

$$KU: \frac{\Delta L}{L_0} \text{ (%) } \quad (5)$$

Eşitlikte; Kopmada uzama miktarını (%), ΔL : Birim uzama miktarını (mm), L_0 : Örnek uzunluğunu (mm) ifade etmektedir.

$$DD: \frac{Q}{a \cdot b} \text{ (kJ/m}^2\text{)} \quad (6)$$

Eşitlikte; DD: Darbe direncini (kJ/m²), Q: Örneğin kırılması için gerekli enerji miktarını (kJ), a: Örnek kalınlığını (m), b: Örnek genişliğini (m) ifade etmektedir.

Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Yoğunluğun belirlenmesinde EN 323 (1993) standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Her grup için en az 5 adet 25x25xörnek kalınlığı (mm) boyutlarında deney numuneleri kullanılmıştır. Örneklerin ağırlıkları 0,01g duyarlılıktaki analitik terazide kuru olarak belirlenerek özgül ağırlıkları (Do) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (7).

$$D_0 = \frac{M_0}{V_0} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (7)$$

Eşitlikte; Mo: örnek ağırlığını (g), Vo: örneğin hacimini (cm³) ifade etmektedir.

Yanma özelliklerinin belirlenmesi

Oksijen limit indeksi (LOI): Şişen alev geciktiricili kompozit malzemelerin yangın geciktirici özellikleri üzerine saponinin etkisi oksijen limit indeksi analizi ile belirlenmiştir. Malzemelerin yanması için gerekli oksijen oranları belirlenen ISO 4589-2 (2017) standardına göre belirlenmiştir.

Yatay yanma testi: Üretilen örneklerin yanma hızlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Her grup için 5 adet test örneği test edilmiştir. UL 94 (2021) standardına (Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances) göre testler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Örnekler tutuşturulacağı kenardan 25 mm ve 75 mm olacak şekilde çizgiler konuldu. Örnekler tutuşturulduktan sonra ilk 25 mm'lik işaretli alanın yanmasının ardından 75 mm'lik alanın yanma süresi belirlenmiştir. Yatay yanma (YH) hızı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (8).

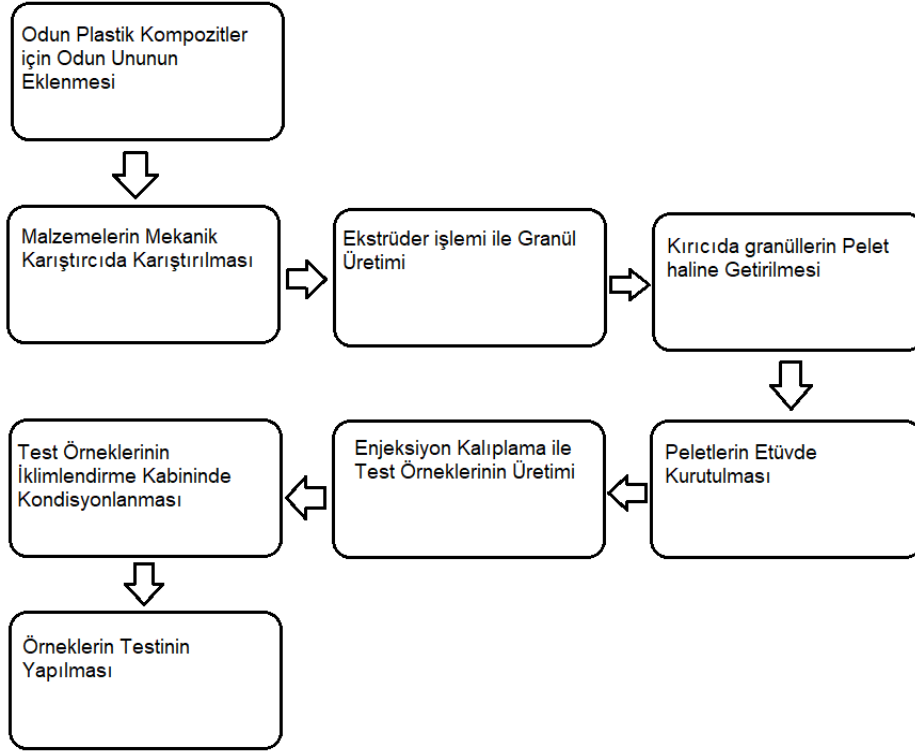
$$YH = \frac{A_{75mm}}{s} \text{ (mm/dk)} \quad (8)$$

Eşitlikte; YH: Yanma hızını (mm/dk), A_{75mm} : Yanma uzunluğunu (mm), S: alevin 75 mm mesafeyi yakma süresini (dk) ifade etmektedir.

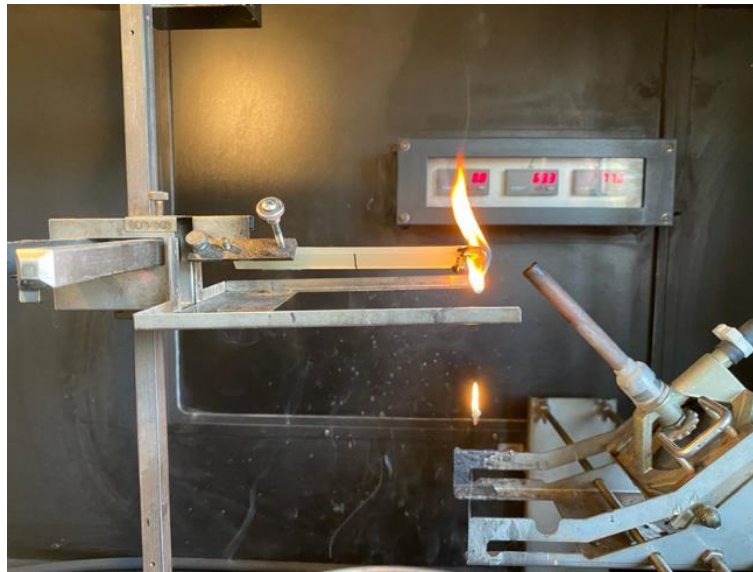
Elde edilen verilerin SPSS programı (IBM SPSS 20.0) kullanılarak istatistiksel analizleri yapılmıştır. Örnek kombinasyonlarının fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla ANOVA basit varyans analizi uygulanmıştır. Ayrıca bu grupların ortalamaları arasındaki farklar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

3. Bulgular ve tartışma

Üretimi gerçekleştirilen örneklerin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, darbe direnci, yoğunluk, yatay yanma ve LOI testleri yapılmıştır. Çizelge 2’de test sonuçlarının ortalama değerleri verilmiştir.



Şekil 2. Üretim deseni
Figure 2. Production pattern



Şekil 3. Yatay yanma testi
Figure 3. Horizontal burn test

Çizelge 2. Kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri

Table 2. Physical, mechanical and combustion properties of composite materials

Numune adı	Çekme direnci (MPa)	Çekmede elastikiyet modülü(MPa)	Kopmada uzama (%)	Eğilme direnci (MPa)	Eğilmede elastikiyet modülü(MPa)	Darbe direnci (kJ/m ²)	Yoğunluk (g/cm ³)	Yatay yanma (mm/dk)	LOI (%)
PP-0	29,12	678,05	420,00	35,27	1034,84	2,50	0,89	19,20	18,00
PP-2	29,70	680,00	18,93	41,67	1336,72	2,66	0,90	14,25	19,00
PP-4	28,82	726,62	16,71	39,43	1299,37	2,85	0,91	13,94	19,00
PP-6	28,00	717,30	16,09	41,60	1441,08	3,33	0,92	13,35	20,00
PP-8	25,95	787,73	13,75	39,78	1412,30	2,97	0,93	12,95	20,00
PP-AP0	24,76	841,89	18,66	40,81	1526,94	2,92	0,99	-	23,00
PP-AP2	24,78	903,08	30,40	47,27	2074,80	3,10	1,01	-	25,00
PP-AP4	24,13	920,16	22,55	44,52	1988,13	3,20	1,01	-	25,00
PP-AP6	24,36	930,82	12,62	46,33	2252,61	2,86	1,03	-	26,00
PP-AP8	23,44	937,66	11,32	43,90	2181,36	2,95	1,04	-	27,00
PPO-0	26,42	716,14	8,74	44,11	1567,92	2,34	0,91	31,10	19,00
PPO-2	26,30	804,64	6,78	42,65	1538,42	2,17	0,92	30,67	19,00
PPO-4	25,17	792,12	7,15	45,93	1769,55	2,73	0,93	29,44	19,00
PPO-6	25,37	809,41	7,44	44,35	1764,85	2,81	0,95	28,42	20,00
PPO-8	24,05	835,73	6,40	40,24	1672,17	2,54	0,96	25,31	20,00
PPO-AP0	20,70	826,10	9,51	39,72	1651,83	2,65	1,01	-	20,00
PPO-AP2	21,21	1043,35	4,88	43,99	2472,63	2,59	1,02	-	21,00
PPO-AP4	21,38	1145,82	4,12	42,13	2703,29	2,83	1,04	-	22,00
PPO-AP6	21,00	1118,00	3,70	41,57	2681,86	2,65	1,04	-	24,00
PPO-AP8	20,11	1100,95	3,67	40,40	2821,86	2,60	1,06	-	24,00

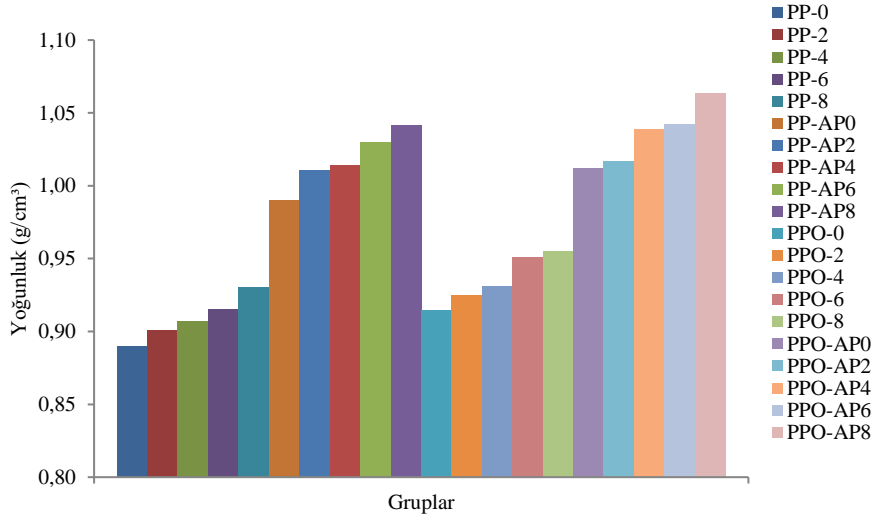
Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre odununu, APP/PER ve SP kullanımının kompozit malzemenin yoğunluk değeri üzerine önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Odununu ve APP/PER ilavesi ile yoğunluk değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek yoğunluk değeri PPO-AP8 grubunda bulunurken en düşük yoğunluk değeri PP-0 (kontrol) grubunda tespit edilmiştir. Kombinasyona eklenen dolgu maddelerinin yoğunluğunun polimer matrisine daha yüksek olması sebebiyle yoğunlukta artış meydana gelmiştir. Literatürde de benzer sonuçlara rastlanmıştır (Atar vd., 2021; Başboğa vd., 2020). Üretimlerde SP kullanım oranının artışı ile birlikte örneklerin yoğunluğunda da artış tespit edilmiştir. Üretimi yapılan grupların yoğunluk grafiği Şekil 4'te verilmiştir.

Çekme direnci değerlerine bakıldığında odununu, APP/PER ve SP kullanımının istatistiksel olarak önemli oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Üretimlerde odununu ve APP/PER ilavesi ile örneklerin çekme dirençlerinde azalma meydana getirmiştir. En yüksek çekme direnci PP-2 grubunda, en düşük çekme direnci PPO-AP8 grubunda tespit edilmiştir. Genel olarak saponin kullanım oranının artması ile örneklerin çekme direncinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Şekil 5'te örneklerin çekme direnci grafiği verilmiştir. Literatürde de polimer matrisine dolgu maddesi ilavesi ile çekme direncinin düştüğü görülmektedir (Bledzki ve Faruk 2003; Yang vd., 2004; Yang vd., 2007; Maziero vd., 2019; Çavuş, 2020; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020; Başboğa vd., 2022; Kılıç vd., 2023; Kılıç vd., 2024). PP matrisi ile dolgu maddesi arasında zayıf bir bağ olduğu ve polimer matrisindeki bağın dolgu maddesi katılım düzeyinin artmasıyla azaldığı, dolayısıyla çekme direnci değerlerinin azaldığı düşünülmektedir. Şekil 5'te örneklerin çekme direnci grafiği verilmiştir.

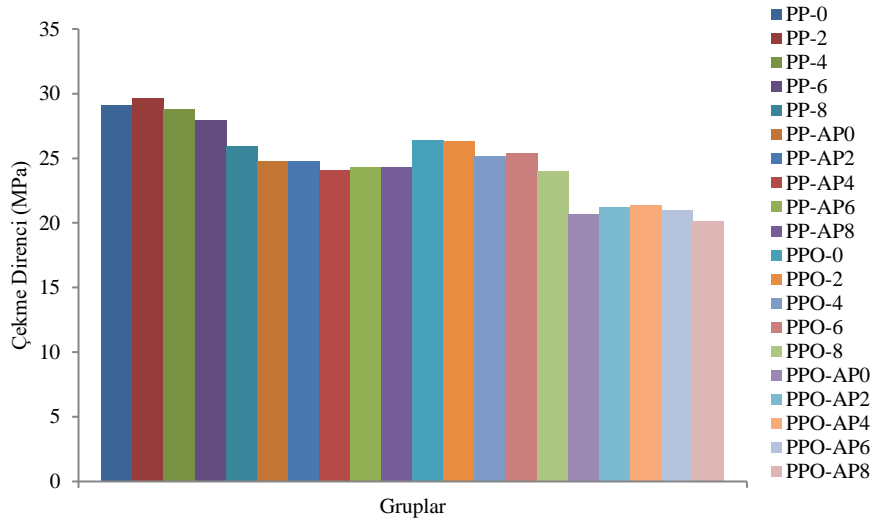
İstatistik analiz sonuçlarına göre çekmede elastikiyet modülü üzerine odununu, APP/PER ve SP kullanımının

önemli oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Odununu ve APP/PER kullanımı ile örneklerin çekmede elastikiyet modülü (ÇM) değerlerinde artış meydana gelmiştir. En yüksek ÇM değeri PPO-AP4 grubunda bulunurken en düşük ÇM değeri PP-0 grubunda tespit edilmiştir. Odununu kullanılmayan örneklerde SP kullanım oranı artması ile ÇM değerinde artış meydana gelmiştir. Odununu kullanılan örneklerde SP kullanımı orantısız artış veya azalış göstermemiştir. Kullanılan dolgu maddelerinin modül değerlerinin polimer matrisine yüksek olması sebebiyle dolgu ilavesi ile ÇM değerinde artış görülmektedir. 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 6'da örneklerin çekmede elastikiyet modülü grafiği verilmiştir.

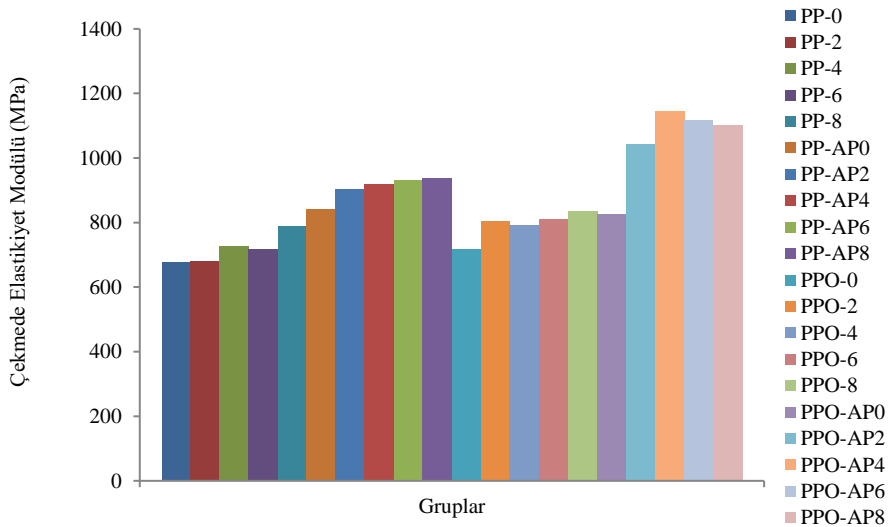
Kopmada uzama test sonuçları incelendiğinde odununu, APP/PER ve SP kullanımının önemli oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Genel olarak Odununu ve APP/PER ilavesi ile örneklerin kopmada uzama (KU) değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. En yüksek KU değeri PP-0 grubunda tespit edilirken en düşük KU değeri PPO-AP8 grubunda bulunmuştur. PP grubu test süresince kopmamış makinenin maksimum seviyesine kadar çekme işlemi devam etmiştir. Üretimde SP kullanım oranının artması ile örneklerin KU değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Bu durum daha önce yapılan çalışmalar da tespit edilmiştir (Başboğa vd., 2022; Kılıç vd., 2024). Odun-plastik kompozitlerde lignoselülozik ve dolgu maddelerinin artışı ile kompozit malzemelerin sertliği de artmaktadır. Böylece kompozit malzemenin elastikliği azalır ve daha rijit bir yapıya sahip olur. Sonuç olarak kopmada uzama değerinde azalma meydana gelir (Zaini vd., 1996). Şekil 7'de örneklerin kopmada uzama grafiği verilmiştir.



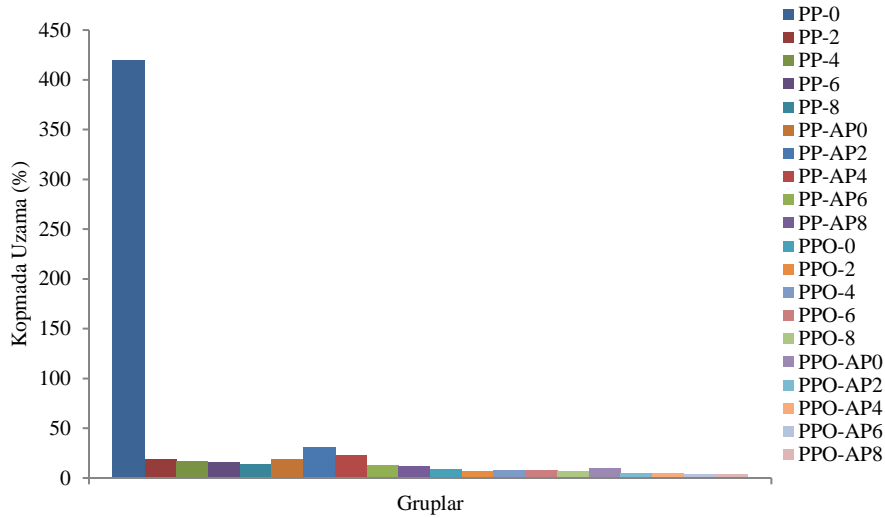
Şekil 4. Üretilen örneklerin yoğunluk değeri bar grafiği
Figure 4. Bar graph of density value of produced samples



Şekil 5. Üretilen örneklerin çekme direnci değeri bar grafiği
Figure 5. Bar graph of tensile strength value of produced samples



Şekil 6. Üretilen örneklerin çekmede elastikiyet modülü değeri bar grafiği
Figure 6. Bar graph of tensile modulus of the produced samples



Şekil 7. Üretilen örneklerin kopmada uzama değeri bar grafiği
Figure 7. Bar graph of elongation value at break of produced samples

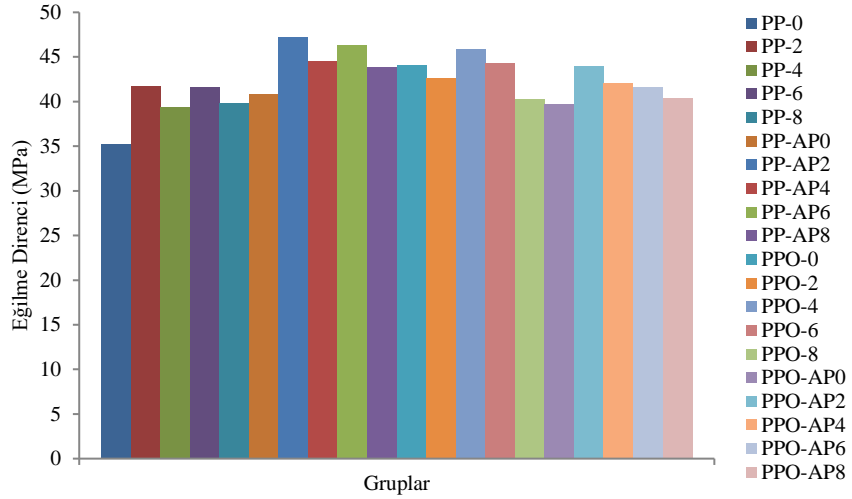
Eğilme direnci (ED) değerleri incelendiğinde odununu, APP/PER ve SP kullanımının istatistiksel olarak önemli oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Kontrol örneğine kıyasla odununu, APP/PER ve SP kullanımı ile eğilme direncinde artış görülmüştür. SP kullanım oranının artmasıyla eğilme direncinde orantılı bir artış veya azalış tespit edilmemiştir. Lignoselülozik lifler ve kullanılan dolgu maddeleri polimerden daha yüksek modüle sahiptir ve daha yüksek lif konsantrasyonu aynı deformasyon için daha yüksek kuvvet gerektirir (Karmarkar vd., 2007; Kılıç vd., 2023). Şekil 8'de örneklerin eğilme direnci grafiği verilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü (EEM) üzerine odununu, APP/PER ve SP kullanımı önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Eğilme direncine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Odununu ve APP/PER kullanımı ile örneklerin EEM değerlerinde artış meydana gelmiştir. APP/PER katkısız ve odununu örnekler hariç SP ilave oranının artması ile EEM değerinde artış görülmüştür. Polimer matrisine eklenen dolgu maddelerinin daha yüksek modüle sahip olması nedeniyle EEM değerlerinde artış meydana gelmektedir. Diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Espinach vd., 2013; Mengeloğlu ve Çavuş, 2020; Başboğa, 2023). Şekil 9'da örneklerin eğilmede elastikiyet modülü grafiği verilmiştir. Poliolenin bazlı plastik kereste döşeme tahtaları için ASTM D 6662 (2001) standardı, 6,9 MPa'lık minimum eğilme mukavemeti ve 340 MPa elastikiyet modülü değeri gerektirir. Test edilen tüm numuneler ASTM D 6662'nin gerekliliklerini sağlamıştır.

İstatistik analiz sonuçlarına göre darbe direnci üzerine odununu, APP/PER ve SP kullanımı etkili bulunmuştur. Polimer matrisine odununu eklenmesi ile örneklerin darbe direnci değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Üretime APP/PER katılması darbe direncini az miktarda artırmıştır. Bunun nedeni dolgu maddesi ilavesi ile polimer matrisin sertliğinin artmasından kaynaklanmaktadır. Diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Çavdar vd., 2015). SP kullanım oranının

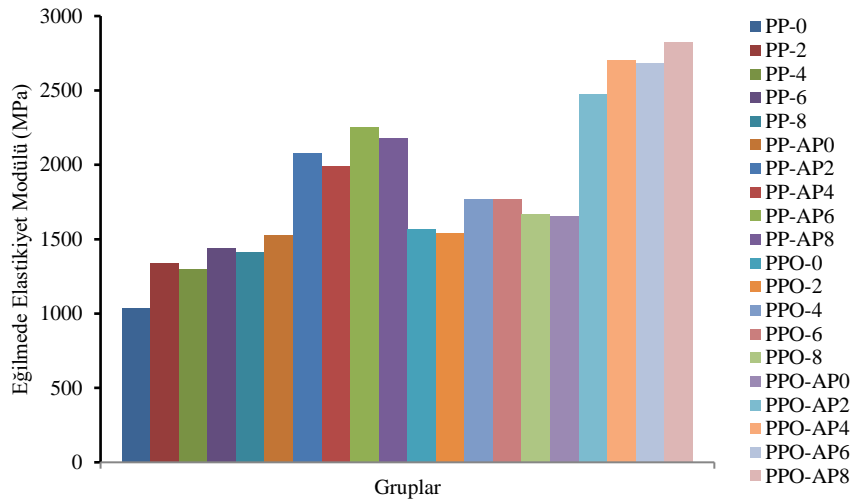
artması ile örneklerin darbe direnci değerlerinde orantısız olarak artış veya azalma görülmemiştir. Yapılan Duncan testine göre %0-2-8 ve %8-4-6 oranlarında SP kullanılan örneklerde benzerlik tespit edilmiştir. Şekil 10'da örneklerin darbe direnci grafiği verilmiştir.

Test gruplarına yapılan yatay yanma sonuçlarına bakıldığında Odununu, APP/PER ve SP kullanım oranının önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Polimer matrisine odununu ilavesi ile örneklerin yanma hızında artış tespit edilmiştir. Bunun nedeni saf polimer yanma sırasında şiddetli damlama yapmakta ve alev gücünün bir kısmını sürekli bir şekilde kaybetmektedir. Fakat odununu katkısı ile damlama azalmakta ve alev gücü saf polimere göre daha az olmaktadır. Bu da yanma süresini olumsuz etkilemektedir. Üretime APP/PER ilave edilen örneklerin tamamında alev ilerlemeyi durdurmuş ve sönmüştür. Verimli kömürleşmiş şişen tabaka, alevden polimer matrisine ısı ve oksijen transferini azaltarak kompozitler için alev geciktirici özellikleri iyileştirmiştir. Daha önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar tespit edilmiştir (Li ve Xu., 2006; Nie vd., 2013; Çavdar vd., 2019). APP/PER katkısız örneklerde SP oranının artması ile yanma hızında orantılı olarak azalma meydana gelmiştir. SP kompozit örneklerin yangın geciktirici özelliğini arttırmıştır. Şekil 11'de örneklerin yatay yanma grafiği verilmiştir.

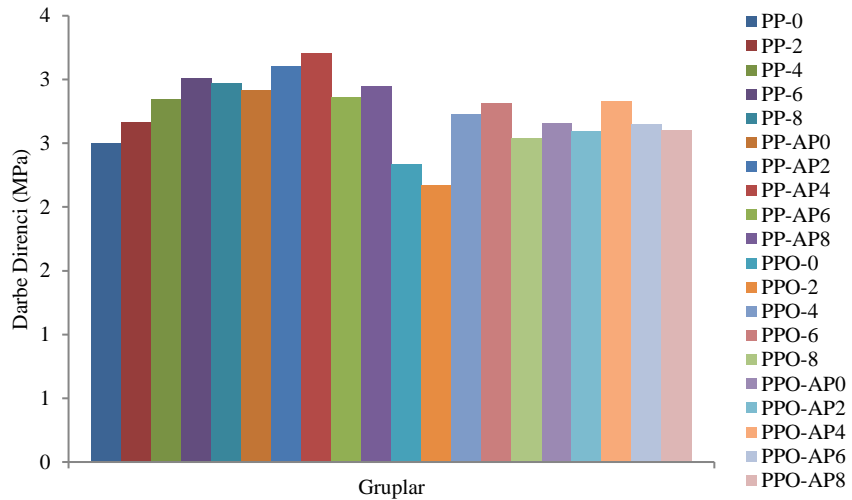
Örneklerin limit oksijen indeksi (LOI) test sonuçlarına göre odununu, APP/PER ve SP kullanım oranının örneklerin LOI değeri üzerine önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Kontrol grubuna kıyasla APP/PER ve odununu ilavesi ile LOI değerinde artış olduğu belirlenmiştir. Şişen yangın geciktirici olan APP, polimer matris yüzeyinde koruyucu bir bariyer oluşturabilir ve bu nedenle kömürleşmeyi artırır (Attia vd., 2014; Nie vd., 2013). APP/PER katkılı örneklerde odununu ilavesi ile LOI değerinde azalma meydana gelmektedir. Üretim gruplarında SP kullanım oranının artması ile LOI değerinde de artış olmaktadır. Şekil 12'de örneklerin LOI grafiği verilmiştir.



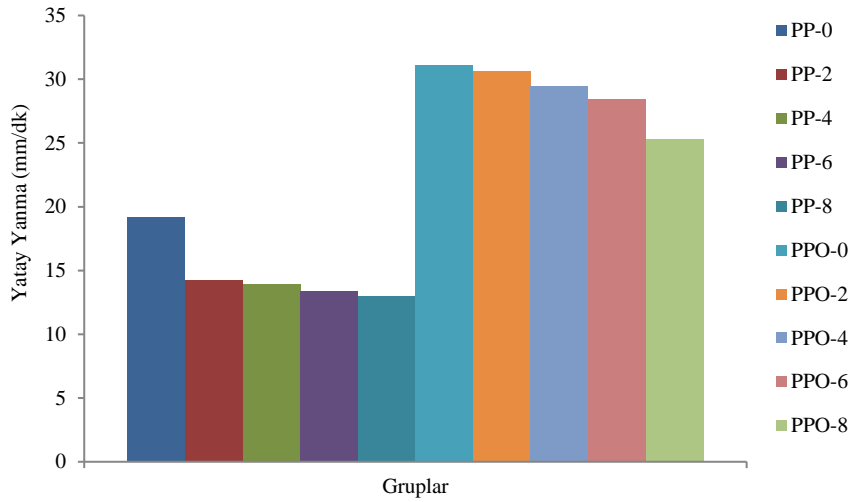
Şekil 8. Üretilen örneklerin eğilme direnci değeri bar grafiği
Figure8. Bar graph of flexural strength value of produced samples



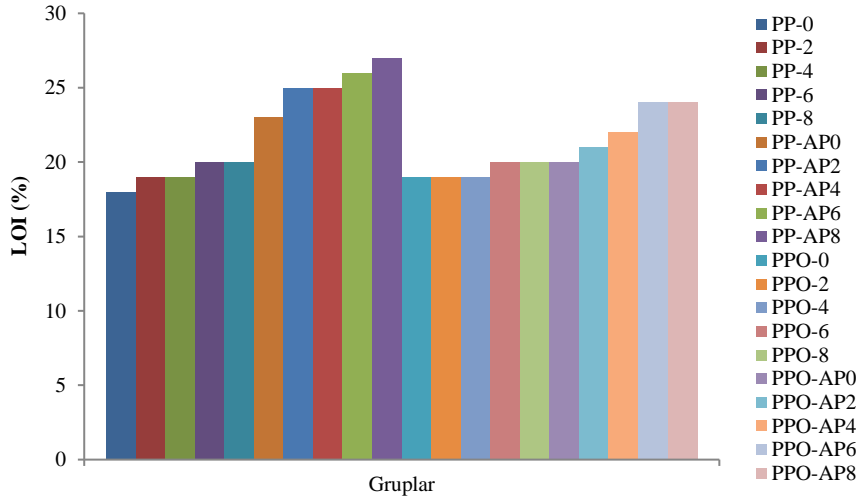
Şekil 9. Üretilen örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değeri bar grafiği
Figure9. Bar graph of the flexural modulus value of the produced samples



Şekil 10. Üretilen örneklerin darbe direnci değeri bar grafiği
Figure10. Impact strength value bar graph of produced samples



Şekil 11. Üretilen örneklerin yatay yanma değeri bar grafiği
Figure 11. Horizontal combustion value bar graph of produced samples



Şekil 12. Üretilen örneklerin LOI değeri bar grafiği
Figure 12. LOI value bar graph of produced samples

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında PP esaslı odun unu, APP/PER ve SP katkı 20 farklı kombinasyonda kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen örneklerin fiziksel özellik (yoğunluk değeri), mekanik özellikleri (çekme direnci, çekme elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci) ve yanma özellikleri (yatak yanma ve limit oksijen indeksi) incelenmiştir.

Test sonuçlarına göre odun unu, APP/PER ve SP ilavesi ile çekme direncinde ve kopmada uzama değerlerinde azalma görülürken çekme elastikiyet modülü değerinde artış meydana gelmiştir. Kontrol grubuna kıyasla odun unu, APP/PER ve SP kullanımı ile eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Polimer matrisle odun unu, APP/PER ve SP katılması ile darbe direncinde artma görülmüştür. Odun unu kullanılmayan örnekler odun unu kullanılan örneklere göre

daha yüksek darbe direncine sahip olmuştur. PP esaslı örneklerde dolgu maddelerinin kullanımı ile yoğunluk değerlerinde artış görülmüştür. Örneklerin yanma özellikleri incelendiğinde APP/PER kullanımı ile alevin ilerlemediği ve söndüğü tespit edilmiştir. Odun unu kullanımı ile yanma hızında artış meydana gelirken SP kullanım oranının artmasıyla örneklerin yanma hızında azalma görülmüştür. Kontrol grubuna kıyasla odun unu, APP/PER ve SP kullanımı ile LOI değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. SP kullanım oranının artması ile LOI değerlerinde de artış meydana gelmiştir.

Açıklama

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "2023/2-19M Münferit Proje" kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Alongi, J., Poskovic, M., Frache, A., Malucelli, G., 2012. Cyclodextrin nanospheres as novel green flame retardants for PP, LLDPE and PA6. *Carbohydrate Polymers*, 88 (4): 1387–1394.
- Alongi, J., Poskovic, M., Frache, A., Trotta, F., 2010. Novel flame retardants containing cyclodextrin nanospheres and phosphorus compounds to enhance EVA combustion properties. *Polymer Degradation and Stability*, 95: 2093–2100.
- Arif, T., Bhosale, J. D., Kumar, N., Mandal, T. K., Bendre, R. S., Lavekar, G. S., Dabur, R. 2009. Natural products–antifungal agents derived from plants. *Journal of Asian Natural Products Research*, 11(7): 621–638.
- ASTM D6662, 2001. Standard Specification for Polyolefin- based Plastic Lumber Decking Boards. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- 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.
- 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.
- Attia, N., Hassan, M., Nour, M., Geckeler, K., 2014. Flame retardant materials: synergistic effect of halloysite nanotubes on the flammability properties of acrylonitrile– butadiene–styrene composites. *Polymer International*, 63: 1168–1173.
- Başboğa, H. İ., 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
- 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.
- 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. DOI: 10.17568/ogmoad.1091247
- 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
- Carosio, F., Alongi, J., Malucelli, G., 2012. Layer by layer ammonium polyphosphate-based coatings for flame retardancy of polyester–cotton blends. *Carbohydrate Polymers*, 88(4): 1460–1469.
- 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
- 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
- Çavdar, A. D., Mengeloğlu, F., Karakuş, K., 2015. Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites. *Measurement*, 60:6-12.
- Çavdar, A. D., Torun, S. B., Ertas, M., Mengeloğlu, F., 2019. Ammonium zeolite and ammonium phosphate applied as fire retardants for microcrystalline cellulose filled thermoplastic composite. *Fire Safety Journal*, 107: 202-209.
- EN 323, 1993. Wood-based panels Determination of density, European Standard.
- 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
- Feng, J. X., Su, S. P., Zhu, J., 2011. An intumescent flame retardant system using β -cyclodextrin as a carbon source in polylactic acid (PLA). *Polymers for Advanced Technologies*, 22: 1115–1122.
- ISO 4589-2, 2017. Plastics - Determination of burning behaviour by oxygen index. International Standard.
- Istomina, E.I., Zubkova, N.S., Butylkina, N.G., Gordeeva, S.A., Tjuganovaa, M.A., Khalturinskaya, N.A., 1996. Lowering of polyethylene (PE) and polypropylene (PP) combustibility. *Fire Safety Journal*, 26:185.
- Jiang, H. P., Sun, L. F., 2003. Progress on the research fields on the extraction and application of tea saponin. *Jiangxi Chemical Industry*, 4: 52–57.
- Karmarkar, A., Chauhan, S. S., Modak, J. M., Chanda, M., 2007. Mechanical properties of wood–fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(2): 227-233. DOI: 10.1016/j.compositesa.2006.05.005
- 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
- Le Bras, M., Bourbigot, S., Le Tallec, Y., Laureyns, J., 1997. Synergy in intumescence-application to β -cyclodextrin carbonisation agent in intumescent additives for fire retardant polyethylene formulations. *Polymer Degradation and Stability*, 56: 11–21.
- Li, B., Xu, M.J., 2006. Effect of a novel charring-foaming agent on flame retardancy and thermal degradation of intumescent flame retardant polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 91: 1380–1386.
- Maddah, H.A., 2016. Polypropylene as a promising plastic: a review. *American Journal of Polymer Science*, 6(1): 1-11. DOI: 10.5923/j.ajps.20160601.01
- 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
- 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>
- Mengeloğlu, F., Çavuş, V., 2020. Preparation of thermoplastic polyurethane-based biocomposites through injection molding: Effect of the filler type and content. *BioResources*, 15(3): 5749-5763. DOI: 10.15376/biores.15.2.2227-2236

- Nie, S., Liu, X., Wu, K., Dai, G., Hu, Y., 2013. Intumescent flame retardation of polypropylene/ bamboo fiber semi-biocomposites: flame retardancy and thermal degradation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 111: 425–430.
- Qian, W., Li, X.Z., Wu, Z.P., Liu, Y.X., Fang, C.C., Meng, W., 2015. Formulation of intumescent flame retardant coatings containing natural-based tea saponin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63: 2782-2788.
- Qian, W., Li, Zhou, J., Liu, Y., Wu, Z., 2019. High synergistic effects of natural-based tea saponin in intumescent flameretardant coatings for enhancement of flame retardancy and pyrolysis performance. *Progress in Organic Coatings*, 127: 408-418.
- Reti, C., Casetta, M., Duquesne, S., Bourbigot, S., Delobel, R., 2008. Flammability properties of intumescent PLA including starch and lignin. *Polymers for Advanced Technologies*, 19: 628–635.
- Ruter, J.M., 2002. Nursery Production of Tea Oil Camellia Under Different Light Levels. *Trends in New Crop and New Uses*, 222-224.
- 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*, 8-10 December, San Diego, California, USA, pp. 1-20.
- UL 94, 2021. Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. American National Standard.
- Vandersall, H.L., 1971. Intumescent coating system, their development and chemistry. *Journal of Fire and Flammability*, 2: 97-140.
- Weil, E.D., Levchik, S.V., 2008. Flame retardants in commercial use or development for polyolefins. *Journal of Fire Sciences*, 26: 5-43.
- Wen, P.Y., Wang, X.F., Xing, W.Y., Feng, X.M., Yu, B., Shi, Y.Q., Tang, G., Song, L., Hu, Y. R., Yuen, K.K., 2013. Synthesis of a novel triazine-based hyperbranched char foaming agent and the study of its enhancement on flame retardancy and thermal stability of polypropylene. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52: 17015-17022.
- 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)