

Aralama çalışması sonrasında elde edilen kayın odunlarının ve kupulasının odun plastik kompozit (OPK) üretiminde değerlendirilmesi

Mücahit Şahin^a, İbrahim Halil Başboğa^{b,*}

Özet: Bu çalışma kapsamında aralama çalışması sonucunda yakacak odun sınıfında bulunan kayın odunlarının ve kayın kupulalarının odun plastik kompozit (OPK) üretiminde dolgu maddesi olarak değerlendirilmesinin üretilecek olan kompozitlerin teknolojik özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 2 farklı dolgu maddesi kullanım oranı (%0 veya %50) ve 3 farklı tipte lignoselülozik dolgu maddesi kullanımı (%50kayın, %25kayın+%25kupula veya %50 kupula) ile polipropilen (PP) bazlı OPK üretimleri gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra 2 farklı oranda (%0 ve %3) maleik anhidrit aşılınmış polipropilen (MAPP) uyumlaştırıcı ajan olarak kullanılmış ve MAPP kullanımının etkileri incelenmiştir. Üretilen OPKların mekanik (çekme direnci, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci) ve fiziksel (yoğunluk ve sertlik) özellikleri ilgili standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde lignoselülozik dolgu maddelerini kendi içerisinde karşılaştırıldığında kayın odunlarının kullanımı ile en yüksek mekanik özelliklerin elde edildiği, kupula odunlarının kompozit malzemelerin içerisine eklenmesi ile mekanik direnç özelliklerinin negatif etkilendiği ve kupula kullanım oranının artması ile mekanik özelliklerinde negatif yönde etkilenmesinin arttığı görülmüştür. Genel olarak MAPP kullanımı üretilen OPKların mekanik özelliklerini iyileştirmiştir. Sadece kayın odunlarının MAPP ile birlikte kullanılması ile üretilen Kompozit gruplarında kopmada uzama özelliği hariç tüm mekanik özelliklerde en yüksek değerler elde edilmiş ve kontrol grubuna nazaran belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Çalışma neticesinde kayın odunları ve kupula odunlarının dolgu maddesi olarak kullanıldığı PP-bazlı OPK üretimleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Kayın odunlarının tek başına, kupulalarının ise kayın odunları ile birlikte ve %25 oranından daha az kullanılması ile daha iyi performans yakalanacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: OPK, MAPP, *Fagus orientalis*, Kayın kupulası, Aralama çalışması

Utilization of beech wood flours obtained after thinning and beech cupula in wood plastic composite (WPC) production

Abstract: This study aims to determine the effects of the evaluation of beech woods obtained from thinning, which are in the firewood class, and also beech cupulas as a filler in the manufacturing of wood plastic composite (WPC) on the technological properties of the composites. For this purpose, polypropylene (PP) based WPC production was carried out with the usage of 2 different fillers rate (0 or 50%) and three different types of lignocellulosic fillers (50% beech, 25% beech + 25% cupula or 50% cupula). In addition, maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP) in 2 different ratios (0% and 3%) was used as a compatibilizing agent and the effects of MAPP usage were investigated. The mechanical (tensile strength, elongation at break, flexural strength, modulus of elasticity and impact strength) and physical (density and hardness) properties of the produced WPCs were determined in accordance with the relevant standards. As a result, when the lignocellulosic fillers were compared within themselves, it was seen that the highest mechanical properties were obtained with the usage of beech wood flour. The mechanical strength properties were negatively affected by the addition of cupula flours into the composite materials, and the mechanical properties were negatively affected by the increase in the cupula rates. Generally, the usage of MAPP has improved the mechanical properties of the WPCs. In Composite groups produced by using only beech wood flour together with MAPP, the highest values were obtained in all mechanical properties except elongation at break, and significant increases were observed compared to the control group. As a result of the study, PP-based WPC productions, in which beech wood flours and cupula flours are used as fillers, have been successfully carried out. It is thought that better performance will be achieved when beech wood flours are used alone or their cupulas are used together with beech wood flours and less than 25%.

Keywords: WPC, MAPP, Oriental beech, Beech cupula, Thinning

1. Giriş

Kullanım amacına uygun olarak istenilen nitelikleri kazandırmak için iki veya daha fazla malzemenin farklı üretim metotları ile bir araya getirilerek elde edilen yeni malzemelere kompozit malzemeler denilmektedir. Matris

içerisinde odun veya farklı lignoselülozik malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanılması ile üretilen kompozitlere ise Odun Plastik Kompozitleri (OPK) denilmektedir. Bu lignoselülozik dolgu maddelerinin kompozit üretiminde kullanılmasını cazip haline getiren belli başlı özelliklerinden bazıları; yoğunluğunun düşük olması, maliyetinin diğer

✉ ^a Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Kütahya, Türkiye

^b Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

✉ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): ibrahim.basboga@btu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 19.01.2023, **Accepted** (Kabul tarihi): 15.05.2023



Citation (Atıf): Şahin, M., Başboğa, İ.H., 2023. Aralama çalışması sonrasında elde edilen kayın odunlarının ve kupulasının odun plastik kompozit (OPK) üretiminde değerlendirilmesi. Turkish Journal of Forestry, 24(2): 139-149. DOI: [10.18182/tjf.1239103](https://doi.org/10.18182/tjf.1239103)

dolgu maddelerine nazaan daha ucuz olması, doğada ve üretim atıkları olarak bol miktarlarda bulunmaları, doğada kolayca bozunabilmeleri, vb. olarak sıralanabilir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

Nüfusun artması ile birlikte altarnetif malzemelere olan ilgi ve özellikle kompozit malzemelere olan ilgi son yirmi yıl içerisinde giderek artmaktadır. Yapılan araştırmalara göre 2012 yılı içerisinde toplam 352.000 ton lignoselülozik dolgu maddelerinin kullanımı ile üretilen odun-plastik ve doğal-lif kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir ve bu malzemelere olan ilgi giderek arttığı belirtilmiştir (Carus vd., 2015). Ayrıca yapılan araştırmalarda bu büyümenin 2021-2030 yılları arasında giderek artacağı öngörülmektedir (Johnson, 2020). Literatürde birçok ağaç türünün odun unları ve atıkları, zirai atıklar ve birçok lignoselülozik malzemenin OPK üretiminde değerlendirildiği çalışmalar söz konusudur (Mrowka vd., 2021; Başboğa vd., 2020; Taşdemir vd., 2020; Mengeloğlu vd., 2019; Boran vd., 2019; Acar, 2014; Avcı, 2012; Matuana vd., 2011; Dönmez Çavdar, 2011; Karakuş, 2008; Mengeloğlu ve Kabakci, 2008). Bu çalışmalarda konuya olan ilginin boyutunun nedenli büyük olduğunu göstermektedir.

Türkiye’de *Fagaceae* familyasına dahil olan 2 cins kayın vardır. Bunlar Doğu Kayını (*F. orientalis* Lipsky.) ve Avrupa Kayını’dır (*F. silvatica* L.) ve avrupa kayınına nazaran Doğu Kayını ülkemizde daha geniş bir yayılış alanına sahiptir (Ormancılık Arştırma Enstitüsü, 1985). Kayın türlerinde sürgünden gençleşme yaygın görülmektedir. Kütahya Altıntaş orman işletme müdürlüğü bölgesinde kayında baltalık işletmesi (kökten sürgün gelme ya da kökten patlama) sona erdirilip koruya dönüştürme çalışmaları (tohumdan gençliğin gelmesi) yapılmaktadır. Kayında boy 15m ye geçtiğinde istikbal fertler (uzun ömürlü bireyler) sahada bırakılmakta ve ona engel olan kök çürütmesi yapmış ya da mantarlı hastalıklı yada gelişmemiş bireyler ayıklanarak sterlenir bu sterlenen ürünler fabrika satışı yada halka yakacak olarak temin edilmektedir. Kayın ormanlarında biyolojisine hakim olunması için en uygun aralama şekli yüksek aralamadır. Yapılan bir çalışmada kayın ağaçları için şiddetli aralama müdahalesi yapılması neticesinde en yüksek ortalama gövde kütlesi artımı olduğu raporlanmıştır. Bunun aksine ise en düşük ortalama gövde kütlesi artımının ise aralama müdahalesinin uygulanmadığı sahalarda olduğu belirtilmiştir (Kayhan Saygılı, 2011). Bunun yanı sıra kayın tohumlarının yetiştirilmesi ve korunması için kupula denilen dikensi bir çanak yardımcı olmaktadır. Kayın tohumları ekim ayının başından başlayarak kasımın ilk haftasına kadar ağacında kupula açılarak tohumlarını atar, kayın kupulası tohumlarını attıktan sonra kısa süre içinde

toprağa düşmektedir. Bu kupulalar atık olarak ormanda bırakılmaktadır.

Aralama çalışmaları sağlıklı Kayın ormanlarının oluşması için elzem bir durumdur. Aralama çalışması neticesinde elde edilen bu yakacak sınıfı ürünlerin ve ormanda atık olarak bırakılan kayın kupularının katma değeri yüksek nihai ürünlere dönüştürülmesi ülke ekonomisine de katkı sağlayacaktır. Bu amaç doğrultusunda bu çalışmada aralama sonucu elde edilen kayın odun unlarının ve kupula unlarının odun plastik kompozit üretiminde kullanım olanakları araştırılmıştır. Üretilen OPKların mekanik ve fiziksel özellikleri ilgili standartlara uygun olarak belirlenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) odunları ve kupulası Kütahya ilinin Altıntaş ilçesinin saraycık köyüne bağlı Altıntaş orman işletme müdürlüğünün oğuzlar şefliğine bağlı 197 nolu bölgesinde yer alan Knbc3-1 bölmeciğinin içinden alınmıştır. Aralama çalışması sonucunda elde edilen kayın odunları 1500-1800 m arası yükseltilerden tedarik edilmiştir. Kayın kupulaları da aynı bölge içerisinde temin edilmiştir. Polimer matris olarak İzmir’in Aliğa ilçesinde faaliyet gösteren Petkim Firmasının satın alma yolu ile temin edilen EH-102 kodlu Polipropilen (PP) kullanılmıştır. Kullanılan EH-102 kodlu Polipropilen (PP)’nin genel özellikleri aşağıda ki Çizelge 1’de verilmiştir.

Hidrofobik olan polimer matris ile hidrofilik olan lignoselülozik dolgu maddesi arasında ki arayüz etkileşimini arttırmak amacıyla uyumlaştırıcı olarak maleik anhidrit polipropilen (MAPP) (Licomont AR 504 by Clariant), yağlayıcı olarak ise parafin-vaks kullanılmıştır. MAPP’ın ve parafin-vaks’ın genel özellikleri aşağıdaki Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Polipropilen (PP)’e ait genel özellikler

Özellikler	Değerler	İlgili standart
MFI (230°C’de 2,16 Kg)	11 g/10 min.	ASTM D1238
Yoğunluk (23°C)	0,905 g/cm ³	ASTM D1505
Akmada gerilme dayanımı	35 MPa	ASTM D638
Erime noktası (DSC)	163 °C	ASTM D3417
Deformasyon sıcaklığı	113 °C	ASTM D648
İzod Çentikli Darbe (23 °C’de)	20 J/m	ASTM D256
Rockwell sertliği	96 R-scale	ASTM D785
Bükülme modülü	1450 MPa	TS EN ISO 178

Çizelge 2. Uyumlaştırıcının ve yağlayıcının genel özellikleri

Özellikler	Licomont AR 504 (MAPP)	Özellikler	Değer
Görünüş	Sarımsı ince taneli	Ticari Adı	Parafin-vaks
Yumuşama Noktası	156°C	Görünüş	Beyaz Toz
Asit Değeri	41 mg KOH/g	Kimyasal Formülü	C18H38
23°C’de Yoğunluk	0,91 g/cm ³	Yumuşama Noktası	56-58 °C
140°C’ de Viskozite	800 mPa.s	Yoğunluk (23°C)	0,93 g/cm ³

2.2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında odun plastik kompozit (OPK) üretimi; ekstruder yardımıyla pellet (boncuk) üretilmesi ve enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak OPK test örneklerinin üretilmesi olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Aralama sonucunda elde edilen ve yakacak odun sınıfında yer alan kayın odunları öncelikle şerit testere yardımıyla ufak parçacıklar haline getirilmiştir. Ufak odun parçacıkları haline getirilen kayın odunları ve kayın kupulaları Wiley değirmeni yardımıyla un haline getirilmiştir. OPK'ların performansları üzerinde dolgu maddelerinin boyutlarının etkili olması sebebiyle odun unları ve kayın kupula unları sarsak elek yardımıyla sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Çalışma kapsamında 40 mesh (%51,11), 60 mesh (%40) ve 80 mesh (%8,89) eleklerin üzerinde kalan odun unları kullanılmıştır. Elde edilen odun unları etüvde 103 ± 2 °C sıcaklıkta ve tam kuru hale gelecek şekilde kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

2.2.1. OPK üretimi

Çalışma kapsamında üretilecek olan OPKların üretim reçetesi Çizelge 3'te verilmiştir.

Çalışmaya ait üretim reçetesi Çizelge 3'te sunulmuştur. Çizelge 3'teki üretim reçetesine uygun olarak; Polipropilen (PP), lignoselülozik unlar, MAPP ve Wax yüksek devirli bir karıştırıcı içerisinde homojen bir karışım haline getirilmiştir. Kullanılacak tüm malzemelerin katılım oranları toplam üretim üzerinden hesaplanmıştır ve sadece yağlayıcı olarak kullanılacak olan parafin-wax toplam üretime ilaveten %3 olacak şekilde kullanılmıştır. Yüksek devirli karıştırıcıda elde edilen homojen karışımlar laboratuvar tipi tek burgulu bir ekstruder (Şekil 1) içerisinde eritmek suretiyle karıştırılmıştır. Ekstruderin vida hızı 60 rpm ve sıcaklık ayarları beslemeden kompozitlerin çıkışına doğru 195-190-185-180-180 °C olacak şekilde 5 farklı ıstma bölgesi olarak ayarlanmıştır.

Ekstruderden çıkan eriyik halinde ki karışımlar soğuk su içerisinde soğutulduktan sonra kırıcı makinesi yardımıyla küçük peletler haline getirilmiştir. Pelet haline getirilen kompozit karışımları 103 °C (± 2) de tam kuru hale gelene kadar kurutulmuştur. Enjeksiyon kalıplama öncesinde tüm örnek gruplarının rutubetleri rutubet ölçer yardımıyla belirlenmiş ve sıfır olduktan sonra örnek basımı yapılmıştır. Kurutma işlemine tabi tutulan ve rutubetleri sıfır olan peletlerden Şekil 2'de gösterilen HAIDA marka plastik enjeksiyon kalıp makinası yardımıyla OPK örnekleri üretilmektedir. Enjeksiyon sıcaklığı 180-190-200 °C, basıncı 102 kg/cm², enjeksiyon hızı 80 mm/s, vida hızı 40 rpm ve soğutma süresi 30s olacak şekilde örnekler basılmıştır. Basılan örnekler 24 saat süre ile iklimlendirme kabininde 20 ± 2 °C sıcaklıkta ve %65 \pm 5 bağıl nem şartlarında klimatize edilmiştir.

Çizelge 3. PP Bazlı OPKların üretim reçetesi

Örnek kodu	PP (%)	Kayın Unu (%)	Kupula Unu (%)	MAPP (%)	Wax (%)
Kontrol	100	0	0	0	3
KM	97	0	0	3	3
K50P0	50	50	0	0	3
K50P0M	47	50	0	3	3
K25P25	50	25	25	0	3
K25P25M	47	25	25	3	3
K0P50	50	0	50	0	3
K0P50M	47	0	50	3	3



Şekil 1. Laboratuvar tipi tek burgulu ekstruder



Şekil 2. HAIDA marka enjeksiyon kalıplama makinesi

2.2.2. Üretilen OPKların test edilmesi

Klimatize edilen kompozit örneklerin yoğunluk değerleri kaldırma metodu yöntemi ile ASTM D792 (2008) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Yoğunluk değerleri belirlenirken yardımcı sıvı olarak saf su kullanılmıştır. 20mm X 20mm X 4mm boyutlarında ki test numunelerinin önce havada ki ağırlıkları ve yoğunluğu belli olan saf su içerisinde ki ağırlıklarının belirlenmesi ile denklem 1 deki formülden yola çıkılarak Precisa marka hassas terazi yardımıyla belirlenmiştir.

$$p = A/(A-B) * (p_0 - p_L) + p_L \quad (1)$$

p=Numunenin yoğunluğu, A=Numunenin havadaki ağırlığı, B=Numunenin yardımcı sıvıdaki ağırlığı, p₀=Yardımcı sıvının yoğunluğu, p_L=Havanın yoğunluğu

Klimatize edilen OPKların mekanik özellikleri "Kompozit Malzemelerin Test Edilmesi için kullanılan Amerikan Standartları (ASTM)"na uygun olarak belirlenmiştir. Termoplastik kompozitlerin çekme direnci, kopmada uzama miktarı (ASTM D 638), eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü (ASTM D 790) ve çentikli darbe direnci (ASTM D 256) özellikleri ilgili standarda uygun olarak belirlenmiştir. Eğilme direnci testleri esnasında

standarda uygun olarak dayanaklar arasındaki açıklık 80 mm ve test hızı 2 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Çekme direnci testleri için ise test hızı 5 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Eğilme direnci ve çekme direnci testleri Zwick/Roell Z010 Universal Test Makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3-a), çentikli numuneler üzerinde darbe direnci değerleri ise Zwick™ HIT5,5P darbe direnci test cihazı (Şekil 3-b) yardımıyla belirlenmiştir. Darbe direnci örnekleri üzerine çentikler RayRan™'in Polytest çentik açma kesicisi kullanılarak açılmıştır (Şekil 3-c).

OPKların sertlik özellikleri ENPQIX EHS5D Durometer (Shore D) (Polygon Co., Shenzhen, China) yardımıyla ASTM D2240'a göre belirlenmiştir (Şekil 4).

2.2.3. Veri analizi

Elde edilen verilerin Design-Expert® 7.0.3 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis/USA) versiyonu kullanılarak istatistik analizleri gerçekleştirilmiştir. Dolgu maddelerin ve MAPP'ın

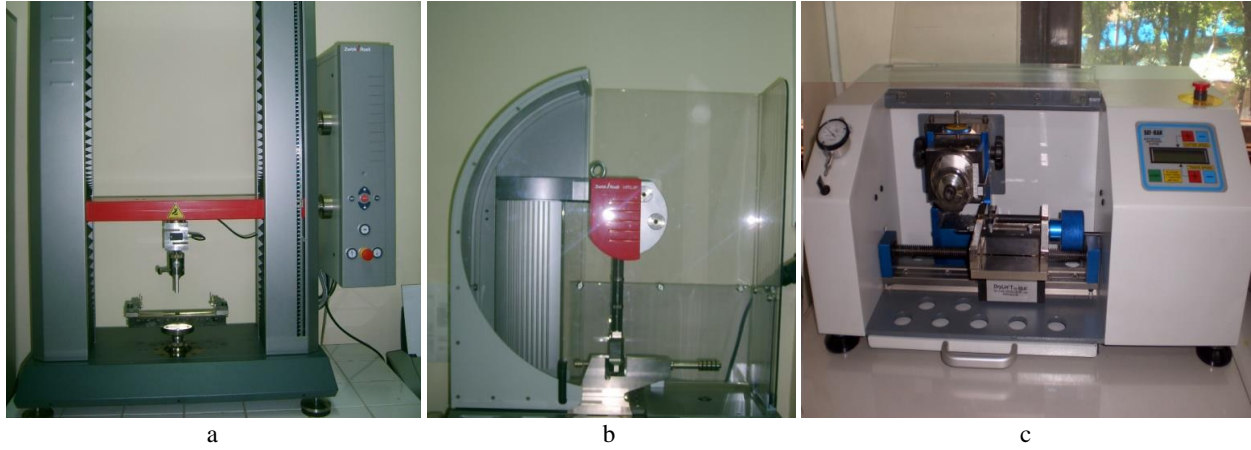
belirlenen teknolojik özellikler üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla çoklu varyans analizi uygulanmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

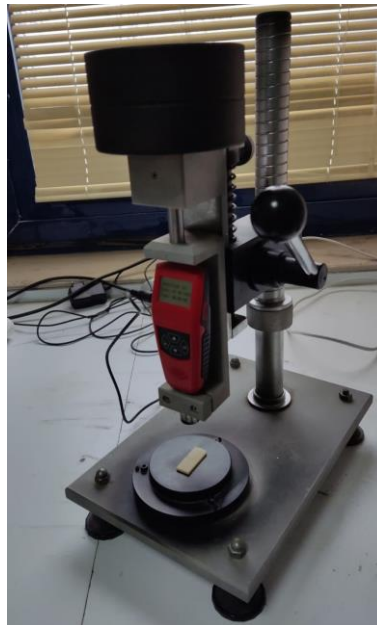
Kayın odun ve kupula unları takviyeli PP bazlı OPK üretimleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve üretilen numunelerin mekanik (çekme direnci, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elstatikiyet modülü, darbe direnci) ve fiziksel (yoğunluk, sertlik) özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te özetlenmiştir.

3.1. Yoğunluk değerleri

Lignoselülozik dolgu maddelerinin ve MAPP uyumlaştırıcı ajanının OPKların yoğunluk değerleri üzerine etkilerinin görüldüğü tüm gruplara ait etkileşim grafikleri Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 3. Universal test makineleri; a)Zwick/Roell Z010 Marka Üniversal test makinesi, b)Zwick™ HIT5,5P darbe direnci test cihazı, c) Polytest notching cutter by RayRan™

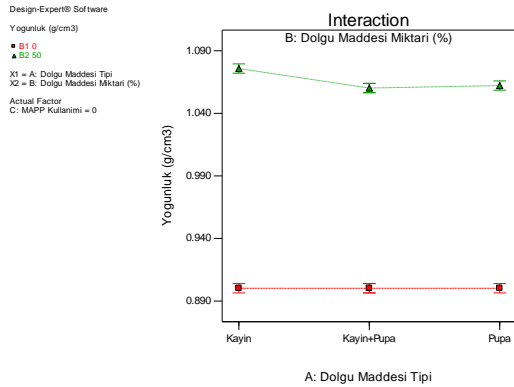


Şekil 4. ENPQIX EHS5D Durometer

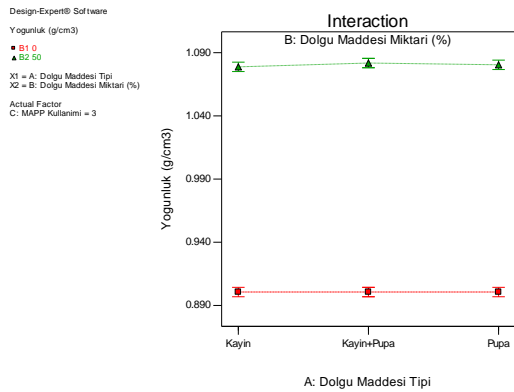
Çizelge 4. PP Bazlı OPKlara ait sonuçların özeti

Örnek kodu	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme direnci (MPa)	Kopmada uzama (%)	Eğilme direnci (MPa)	Eğilmede elastikiyet modülü (MPa)	Darbe direnci (kJ/m ²)	Sertlik (Shore D)
Kontrol	0,900 (0,004)	29,87 (0,85)*	27,96 (0,09)	42,76 (0,90)	1349,05 (48,47)	2,86 (0,47)	67,54 (0,91)
KM	0,901 (0,006)	30,56 (0,73)	27,75 (12,80)	41,78 (1,17)	1317,12 (64,96)	2,56 (0,31)	63,42 (1,94)
K50P0	1,076 (0,008)	24,06 (0,44)	3,34 (0,32)	49,97 (0,85)	3155,58 (75,63)	4,14 (0,10)	73,14 (1,86)
K50P0M	1,079 (0,007)	33,61 (0,06)	3,10 (0,14)	66,74 (0,79)	3896,29 (58,39)	4,14 (0,40)	77,08 (0,61)
K25P25	1,060 (0,006)	20,10 (0,25)	3,01 (0,13)	42,38 (0,62)	2647,42 (41,71)	3,60 (0,18)	75,30 (0,76)
K25P25M	1,082 (0,007)	30,53 (1,25)	3,19 (0,21)	58,78 (1,31)	3184,48 (95,76)	3,66 (0,32)	75,64 (2,05)
K0P50	1,062 (0,005)	17,73 (0,44)	3,05 (0,24)	37,47 (1,20)	2247,99 (79,82)	3,25 (0,35)	74,20 (1,89)
K0P50M	1,080 (0,007)	25,48 (0,92)	3,04 (0,15)	50,99 (0,99)	2683,52 (68,28)	2,71 (0,21)	76,30 (0,65)

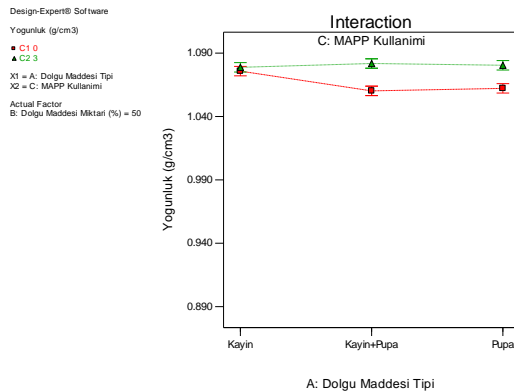
*Parantez içerisinde ki değerler standart sapma değerleridir.



a



b



c

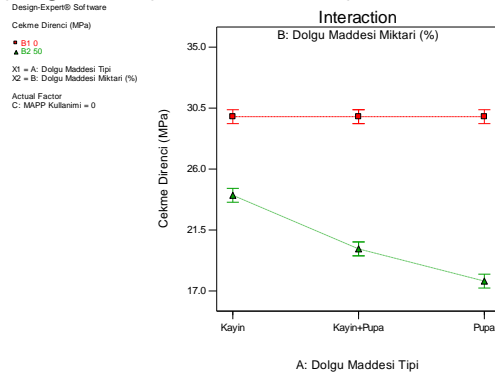
Şekil 5. OPK gruplarına ait yoğunluk etkileşim grafikleri; a) İçerisinde MAPP olmayan gruplara ait, b) İçerisinde %3 MAPP olan gruplara ait, c) İçerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi olan gruplara ait

Lignoselülozik dolgu maddelerinin OPKların yoğunluk değerleri üzerine etkilerinin görüldüğü ve içerisinde MAPP olmayan gruplara ait etkileşim grafiği Şekil 5-a'da verilmiştir. Şekil 5-a'daki yoğunluk etkileşim grafiği incelendiğinde lignoselülozik dolgu maddesinin kullanılmasıyla birlikte üretilen OPKların yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. Yapılan istatistik analizler sonucunda dolgu maddesi miktarının üretilen OPKların yoğunluk değerleri üzerinde istatistik olarak önemli derecede etkisini olduğu belirlenmiştir ($P < 0,0001$). Bunun aksine kullanılan lignoselülozik dolgu maddesi tipinin ise yoğunluk değerleri üzerinde istatistik olarak önemli derecede etkisinin olmadığı görülmüştür ($P = 0,1684$). Lignoselülozik dolgu maddelerinin kullanımı ile üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri keskin bir şekilde artış göstermiştir. Bunun sebebi olarak kullanılan lignoselülozik dolgu malzemelerinin yoğunluğunun yüksek olmasının üretilen PP bazlı kompozitlerin yoğunluğunun artmasında sorumlu olduğu düşünülmektedir. Daha önce ki yapılan literatür çalışmalarında da lignoselülozik dolgu maddesinin kullanımı ile üretilen OPKların yoğunluğunun artırdığı raporlanmıştır (Steckel vd., 2007; Özdemir vd., 2013; Ramezani Kakroodi vd., 2013). Her ne kadar farklı dolgu maddesi kullanımı sırasında yoğunluk değerleri azalma eğilimi gösterse de belirlenen yoğunluk sonuçları birbirlerine yakın değerlerdir. İçerisinde dolgu maddesi içermeyen saf PP (Kontrol) grubu örneklerinin ortalama yoğunluk değerleri $0,900 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra kontrol grubuna nazaran sırasıyla K50P0, K25P25 ve K0P50 gruplarında %19,51, %17,77 ve %18,00 lik artışlar meydana gelmiştir. En yüksek ortalama yoğunluk değerleri sadece kayının dolgu maddesi olarak kullanıldığı K50P0 grubunda $1,076 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra K25P25 ve K0P50 gruplarında sırasıyla $1,060$ ve $1,062 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk değerleri tespit edilmiştir.

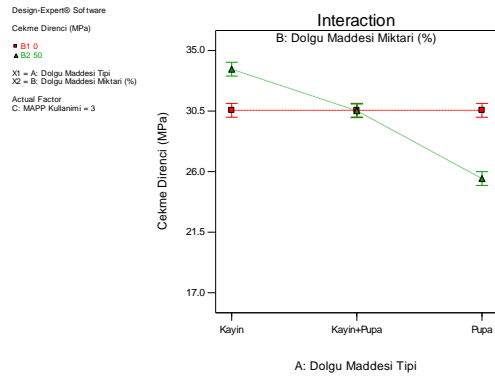
İçerisinde %3 MAPP'ın uyumlaştırıcı ajan olarak kullanıldığı OPK gruplarına ait yoğunluk etkileşim grafikleri ise Şekil 5-b'de sunulmuştur. MAPP içeren OPK gruplarına ait etkileşim grafikleri incelendiğinde MAPP içermeyen OPK gruplarına benzer olarak lignoselülozik dolgu maddesi kullanımı ile yoğunluk değerinin belirgin bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir. MAPP kullanımının üretilen OPK gruplarının yoğunluk değerleri üzerinde istatistik olarak önemli derecede etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0,0001$). Lignoselülozik dolgu maddelerini içeren OPK gruplarında MAPP kullanılmayan grupların aksine kullanılan grupların yoğunluk değerleri hafifçe artış göstermiş ve dolgu maddesi tipi değişmesine rağmen yoğunluk değerleri birbirlerine çok yakın aralıkta olduğu görülmüştür. Tüm OPK grupları ele alındığında en yüksek yoğunluk değeri içerisinde %3 MAPP ve %25 Kayın %25 pupa unu içeren K25P25M grubunda $1,082 \text{ g/cm}^3$ olarak

belirlenmiştir. Kullanılan uyumlaştırıcı ajanın etkisinin daha belirgin şekilde görülmesi için içerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi kullanılan OPK gruplarının MAPP içeren ve içermeyen gruplarına ait yoğunluk etkileşim grafikleri Şekil 5-c'de verilmiştir. Şekil 5-c'deki yoğunluk etkileşim grafiği incelendiğinde içerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi içeren OPK gruplarının MAPP kullanımı ile yoğunluk değerlerinde belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra içerisinde MAPP kullanılmayan grupların yoğunluk değerlerinde sadece kayın ununun dolgu maddesi olarak kullanıldığı OPK gruplarına nazaran yoğunluk değerlerinin hafifçe azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca MAPP kullanım açısından bakıldığında kupula kullanımının yoğunluk değerlerini MAPP kullanılan gruplara nazaran hafifçe azlattığı belirlenmiştir.

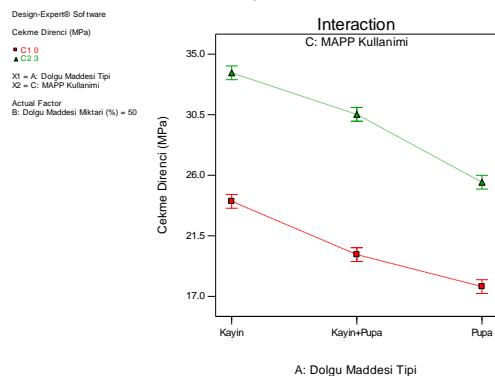
Üretilen OPKların çekme direnci özelliklerine ait etkileşim grafikleri Şekil 6'da sunulmuştur.



a



b

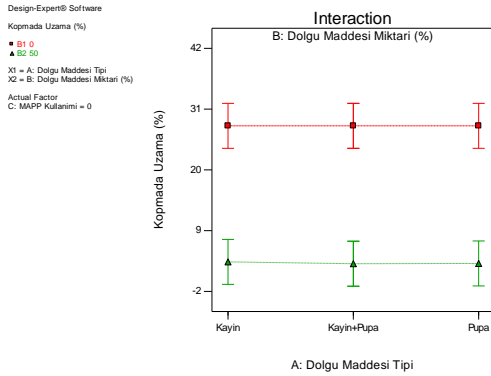


c

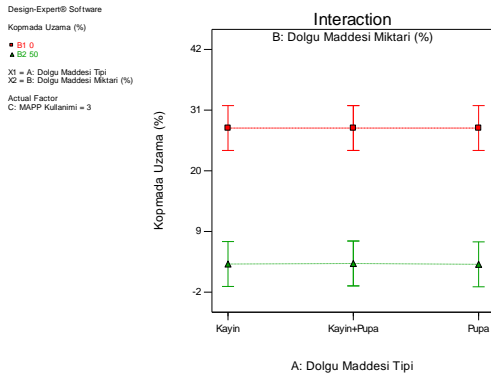
Şekil 6. OPK gruplarına ait çekme direnci etkileşim grafikleri; a) İçerisinde MAPP olmayan gruplara ait, b) İçerisinde %3 MAPP olan gruplara ait, c) İçerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi olan gruplara ait

Şekil 6-a'daki etkileşim grafiği ele alındığında lignoselülozik dolgu maddelerinin kullanımı ile çekme direnci değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle kayın kupulasının kullanımı ile çekme direnci değerlerinde belirgin bir şekilde azalma meydana gelmiştir. Kupula kullanım miktarının artmasıyla en düşük çekme direnci değerleri elde edilmiştir. Yapılan istatistik analiz sonucunda lignoselülozik dolgu maddesi kullanımının ve dolgu maddesi tipinin üretilen OPKların çekme direnci değerleri üzerine önemli derecede etkisinin olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,0001$). Çekme direncinin lignoselülozik dolgu maddelerinin eklenmesi ile önemli ölçüde azalmasının en önemli nedeninin hidrofobik polimer matris ile hidrofilik lignoselülozik dolgu maddeleri arasındaki uyumsuzluk olduğu düşünülmektedir (Balatinecz ve Woodhams, 1993; Matuana ve Mengeloğlu, 2002). Hidrofobik polimer matris ile hidrofilik lignoselülozik dolgu maddesi arasındaki etkileşim eksikliği, OPKların en büyük sorunlarından biridir ve zayıf yapışmaya ve düşük özelliklere sebep olmaktadır. Bununla birlikte, bu sorunu ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için arayüzey etkileşimini etkileyen ve matris-lif yapışmasını iyileştiren maleik anhidrit aşılansız polimerin (MAPP veya MAPE) kullanılması yaygın bir yaklaşımdır (Mengeloğlu ve Çavuş, 2019). MAPP ve MAPE'nin çalışma mekanizması ele alındığında MAPP/MAPE'nin maleatlı uçları, ahşap yüzeyindeki hidroksil grupları ile bir ester bağı oluşturur ve birleştirme maddesi ile ahşap dolgu maddesini birbirine bağlamaktadır. Yapıştırıldıktan sonra, erimiş termoplastik ile kaplanan lignoselülozik dolgu maddesi ve hidrofilik odun unu/lifi ile hidrofobik termoplastik arasında mekanik bir bağ oluşmaktadır (Kattas vd., 2000; Rowell 2006; Yang vd., 2007a). Araştırmacılar, dolgu maddesinin hidroksil grupları ile bağlayıcı ajanın hidrit karbonil grupları arasında oluşan ester bağlarının adezyon üzerinde önemli ölçüde iyileşme sağladığını belirtmiştir (Gassan ve Bledzki, 2000; Botros, 2003; Adusumalli vd., 2010; Mengeloğlu ve Çavuş, 2019). Hidrofobik polimer matris ile hidrofilik lignoselülozik dolgu maddelerinin ara yüzlerinde oluşan uyum probleminin azaltılması amacıyla çalışma kapsamında %3 oranında MAPP kullanılmıştır. Şekil 6-b'deki etkileşim grafiği incelendiğinde ise özellikle sadece kayın unlarının kullanıldığı K50P0M grubunda içerisinde sadece %3 MAPP olan saf polimer grubuna (KM) nazaran daha yüksek bir çekme direnci değeri elde edildiği görülmektedir. Bunun yanı sıra içerisinde %3 MAPP içeren KM grubunun çekme direnci değerlerinde içerisinde MAPP olmayan Kontrol grubuna göre çok hafif miktarda artış tespit edilmiştir. Şekil 6-b'deki etkileşim grafiği incelendiğinde içerisinde lignoselülozik dolgu maddesi olan tüm gruplarda MAPP kullanımı çekme direnci değerlerini önemli derecede arttırmıştır. Yapılan istatistik analiz sonucunda ise MAPP kullanımının çekme direnci değerleri üzerinde önemli derecede etkisinin olduğu belirlenmiştir ($P < 0,0001$). Kullanılan uyumlaştırıcı ajanın etkisinin daha belirgin şekilde görülmesi için içerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi kullanılan OPK gruplarının MAPP içeren ve içermeyen gruplarına ait çekme direnci etkileşim grafikleri Şekil 6-c'de verilmiştir. Bahsi geçen etkileşim grafiği incelendiğinde MAPP kullanımının belirgin bir şekilde lignoselülozik dolgu maddesi takviyeli kompozitlerin çekme direnci değerlerini etkilediği ve kullanılmayan gruplara nazaran çekme direnci değerlerini arttırdığı belirlenmiştir.

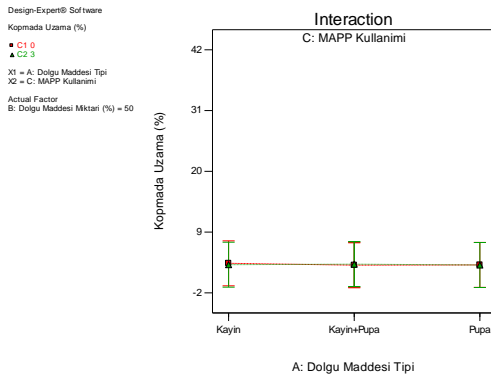
Üretilen OPKların kopmada uzama özelliklerine ait etkileşim grafikleri Şekil 7'de verilmiştir.



a



b

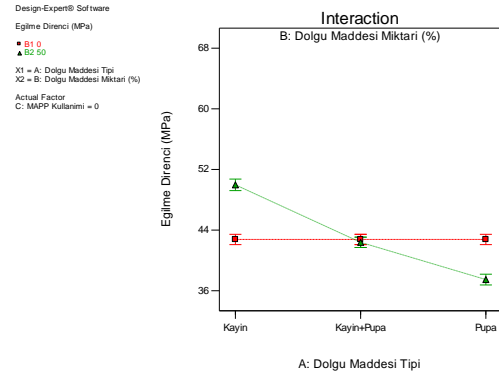


c

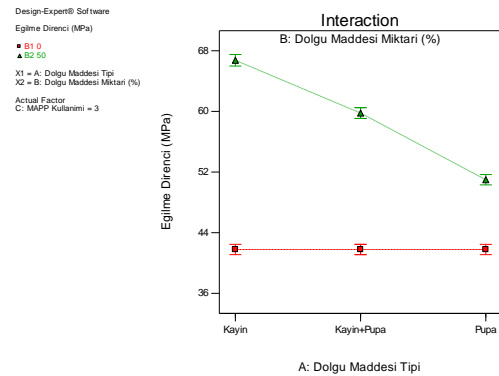
Şekil 7. OPK gruplarına ait kopmada uzama etkileşim grafikleri; a) İçerisinde MAPP olmayan gruplara ait, b) İçerisinde %3 MAPP olan gruplara ait, c) İçerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi olan gruplara ait

Şekil 7'deki kopmada uzama etkileşim grafikleri ele alındığında lignoselülozik dolgu maddesinin kullanımı ile kopmada uzama değerleri belirgin bir şekilde azalmıştır. Dolgu maddesinin kullanımının üretilen OPKların kopmada uzama özellikleri üzerinde önemli derecede etkisinin olduğu görülmüştür ($P < 0,0001$). Bunun yanı sıra kullanılan dolgu maddesi tipinin ($P = 0,9991$) ve MAPP kullanımının ($P = 0,9411$) kopmada uzama özellikleri üzerinde önemli derecede etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Lignoselülozik dolgu maddesinin kullanımı ile polipropilan matrisin yumuşaklığı ve sünekliliği büyük ölçüde azalmıştır. Genellikle lignoselülozik dolgu maddesi içeren kompozitlerde artan elastikiyet modülü ile daha düşük kopmada uzama değerleri gözlenmiştir (Sain ve Panthapulakkal, 2006).

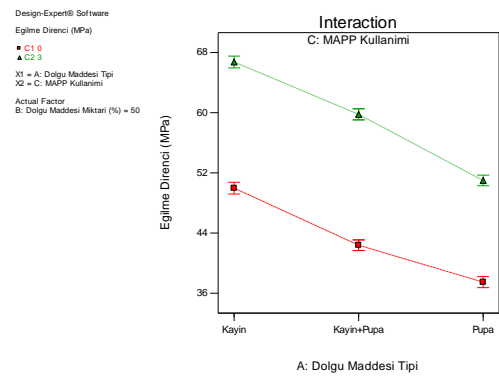
Üretilen OPKların eğilme direnci özelliklerine ait etkileşim grafikleri Şekil 8'de verilmiştir.



a



b



c

Şekil 8. OPK gruplarına ait eğilme direnci etkileşim grafikleri; a) İçerisinde MAPP olmayan gruplara ait, b) İçerisinde %3 MAPP olan gruplara ait, c) İçerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi olan gruplara ait

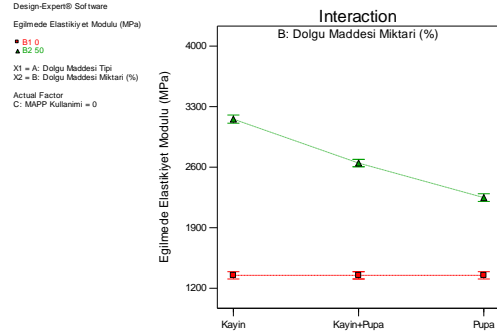
Şekil 8-a'daki MAPP kullanılmayan grupların eğilme direnci etkileşim grafiği incelendiğinde kayın odun unlarının kullanımı ile eğilme direnci değerlerinin artması söz konusu iken kayın kupula unlarının kullanımı ve kullanım miktarının artması ile eğilme direnci değerlerinin azaldığı görülmektedir. Yapılan istatistik analizler sonucunda lignoselülozik dolgu maddesinin kullanımının ve kullanım tipinin eğilme direnci özellikleri üzerinde önemli derecede etkisinin olduğu görülmüştür ($P < 0,0001$). MAPP kullanımıyla içerisinde lignoselülozik dolgu maddesi içeren OPK gruplarının eğilme direnci değerleri MAPP kullanılmayan gruplara ve kontrol gruplarına göre belirgin bir şekilde artmıştır. MAPP kullanımının üretilen OPKların eğilme direnci değerleri üzerinde önemli derecede etkisinin olduğu belirlenmiştir ($P < 0,0001$). Kullanılan uyumlaştırıcı

ajanın etkisinin daha belirgin şekilde görülmesi için içerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi kullanılan OPK gruplarının MAPP içeren ve içermeyen gruplarına ait eğilme direnci etkileşim grafikleri Şekil 8-c’de verilmiştir. İlgili etkileşim grafiği incelendiğinde MAPP kullanımının lignoselülozik dolgu maddesi içeren OPK gruplarında ki eğilme direnci değerlerinin artışıdaki belirginlik keskin bir şekilde görülmektedir. En yüksek eğilme direnci değeri 66,74 MPa olarak K50P0M grubunda belirlenirken en düşük eğilme direnci değeri ise 37,47 MPa olarak K0P50 grubunda gözlemlenmiştir. Daha önceki çalışmalarda, farklı doğal liflerin polimer kompozitlerin seçilen özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve lignoselülozik dolgu içeriğinin artmasıyla polimer kompozitlerin eğilme direnci değerlerinin arttığı bildirilmiştir (Yang vd., 2007b; Karmarkar vd., 2007; Yuan vd., 2008). Bulunan sonuçlar literatür ile benzerlik göstermektedir. Poliolefin bazlı plastik kereste döşeme tahtaları için ASTM D6662 standardında minimum eğilme direnci değeri 6,9 MPa (1.000 psi) olarak belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında üretilen tüm kompozitler standardın gereğinin çok üzerinde eğilme direnci değerleri (37,47-66,74 MPa) sağlamıştır.

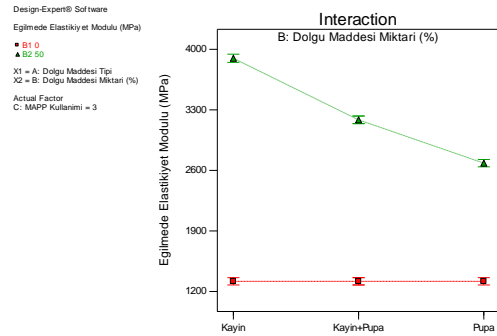
Üretilen OPKların eğilme elastikiyet modülü özelliklerine ait etkileşim grafikleri Şekil 9’da sunulmuştur.

Şekil 9-a ve Şekil 9-b’deki eğilme elastikiyet modülü etkileşim grafikleri incelendiğinde lignoselülozik dolgu maddesinin ve MAPP’ın kullanımıyla içerisinde dolgu maddesi olmayan kontrol gruplarına nazaran EEM değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun aksine kayın kupula unlarının kullanımı ve kullanım miktarının artması ile de EEM değerlerinde belirgin bir azalma tespit edilmiştir. İçerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi olan grupların EEM değerlerine ait etkileşim grafikleri (Şekil 9-c) incelendiğinde lignoselülozik dolgu maddeleri ile birlikte MAPP kullanımının üretilen lignoselülozik dolgu maddesi takviyeli OPKların EEM değerleri üzerinde ki etkileri daha belirgin olarak gözlemlenmektedir. Her bir lignoselülozik dolgu madde kullanım tipi kendi içerisinde değerlendirildiğinde MAPP kullanımı ile birlikte kullanılmayan gruba göre daha iyi bir EEM değeri elde edildiği görülmüştür. Poliolefin bazlı plastik kereste döşeme tahtaları için ASTM D6662 standardında minimum EEM değeri 340 MPa (50,000 psi) olarak belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında üretilen tüm kompozit gruplarında standardın gereğinin çok üzerinde EEM değerleri (1317,12 MPa (KM)-3896,29 MPa (K50P0M)) elde edilmiştir.

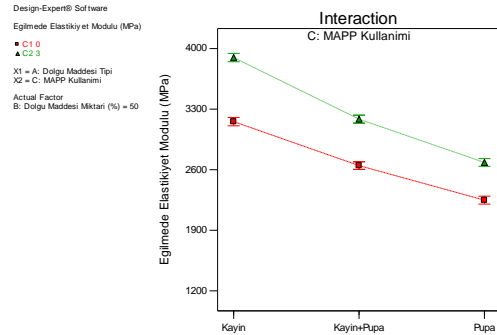
Üretilen OPKların darbe direnci özelliklerine ait etkileşim grafikleri Şekil 10’da sunulmuştur.



a

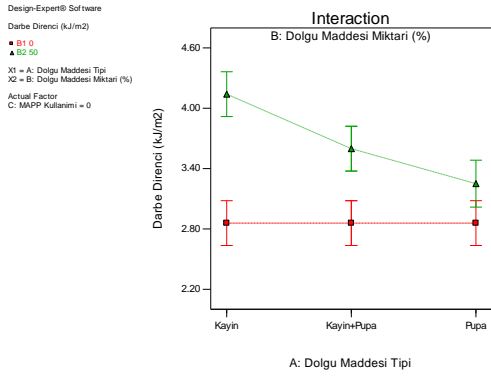


b

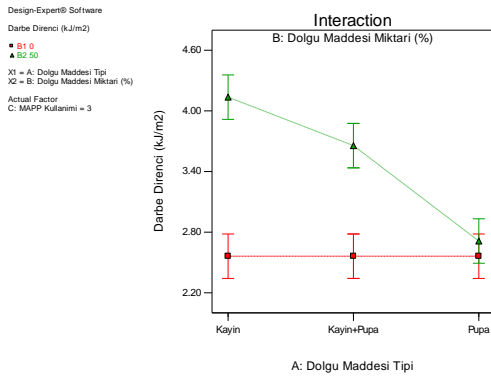


c

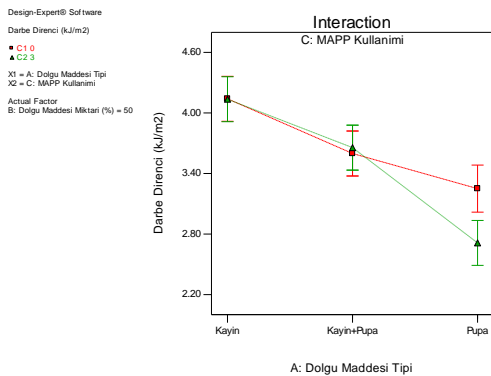
Şekil 9. OPK gruplarına ait eğilme elastikiyet modülü etkileşim grafikleri; a) İçerisinde MAPP olmayan gruplara ait, b) İçerisinde %3 MAPP olan gruplara ait, c) İçerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi olan gruplara ait



a



b



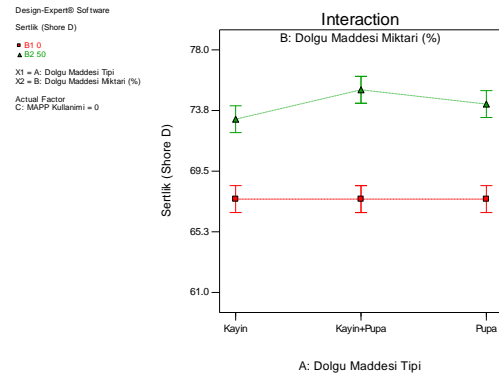
c

Şekil 10. OPK gruplarına ait darbe direnci etkileşim grafikleri; a) İçerisinde MAPP olmayan gruplara ait, b) İçerisinde %3 MAPP olan gruplara ait, c) İçerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi olan gruplara ait

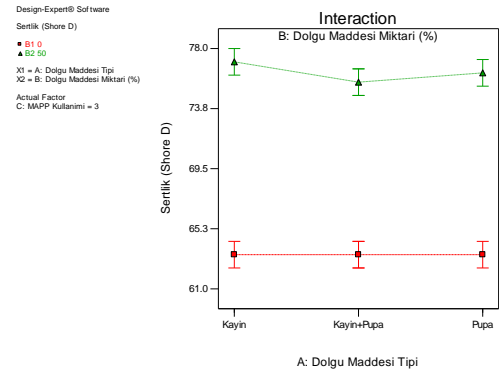
Darbe direnci özellikleri incelendiğinde lignoselülozik dolgu maddesinin kullanımı ve kullanım tipinin ($P < 0,0001$) ve ayrıca MAPP kullanımının ($P = 0,0171$) üretilen OPKların darbe direnci özellikleri üzerinde istatistik olarak önemli derecede etkisinin olduğu belirlenmiştir. Lignoselülozik dolgu maddesinin kullanımı ile saf polimer gruplarına göre daha yüksek darbe direnci değerleri elde edilmiştir. Literatürde lignoselülozik dolgu maddelerinin polipropilen bazlı kompozit üretiminde kullanıldığı çalışmalarda benzer sonuçlar raporlanmıştır (Stark ve Berger, 1997; Çavuş ve Mangeloğlu, 2017). Bunun yanı sıra her ne kadar kontrol gruplarından daha yüksek darbe direnci değerleri elde edilse dahi kupula unlarının kullanımıyla ve kullanım oranının artması ile darbe direnci özellikleri olumsuz etkilenmiştir. Lignoselülozik dolgu maddesi kullanılan OPK gruplarında en düşük darbe direnci değerleri sadece kupula unlarının dolgu

maddesi olarak kullanıldığı OPK gruplarında elde edilmiştir. MAPP kullanımı sırasında ise sadece kayın odun unlarının veya kayınodun unlarının kupula unları ile birlikte kullanıldığı gruplarda darbe direnci değerlerinde belirgin bir farklılık gözlemlenmesede, sadece kupula unlarının dolgu maddesi olarak kullanıldığı OPK gruplarında MAPP kullanımı ile Şekil 10-c'deki darbe direnci etkileşim grafiğinden de görüleceği üzere darbe direnci değerlerinde hafif bir azalma eğilimi oluşmuştur.

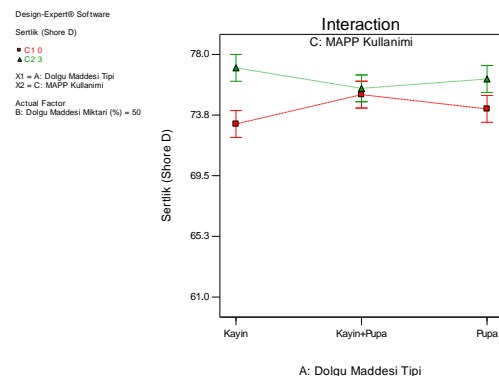
Üretilen OPKların sertlik değerlerine ait etkileşim grafikleri Şekil 11'de sunulmuştur.



a



b



c

Şekil 11. OPK gruplarına ait sertlik özellikleri etkileşim grafikleri; a) İçerisinde MAPP olmayan gruplara ait, b) İçerisinde %3 MAPP olan gruplara ait, c) İçerisinde %50 lignoselülozik dolgu maddesi olan gruplara ait

Üretilen OPKların sertlik özellikleri incelendiğinde polimer matris içerisine lignoselülozik dolgu maddesinin eklenmesi ile kompozit malzemelerin sertlik değerleri belirgin bir şekilde artmaktadır. Kupula kullanımı ile içerisinde MAPP olmayan kompozit grupların sertlik değerleri kayın kullanılan gruplara nazaran hafifçe daha yüksek olarak belirlenmiştir. Şekil 11-a'daki etkileşim grafiği incelendiğinde lignoselülozik dolgu maddesi kullanılan grupların sertlik değerlerinin bir birine yakın aralıklarda oldukları gözükülmektedir. Yapılan istatistik analiz sonucunda lignoselülozik dolgu maddesi tipinin üretilen kompozitlerin sertlik değerleri üzerinde önemli derecede etkisinin olmadığı tespit edilmiştir ($P=0,9466$). Bunun yanı sıra dolgu maddesi ($P<0,0001$) ve MAPP ($P=0,0136$) kullanımının ise üretilen OPKların sertlik özellikleri üzerinde önemli derecede etkili olduğu görülmüştür. Literatürde lignoselülozik dolgu maddesinin kullanımı ile termoplastik bazlı kompozit üretiminde sertlik değerlerinin arttığı benzer çalışmalar mevcuttur (Çavuş ve Mengeloğlu, 2017; Başboğa vd., 2020).

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında sürgünden gençleşme yaygın olan ve yakacak odun sınıfında olan doğu kayınlarının odun unlarının ve kupulalarının odun plastik kompozit üretiminde değerlendirilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra uyumlaştırıcı ajan olarak MAPP kullanımının üretilen OPKların özellikleri üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında kayın odununu ve kupula unları takviyeli PP bazlı OPK üretimleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Üretilen OPKların mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde;

1. Üretilen OPKların yoğunluk değerleri lignoselülozik dolgu maddelerinin kullanımı ile keskin bir şekilde artmıştır. Lignoselülozik dolgu maddelerinin kullanıldığı kompozit gruplarında birbirine yakın yoğunluk değeri belirlenmiştir ve kullanılan dolgu maddesi tipinin OPKların yoğunluk değerleri üzerinde önemli derecede etkisinin olmadığı görülmüştür.
2. Çekme direnci değerleri lignoselülozik dolgu maddelerinin kullanımı ile keskin bir şekilde azalırken, MAPP kullanımı ile çekme direnci değerleri artmıştır. Kupula unlarının kullanımı ile üretilen kompozit gruplarında kayın odununu kullanılan kompozit gruplarına göre daha düşük çekme direnci değerleri elde edilmiştir. Kupula kullanım miktarı arttıkça çekme direnci değerlerinde ki azalma eğilimi de artmıştır.
3. Eğilme özellikleri ele alındığında kayın odun unları kullanımı ile en iyi eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri elde edilmiştir. MAPP kullanımı eğilme özelliklerini iyileştirirken, kupula unlarının kullanımı ise kayın unlarının kullanımına göre eğilme özelliklerini negatif etkilemiştir. En iyi sonuçları kayın odun unlarının ve MAPP'ın birlikte kullanıldığı K50P0M gruplarında elde edilmiştir.
4. Genel olarak MAPP kullanımı üretilen OPKların mekanik özelliklerini iyileştirmiştir.
5. Lignoselülozik dolgu maddelerinin kendi içerisinde karşılaştırmak gerekirse kayın odun unlarının kullanımı ile en yüksek mekanik özelliklerin elde edildiğini, kupula unlarının kompozit malzemelerin içerisine eklenmesi ile mekanik direnç özelliklerinin negatif etkilendiği ve

kupula kullanım oranının artması ile mekanik özelliklerinde negatif yönde etkilenmesinin arttığı görülmüştür.

Sonuç olarak yakacak sınıfında ki kayın odunlarının ve kayın kupulalarının odun plastik kompozit üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılabilmesini söylemek mümkündür. Fakat özellikle kayın odun unlarının MAPP ile kullanımı sırasında saf gruplara ve kupula kullanılan gruplara nazaran daha iyi mekanik direnç değerleri elde edilirken, kupula kullanımı bazı mekanik özelliklerde negatif yönde bir etkileşim oluşturmuştur. Bu problem MAPP kullanımını ile bir nebze giderilmektedir. Bunun yanı sıra kayın kupula unlarının daha düşük oranlarda ve kayın odun unları ile birlikte kullanılması direnç değerlerin standartta istenilen değerlerin üzerinde sonuçlar göstereceği ve dolayısıyla bu atıkların ormanda bırakılmak yerine katma değeri yüksek OPK üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılması uygun olabileceği kanaati oluşmuştur. Yapılacak sonra ki çalışmalarda daha düşük oranlarda kupula unlarının daha yüksek kayın odun unları ile birlikte çalışılması literatüre ışık tutacaktır.

Açıklama

Yazarlar Sayın Prof. Dr. Fatih Mengeloğlu'na ve laboratuvar ekibine bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı teşekkür etmektedirler.

Kaynaklar

- Acar, H., 2014. MDF tozu ve pirinç sapı atıklarının termoplastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Adusumalli, R.B., Weber, H.K., Roeder, T., Sixta, H. and Gindl, W., 2010. Evaluation of experimental parameters in the microbond test with regard to lyocell fibers. *J Reinf Plast Compos*, 29:2356–2367. <https://doi.org/10.1177/0731684409349929>
- ASTM D1238-10. 2013. Standard test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D1505-18. 2018. Standard test method for density of plastics by the density-gradient technique. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D2240. 2017. Standard test method for rubber property-durometer hardness. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D256. 2010. Standard test for determining the izod pendulum impact resistance of plastics. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D3417-99. 2004. Standard test method for enthalpies of fusion and crystallization of polymers by differential scanning calorimetry (DSC). West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D638. 2010. Standard test for tensile properties of plastics. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D648-18. 2018. Standard test method for deflection temperature of plastics under flexural load in the edgewise position. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D6662. 2001. Standard Specification for Polyolefin-Based Plastic Lumber Decking Boards. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D785-08. 2015. Standard test method for rockwell hardness of plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D790. 2010. Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D792. 2008. Standard test methods for density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement. West Conshohocken, PA, USA.
- Avcı, E., 2012. Ahşap plastik kompozitlerin kullanım performansları üzerine araştırmalar. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Balatinecz, J.J., Woodhams, R.T., 1993. Wood-plastic composites, doing more with less. *Journal of Forestry*, 91(11): 22-26.
- 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>
- Boran Torun, S., Peşman, E., Dönmez Çavdar, A., 2019. Effect of alkali treatment on composites made from recycled polyethylene and chestnut cupula. *Polymer Composites*, 40(11): 4442-4451.
- Botros, M., 2003. The Effect of advanced maleic anhydride coupling agents on the performance of wood-plastic composites. *Proceedings of Wood-Plastic Composites Conference*, Vienna, Austria.
- Carus, M., Eder, A., Dammer, L., Korte, H., Scholz, L., Essel, R., Breitmayer, E. Barth, M., 2015. Biocomposites: 352,000 t of wood and natural fibre composites produced in the european union in 2012 – executive summary. *Wood-Plastic Composites (WPC) and Natural Fibre Composites (NFC): European and Global Markets 2012 and Future Trends in Automotive and Construction*, Nova Institute, Hürth, Germany.
- Çavuş, V., Mengeloğlu, F., 2017. The effect of lignocellulosic filler types and concentrations on the mechanical properties of wood plastic composites produced with polypropylene having various melt flowing index (MFI). *Pamukkale Univ. Muh. Bilim Derg*, 23(8): 994-999.
- Dönmez Çavdar, A., 2011. Farklı lignoselülozik ve termoplastik maddelerle üretilen odun-plastik kompozitlerin özelliklerinin incelenmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gassan, J., Bledzki, A.K., 2000. Possibilities to improve the properties of natural fiber reinforced plastics by fiber modification - jute polypropylene composites. *Appl Compos Mater*, (7): 373-385. <https://doi.org/10.1023/A:1026542208108>
- Johnson, B., 2020. Wood plastic composite (WPC) market production values and generate revenue of USD 9953.8 million with a CAGR of 9.5% worldwide By 2030. *Apnews*, <https://apnews.com/press-release/wired-release/technology-business-virus-outbreak-corporate-news-diseases-and-conditions-600ee4b4fd2f0b7b0ce7de3214906333>, Accessed: 07.02.2022
- Karakuş, K., 2008. Üniversitemizdeki polietilen ve polipropilen atıkların polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- 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. *Compos Part A Appl Sci Manuf*, (38): 227-233. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2006.05.005>
- Kattas, L., Gastrock, F., Levin, I., Cacciatore, A., 2000. *Plastic Additives in Modern plastics handbook*. The McGraw-Hill Companies, USA.
- Kayhan Saygılı, E., 2011. Hopa Cankurtaran mevkii kayın meşcerelerinde farklı aralama derecelerinin büyüme ve biyokütle üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Matuana, L.M., Jin, S., Stark, N.M., 2011. Ultraviolet weathering of HDPE/wood-flour composites coextruded with a clear HDPE cap layer. *Polymer Degradation and Stability*, 96(1): 97-106.
- Matuana, L.M., Mengeloğlu, F., 2002. Manufacture of rigid pvc/wood-flour composite foams using moisture in wood as foaming agent. *Journal of Vinyla and Additive Technology*, 8(4): 264-270.
- Mengeloğlu, F., Çavuş, V., 2019. Additives used in wood plastic composite manufacturing. In: *Research & Reviews in Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences* (ed: Bozdoğan, A.M., Yarpuz-Bozdoğan, N.), First edit. Gece Kitaplığı, Ankara, pp. 51-64.
- Mengeloğlu, F., Gezer, E.D., Karakuş, K., Atar, İ., Başboğa, İ. H., Bozkurt, F., 2019. Gel permeative chromatography (GPC) analysis of Polycaprolactone (PCL) based biodegradable composites through laboratory soil test. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(4): 674-678.
- Mengeloğlu, F., Kabakci, A., 2008. Determination of thermal properties and morphology of eucalyptus wood residue filled high density polyethylene composites. *Int. J. Mol. Sci.*, (9): 107-119.
- Mengeloğlu, F., Karakuş, K., 2008. Some properties of eucalyptus wood flour filled recycled high density polyethylene polymer-composites. *Turkish J Agric For*, (32): 537-546. <https://doi.org/10.3906/tar-0801-7>
- Mrowka, M., Szymiczek, M., Skonieczna, M., 2021. The impact of wood waste on the properties of silicone-based composites. *Polymers*, 13(7): 1-17.
- Ormançılık Araştırma Enstitüsü, 1985. *Kayın. Ormançılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Muhtelif yayımlar serisi: 42, El kitabı dizisi: 1.*
- Özdemir, F., Serin, Z.O., Mengeloğlu, F., 2013. Utilization of red pepper fruit stem as reinforcing filler in plastic composites. *BioResources*, (8): 5299-5308. <https://doi.org/10.15376/biore.s.8.4.5299-5308>
- Ramezani Kakroodi, A., Kazemi, Y., Rodrigue, D., 2013. Mechanical, rheological, morphological and water absorption properties of maleated polyethylene/hemp composites: Effect of ground tire rubber addition. *Composites B*, (51): 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.03.032>
- Rowell, R.M., 2006. Advances and challenges of wood polymer composites. In: Yusoff MNM, Poh KM, Jantan MD, et al., (eds) *Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium*. 20-23 November, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 2-11.
- Sain, M., Panthapulakkal, S., 2006. Bioprocess preparation of wheat straw fibers and their characterization. *Ind Crops Prod*, (23): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.01.006>
- Stark, N.M., Berger, M.J., 1997. Effect of species and particle size on properties of wood-flour-filled polypropylene composites. *Proceedings of Functional Fillers for Thermoplastic and Thermosets*, December 8-10, Le Meridien at Coronado, San Diego, California, pp. 1-22.
- Steckel, V., Clemons, C.M., Thoemen, H., 2007. Effects of material parameters on the diffusion and sorption properties of wood flour/polypropylene composites. *J Appl Polym Sci*, (113): 752-763. <https://doi.org/10.1002/app.25037>
- Taşdemir, Ç., Başboğa, İ.H., Hiziroğlu, S., 2020. Surface quality of wood plastic composites as function of water exposure. *Applied Sciences-Basel*, (10): pp. 1-8. <https://doi.org/10.3390/app10155122>
- TS EN ISO 178. 2011. *Plastikler-Eğilme özelliklerinin tayini*. TSE, Ankara, Türkiye
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D.H., Zheng, C., 2007b. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, (86): 1781-1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>
- Yang, H.S., Wolcott, M.P., Kim, H.S., Kim, S., Kim, H.J., 2007a. Effect of different compatibilizing agents on the mechanical properties of lignocellulosic material filled polyethylene bio-composites. *Compos Struct*, (79): 369-375. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2006.02.016>
- Yuan, Q., Wu, D., Gotama, J., Bateman, S., 2008. Wood fiber reinforced polyethylene and polypropylene composites with high modulus and impact strength. *J Thermoplast Compos Mater*, (21): 195-208. <https://doi.org/10.1177/0892705708089472>