



EPOKSİ BAZLI KOMPOZİT MALZEMELERDE FARKLI DOLGU MADDESİ KULLANIMININ MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

Mustafa Kadir YALMAN¹, İlkey ATAR^{1,*}, Fatih MENGELOĞLU¹

¹Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, Kahramanmaraş

*Corresponding author: iatar@ksu.edu.tr

Mustafa Kadir YALMAN: <https://orcid.org/0009-0001-0901-4690>

İlkey ATAR: <https://orcid.org/0000-0001-9527-1791>

Fatih MENGELOĞLU: <https://orcid.org/0000-0002-2614-3662>

Please cite this article as: Yalman, M. K., Atar, İ., & Mengeloğlu, F. (2024) Epoksi Bazlı Kompozit Malzemelerde Farklı Dolgu Maddesi Kullanımının Mekanik ve Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi. *Turkish Journal of Forest Science*, 8(1), 63-76.

ESER BİLİSİ /ARTICLE INFO

Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş 17 Mart 2024 / Received 17 March 2024

Düzeltilmelerin gelişi 25 Nisan 2024 / Received in revised form 25 April 2024

Kabul 26 Nisan 2024 / Accepted 26 April 2024

Yayımlanma 30 Nisan 2024 / Published online 30 April 2024

ÖZET: Bu çalışmada; farklı dolgu maddelerinin ve oranlarının epoksi kompozitlerinin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Döküm yöntemi ile üretilen epoksi kompozitlerine dolgu maddesi olarak kahve çekirdeği unu, bambu odun unu ve kızılçam unu, matris olarak da epoksi L/300-H/300 laminasyon reçinesi kullanılmıştır. Kompozit üretiminde %0, %10, %20 oranlarında dolgu maddeleri kullanılarak toplamda 7 farklı örnek grubu elde edilmiştir. Üretilen malzemelerin; çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, darbe direnci, su alma miktarı ve yoğunluk değerleri ölçülmüştür. En yüksek su alma miktarı kahve çekirdeği içeren gruplarda görülmüştür. Bambu odun unu kullanımı ile en yüksek çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü görülmüştür. Saf epoksi içeren örnek grubu en yüksek darbe direnci ve kopmada uzama değerlerini göstermiştir Bu örnek grubu en düşük su alma oranına sahiptir. Genel olarak en düşük mekanik özellikler kahve çekirdeği içeren örneklerde görülmüştür. %20 kızılçam odun unu kullanımı ile kompozit örneklerindeki hava kabarcığı miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Malzemede oluşan hava kabarcıklarının eğilmede elastikiyet modülü haricinde fiziksel ve mekanik özellikler üzerine olumsuz yönde etki ettiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kızılçam odun unu, Bambu odun unu, Epoksi reçine, Kahve Çekirdeği, Doğal lifler.

Bu çalışmanın bir kısmı daha önce II. Uluslararası Mersin Sempozyumunda sözlü olarak sunulmuş ve bildiri kitabında tam metin olarak yayımlanmıştır, Türkiye/Mersin 2019.

EFFECT OF THE USE OF DIFFERENT FILLERS IN EPOXY BASED COMPOSITE MATERIALS ON MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES

ABSTRACT: In this research, the effect of various fillers on mechanical and physical properties of epoxy composites were investigated. For the synthesis of the composites; coffee bean flour, bamboo wood flour and red pine flour are used as filler while L/300-H/300 lamination resin is used as matrix. The composites are synthesized using 0%, 10% and 20% percentages of filler and acquired seven different groups of composites. Tensile strength, tensile modulus of elasticity, elongation at break, flexural strength, flexural modulus of elasticity, impact resistance, water absorption and density values of the produced materials were tested. The highest water absorption was observed in the groups containing coffee beans. The highest tensile strength, tensile modulus of elasticity, flexural strength and flexural modulus of elasticity were observed by using bamboo wood flour. The sample group containing pure epoxy showed the highest impact resistance and elongation at break values. In general, the lowest mechanical properties were observed in the samples containing coffee beans. It was observed that the amount of air bubbles in the composite samples increased with 20% red pine wood flour. It was found that the air bubbles formed in the material had a negative effect on the physical and mechanical properties except the modulus of elasticity in bending.

Keywords: Red pine wood flour, Bamboo wood flour, Coffee flour, Epoxy, Natural fiber.

GİRİŞ

Epoksi reçineler, termoset plastik malzemelerdir. Kütleme ajanları katılarak, kütleme yoluyla sıvı halden katı hale geçerek gereken sertliğe ulaşabilir (Saba ve ark., 2015). Yalıtım, kaplama, laminasyon, denizcilik, tekne vs. yapımı, uzay ve havacılık, inşaat sektörü ve kompozit üretimi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Jin ve ark., 2015). Epoksi kompozitlerde matris olarak epoksi reçine kullanılıp, dolgu malzemesi olarak da odun unu doğal veya sentetik lif ve tekstil kumaşlar kullanılabilir. Bu kompozitler; döküm, elle yatırma, laminasyon ve infüzyon yöntemi ile üretilebilirler (Saba ve ark., 2015; Jin ve ark., 2015). Epoksi reçineler diğer geleneksel termoset ve termoplastiklere göre daha üstün yapışma, mekanik özellikler ve boyutsal stabilite göstermektedir (Mishra ve Biswas, 2013; Jawaid ve Abdul Khalil, 2011).

Dolgu malzemeleri sentetik ve doğal yollardan elde edilip lif ve toz şeklinde kullanılabilir veya nano boyutta kompozitlere katılabilir. Bitkilerden elde edilen doğal dolgu malzemeleri; bitkinin sap (gövde), kabuk, yaprak, çekirdek ve meyve kısımlarından elde edilir (Pandey ve ark., 2010; Saxena ve ark., 2011). Doğal lifler kompozit üretiminde uzun süredir kullanılmaktadır. Gemi, havacılık ve otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılır ve çevresel sorunlarla ilgili farkındalığın artmasıyla yenilenebilir kaynaklara karşı talep artmıştır (Riedel ve Nickel, 2002). Son yıllarda yapılan çalışmalarda, kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak kullanılan doğal lif, sentetik liflere alternatif olarak kullanılabilirliği görülmüştür (Bledzki ve Gassan, 1999; Faruk ve ark., 2012). Doğal lifler, sentetik liflere göre daha hafiftir, ağırlıklarına oranla üstün mekanik özellik sergilerler (Williams ve ark., 2000). Aynı zamanda, doğal lifler, elde edildiği bitkiler doğada yaygın olarak bulunur, daha az enerji ve düşük maliyetle üretilebilirler ve üretimi ile işlenmesi ileri teknoloji gerektirmez ve üretim süreci son derece basittir (Sreekumar ve Thomas, 2008; Faruk ve ark., 2012). Doğal lifler yenilenebilir

bir kaynak olup işlenmesi kolay olduğu için kompozit üretiminde ekonomik anlamda büyük avantaj sağlar (Williams ve ark., 2000; Saxena ve ark., 2011).

Odun unu, polimer kompozitler arasında yaygın olarak kullanılan doğal dolgu malzemelerindedir. Yongalanmış odunların öğütülüp çeşitli boyutlardaki eleklerde elenmesi ile elde edilir. Aynı zamanda, atölye ve marangoz gibi yerel üreticilerden atık olarak da bol miktarda tedarik edilebilir. Kumar ve ark. (2014) odun unu ve epoksi kullanarak yaptıkları çalışmada odun unu miktarının artmasıyla mekanik özelliklerin belli bir miktar artıp, tekrar düştüğünü göstermiştir. Kumar ve Mercy (2015) 2-5mm aralığında Tik ve Paduk ağacı yongası, matris olarak epoksi kullanarak yaptıkları çalışmada Tik yongasının daha yüksek dayanım sağladığını bulmuşlardır. Odun plastik kompozitleri ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Buna karşılık odun unu epoksi kompozitleri ile ilgili çalışmalar yeterli değildir.

Bambu odun unu; hızlı büyüyen ve piyasada bol miktarda bulunan bambu ağacının gövdesinden yongalama ve öğütme ile elde edilir. Odununun aksine, bambu odun unu öğütülüp elendikten sonra toz şeklinde değil, lif şeklinde olduğu görülmüştür. Banga ve ark. (2015) farklı oranlardaki bambu liflerinin epoksi kompozitlerini çalışmışlardır. En iyi mekanik özellikler %30 bambu lifi içeren kompozitlerde görülmüştür. Rao ve ark. (2020) farklı oranlarda (%10, 15, 20 ve 25) fenol formaldehit içeren bambu kompozitlerinin mekanik ve su direnci özelliklerini incelemişlerdir. Pres yöntemi ile ürettikleri örneklerde; fenol formaldehit oranının artmasıyla özelliklerin iyileştiği belirlenmiş ve en optimum özellikler %20 reçine içeren örnek grubunda görülmüştür. Hussain ve ark. (2021) farklı oranlarda (%10, %20 ve %30) güçlendirici malzeme kullanarak ürettikleri epoksi-bambu kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bambu lifi içeren örnekler saf epoksiye göre daha üstün özellikler göstermiştir. Bambu lifi oranının artması ile mekanik özellikler daha da iyileşmiştir.

Kahve çekirdekleri, bitkinin meyvesinden elde edilir. Kahve çekirdeği unu; içilen kahvelerin telvesinin kurutulup elenmesi ile elde edilmiştir. Kahve; dünya genelinde yüksek miktarlarda tüketilmektedir ve gün geçtikçe piyasadaki talebi ve tüketimi artmaktadır (United States Department of Agriculture, 2018). Gıda atığı olarak hazır kahve fabrikaları ve kafelerden yüksek miktarda bulunma potansiyeli vardır. Dolgu malzemesi olarak kahve çekirdeği kullanılan çalışmalarda, kompozit malzemenin mekanik özelliklerini arttırmak ve gıda atığı olarak kahve çekirdeklerini geri dönüştürmek amaçlamıştır (Abusaymeh, 2013). Yu ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada; PLA ve farklı oranlarda (%1, %3, %5 ve %7) atık kahve çekirdeği kullanarak 3 boyutlu yazıcılar için baskı malzemesi üretmişlerdir. En iyi özellikler %3 kahve çekirdeği içeren grupta görülmüştür. Kahve çekirdeğinin 3 boyutlu yazıcılarda PLA filamentine eklenmesi ile geleneksel PLA filamentlerindeki maliyetin yanı sıra çevre kirliliğini de azaltıldığı belirtilmiştir. Masssijaya ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada; matris olarak polilaktik asit (PLA) ve termoplastik nişasta (TPS) karışımı, dolgu maddesi olarak da farklı oranlardaki (%5, %10 ve %15) atık kahve çekirdeği kullanarak ürettikleri kompozitlerin çeşitli özellikleri incelemişlerdir. Dolgu maddesinin eklenmesi ile birlikte fiziksel ve mekanik özelliklerde düşüş gözlemlenirken, termal bozulma sıcaklığı değerlerinde iyileşme gözlemlenmiştir. Amena ve ark. (2022) bir tarım artığı olup genellikle yakılarak imha edilen kahve kabuklarını kullanarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kompozitleri üretmişlerdir ve atık biyokütlenin geri dönüştürülmesini amaçlamışlardır. (%15, %20 ve %25) oranlarında kompozitlere eklenen liflere alkali işlemini uygulanması ile birlikte mekanik ve fiziksel özellikler üzerine önemli miktarda iyileşme gözlemlenmiştir. Dolgu maddesi oranının artışı ile birlikte çekme dirençlerinde artış belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı: epoksi kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine farklı dolgu malzemelerinin (bambu odun unu, kızılçam unu, kahve çekirdeği) ve kullanım oranlarının etkisinin araştırılması ve karşılaştırılmasıdır. Yapıları ve bitkiden elde edilme kısımlarına göre farklılık gösteren bambu odun unu, kızılçam unu ve kahve çekirdeği kıyaslanmaya değer görülmüştür.

MATERYAL VE METOT

Materyaller

Matris olarak Epoksi, dolgu maddesi olarak Bambu odun unu, kızılçam odun unu ve kahve çekirdeği unu kullanılmıştır. L/300 reçine ile H/300 sertleştiriciden oluşan çift komponentli laminasyon epoksi reçine sistemi Dost Kimya firmasından alınmıştır. Bambu odun unu; Mersin Orman işletme müdürlüğünden temin edilmiştir. Kızılçam; Kahramanmaraş da bir marangoz atölyesinden alınmıştır. Kahve unu; Günlük tüketilen Türk kahvesi telvesinden elde edilmiştir. Bambu ve Kızılçam yongaları, Wiley değirmeninde öğütülerek un haline getirilmiştir. Daha sonra öğütülen lifler ile kahve çekirdeği tozları elenerek farklı boyutlarda tasnif edilmiştir. Bu çalışmada, kompozit üretimi için 60 mesh boyutlarındaki lifler kullanılmıştır.

Kompozit Üretimi

Yedi farklı kombinasyonda kompozit üretilmiştir. Tablo 1’de üretim reçetesi verilmiştir.

Tablo 1. Üretim Reçetesi

Örnek Kodu	Epoksi oranı (%)	Bambu odun unu oranı (%)	Kızılçam odun unu oranı (%)	Kahve çekirdeği tozu oranı (%)
Kontrol-E	100	0	0	0
EB-10	100	10	0	0
EB-20	100	20	0	0
EK-10	100	0	10	0
EK-20	100	0	20	0
EKA-10	100	0	0	10
EKA-20	100	0	0	20

Kompozitler döküm yöntemi ile üretilmiştir ve kompozitlerin dökümü için silikon kalıp kullanılmıştır. Silikon kalıp kullanılmasının sebebi; silikonun esnek bir malzeme olması, tek parçadan üretilebilmesi, sıvıları emmeyip sızdırmaması ve aynı özellikteki silikon dışında hiçbir malzemeye yapışmamasıdır.

Reçine ve sertleştirici ağırlıkça 100:50 oranında tartılıp plastik bir bardağa dökülmüştür ve bu iki bileşen matris malzemeyi oluşturmuştur. Dolgu malzemelerinin miktarları; üretim reçetesinde belirtilen oranlara göre karışıma eklenecek ağırlıkta tartılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan dolgu malzemeleri; plastik kabın içerisinde bulunan matris malzemeye eklenmiş ve üç dakika boyunca bir çubuk yardımıyla karıştırılmıştır. Karışımlar hazırlandıktan sonra kalıplara dökülmüştür (bkz. Şekil-1). Her grup kendi içinde aynı kaptaki karıştırılıp tek seferde dökülmüştür. Dökülen kalıplar etüvde, 120 C derece sıcaklıkta 30 dakika bekletilmiştir. Bunun amacı kürleşme süresini azaltmaktır. Bu süre sonunda örnekler kalıplardan dışarı çıkarılarak

düz bir yüzey üzerinde 24 saat bekletilmiştir. Her kompozit için 6 eğilme, 6 çekme, 6 darbe ve 10 yoğunluk örneği elde edilmiş. Üretimi tamamlanan örnekler test edilmeden önce sıcaklığı 20°C ve bağıl nemi %65 olan iklimlendirme dolabında 24 saat boyunca kondisyonlanmaya bırakılmıştır.



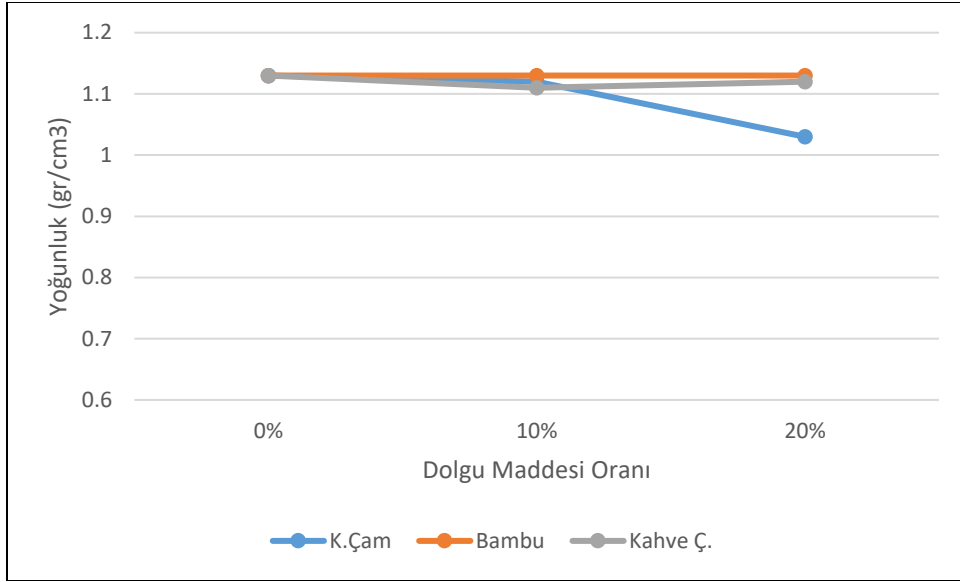
Şekil 1. Karışımın Dökümü

Kompozitlerin Testi

Örneklerin yoğunluğu, su alma miktarı, eğilme direnci, çekme direnci ve darbe direnci testleri sırasıyla ASTM D 792, ASTM D 570, ASTM D 790 ve ASTM D 638 ve ASTM D 256 standartlarına göre yapılmıştır. Bu çalışmada üretilen deneme gruplarına ait veri analizlerinde Desing Expert® Version 7.0.3. istatistik paket programı kullanılmıştır. Faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmıştır.

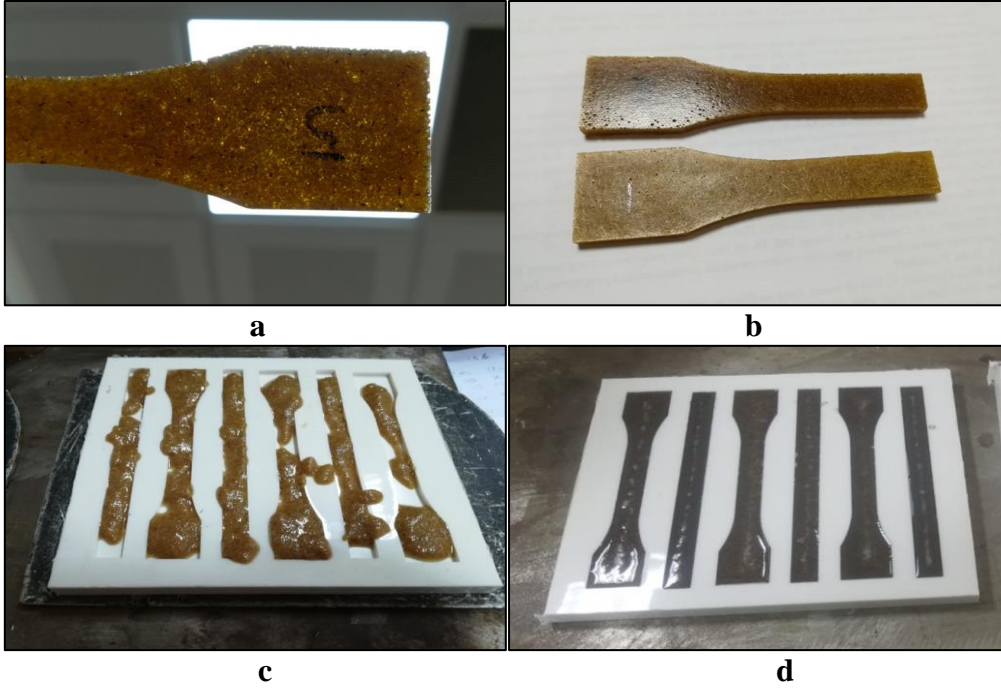
BULGULAR VE TARTIŞMA

Örneklerin yoğunlukları üzerine dolgu maddesi türü ve kullanım oranı önemli oranda etkili olmuştur ($P < 0,0001$). Üretilen örneklerin yoğunluk etkileşim grafiği şekil-2'de verilmiştir. Bambu odununu miktarı artmasıyla yoğunluk değişmezken kızılçam ve kahve çekirdeği unu malzemenin yoğunluğunu saf epoksiye kıyasla düşürmüştür.



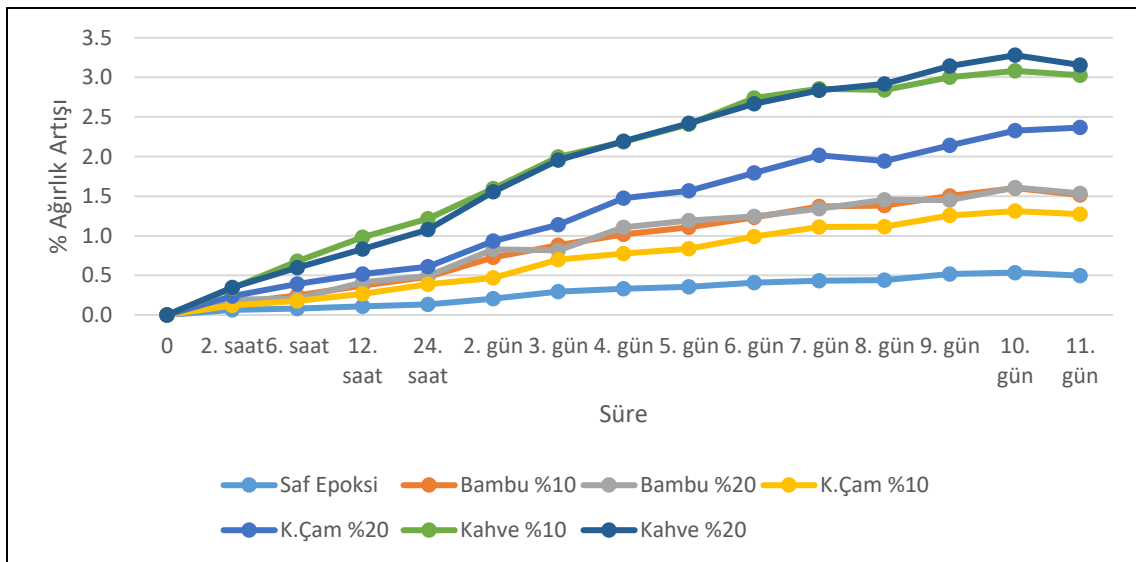
Şekil 2. Üretilen Örneklerin Yoğunluk Etkileşim Grafiği

%20 oranında kızılçam unu eklenen örneklerin yoğunluk değeri diğer gruplara göre düşük olduğu görülmektedir. Kızılçam odununun diğer dolgu maddeleri ile karşılaştırıldığında yüksek hacim kapladığı görülmüştür. Dolgu maddesi ile matris karıştırıldığında kürleşmeden önce bir miktar reçineyi bünyesine çekmektedir ve reçine dolgu maddesinin içerisindeki boşlukları doldurmaktadır. Bu esnada dolgu maddesinin içerisinden hava kabarcıkları çıkmaktadır. Diğer gruplarla karşılaştırıldığında reçinenin dolgu maddesine göre düşük hacim göstermesi ile karışımın yüksek viskoziteye sahip olduğu görülmüştür. Döküm yönteminde sisteme herhangi bir basınç uygulanmaması ve karışımın sahip olduğu yüksek viskoziteden dolayı karışımda oluşan hava kabarcıkları dışarı atılmamıştır. Sonuç olarak içerisindeki hava kabarcığı miktarı diğer malzemelere oranla yüksek çıkmıştır. Yüksek miktardaki hava kabarcıklarının düşük yoğunluğa neden olduğu düşünülmektedir. Bhaskar ve Singh (2013) yaptıkları çalışmada lif oranının artmasıyla elde yatırma yöntemi ile ürettikleri kompozit örneklerin yoğunluğunda düşüş gözlemlenmiştir. Bunun sebebini liflerin düşük yoğunlukta olması ve açık kalıplama yönteminin sonucu olarak liflerin birbirlerine bağlanamamasını göstermiştir. Şekil -3 a'da ışığa tutulan %20 kızılçam içeren kompozit numunede hava kabarcıkları net bir şekilde görülmektedir. Bu sebepten dolayı dolgu maddesi Şekil -3b'de %20 kızılçam(üstte) ve %20 bambu(alta) içeren kompozitler karşılaştırılmıştır. Şekil -3c'de %20 kızılçam içeren karışımın yüksek viskoziteden dolayı dağılmadığı görülmektedir. Tam tersi durum diğer karışımlarda gözlemlenmiştir. Örnek: Şekil-3d'de %20 kahve çekirdeği içeren karışım gösterilmiştir.



Şekil 3. a) %20 kıvılcım içeren örnekler **b)** %20 kıvılcım(üstte) ve %20 bambu(alta) içeren örnekler **c)** %20 kıvılcım içeren karışım **d)** %20 kahve çekirdeği içeren karışım

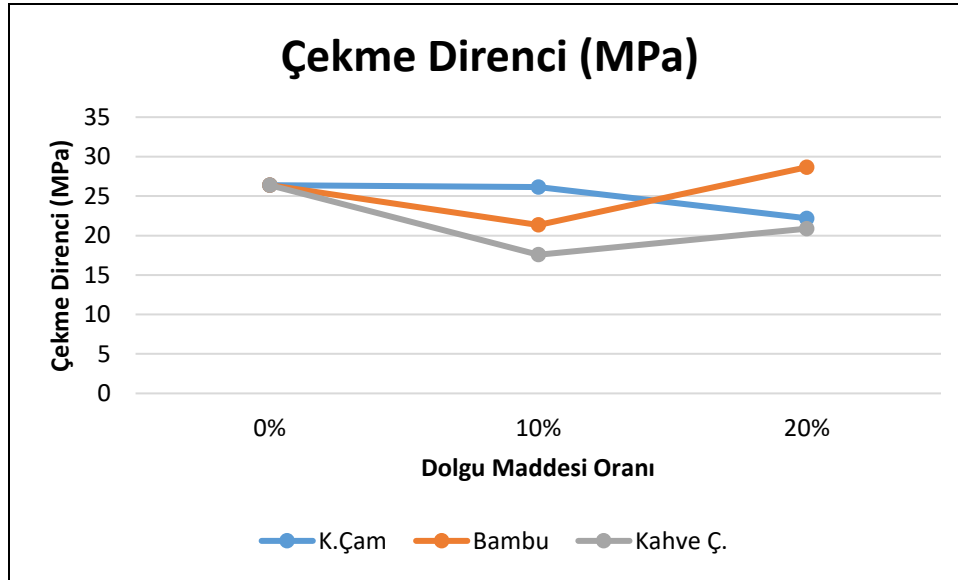
Şekil 4’de örneklerin su alma etkileşim grafiği verilmiştir. Su alma grafiği incelendiğinde, en yüksek ağırlık artışı kahve çekirdeği içeren kompozitlerde görülmüştür. En düşük ağırlık artışı saf epoksi örneklerinde olup 8. günde % 0,5’e ulaşır ve sabit kaldığı görülmüştür. Bambu içeren kompozitler, testin sonunda ağırlıkça %1,5 artarak sabit bir seviyeye ulaşmıştır. Bambu ve kahve çekirdeği içeren örneklerde; farklı dolgu madde miktarlarının önemli derecede olmasına rağmen su alma oranını arttırdığı gözlemlenmiştir. Kıvılcım içeren örneklerde %20 dolgu maddesi içeren örnek grubu % 10 dolgu maddesi içeren örnek grubuna göre yaklaşık iki kat fazla su almıştır. Bunun sebebinin, %20 kıvılcım unu içeren örnek grubundaki yüksek boşluk miktarı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4. Üretilen Örneklerin Su Alma Grafiği

Saf epoksiye dolgu malzemesi eklenmesi ile ağırlık artışı oranının yükseldiği belirlenmiştir. Kızılçam içeren örneklerdeki dolgu maddesi oranındaki artış ile birlikte, su alma oranı da yaklaşık 2 kat artmıştır. Kompozit içerisine lignoselülozik madde eklenmesi ile birlikte, OH gruplarında da artış söz konusudur. OH gruplarının artması ile birlikte daha yüksek miktardaki suyun liflerdeki selüloz ile bağ yaptığı ve sonuç olarak su alma miktarında artışa sebep olduğu düşünülmektedir. Singh ve ark. (2013) dolgu maddesi oranının artışı ile birlikte, su alma oranında yükselme gözlemlenmiştir.

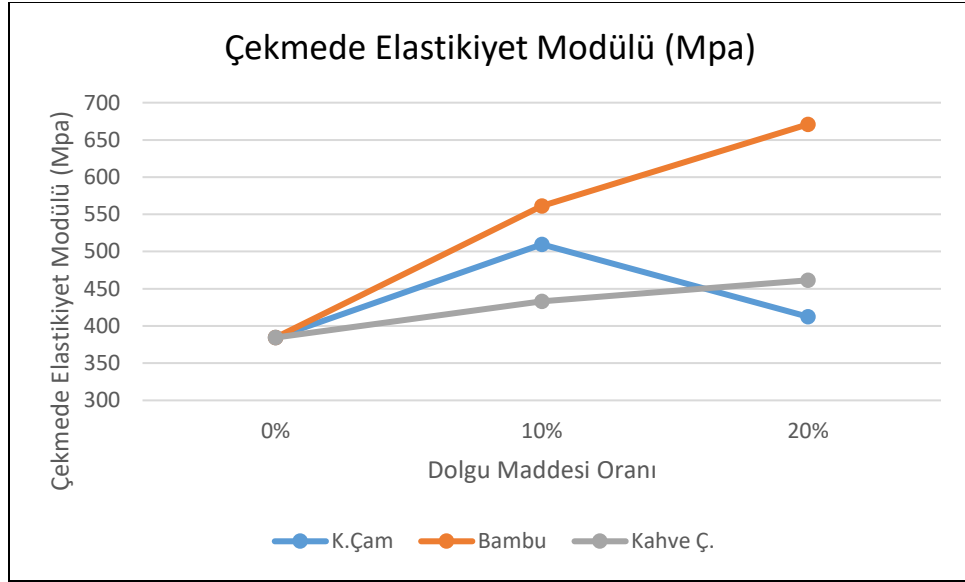
Şekil 5'te örneklerin çekme direnci etkileşim grafiği verilmiştir. İstatistik analiz sonucuna göre çekme direnci üzerine dolgu maddesi türü ve oranının önemli oranda etkili olduğu görülmüştür ($P < 0.0001$). Çekme direnci en düşük %10 Kahve çekirdeği içeren örnek grubundadır. Dolgu maddesi oranının yükselmesiyle tekrar arttığı gözlemlenmiştir. Çekme direnci en yüksek %20 Bambu odunu içeren gruptadır. Genel olarak %10 dolgu malzemesi içeren grupta çekme direnci düşerken %20 değerine ulaşıldığında artış görülmüştür. Kompozit üretiminde; farklı oranlardaki bambu lifleri ve polyester matris kullanılarak yapılan bir çalışmada, lif oranının artışıyla çekme direncinin ve çekmede elastikiyet modülünün arttığı görülmüştür (İkpi ve ark., 2021). Bu çalışmada dolgu maddesi oranının artmasıyla çekme direnci artsa da, %10 dolgu maddesi içeren grupların çekme direnci saf epoksiden düşüktür. Bunun sebebinin epoksinin polyesterden daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu düşünülmektedir. Oluşan hava kabarcıkları ve düşük yoğunluktan dolayı %20 kızılçam içeren grup diğerlerinin aksine çekme direncinde düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Üretilen Örneklerin Çekme Direnci Etkileşim Grafiği

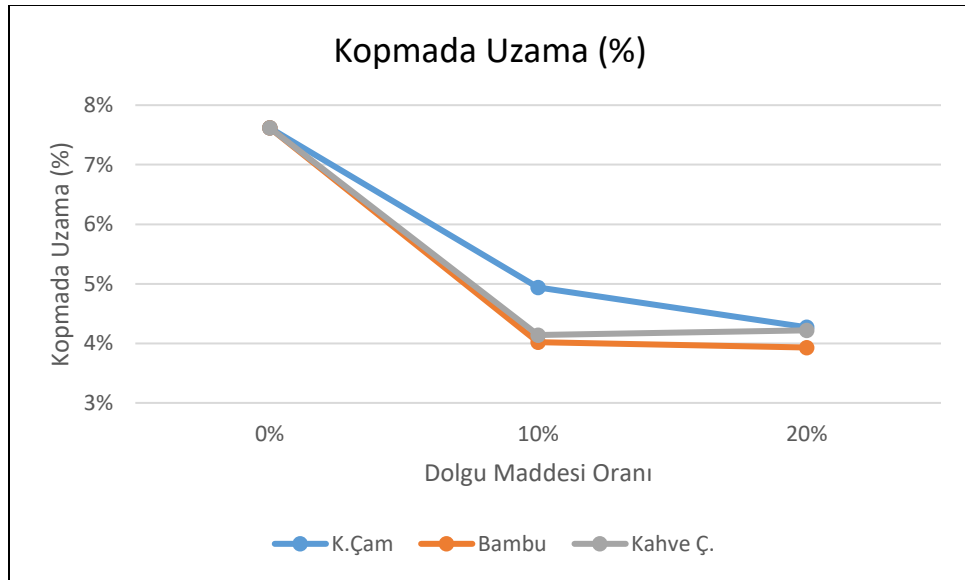
Çekmede elastikiyet modülü üzerine dolgu maddesi türü ve kullanım oranının önemli oranda etkili olduğu görülmüştür ($P < 0.0001$). Kompozit malzemede dolgu maddesi kullanıldığında saf epoksiye göre elastikiyet modülü artmıştır (bkz. Şekil 6). Bunun nedeni dolgu maddelerinin epoksiye göre daha yüksek modüle sahip olmasıdır. Çekmede elastikiyet modülü en düşük, %20 kızılçam odunu içeren örneklerdedir. Bunun sebebi olarak; %20 kızılçam içeren örnek grubunun yüksek hava kabarcığı ve boşluk miktarı sebebiyle en düşük yoğunluğa sahip grup olması düşünülmektedir. Bhaskar ve Singh (2013) yaptıkları çalışmada yoğunluğun azalması ile birlikte çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülünde düşüş gözlemlenmiştir. Bambu

örneklerinin çekme direnci, dolgu maddesi oranının yükselmesiyle artmıştır ve %20 dolgu maddesi içeren örnek grubunda en yüksek seviyede görülmüştür.



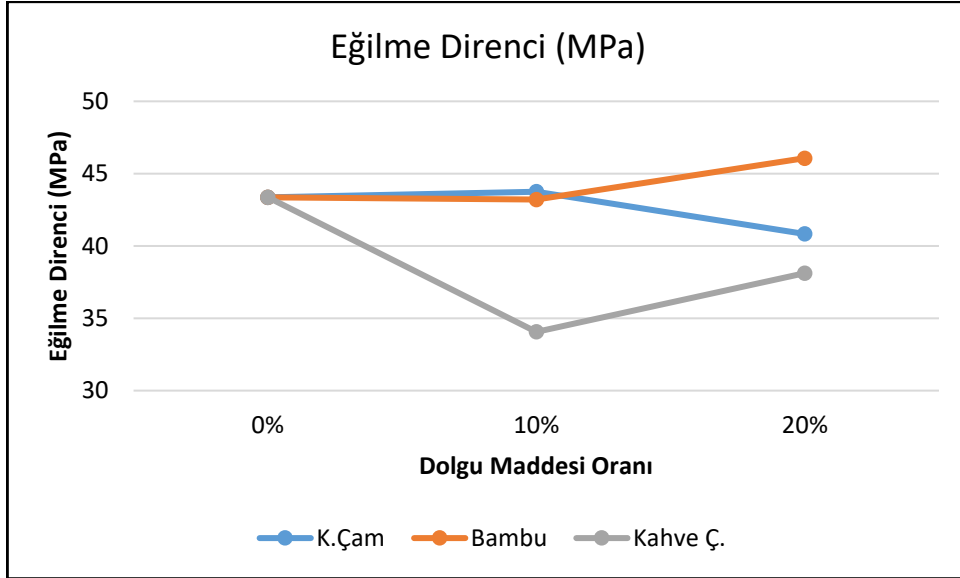
Şekil 6. Üretilen Örneklerin Çekmede Elastikiyet Modülü Etkileşim Grafiği

Şekil 7’de üretilen örneklerin kopmada uzama etkileşim grafiği verilmiştir. Yapılan istatistik analiz sonucuna göre kopmada uzama değeri üzerine dolgu maddesi türünün ve kullanım oranının önemli oranda etkili olduğu görülmüştür ($P < 0.0001$). En yüksek kopmada uzama değeri saf epoksida görülürken dolgu maddesi kullanımı ile bu değer giderek azalmıştır. Bunun nedeni dolgu maddesi ilavesiyle malzemenin sertleşmesi ve daha rijit bir hale gelmesidir. Saf olmayan örneklerde ise dolgu maddesinin artışı kopmada uzama değerinde önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır ve en düşük değer, %20 bambu odunu içeren örnek grubunda gözlemlenmiştir.



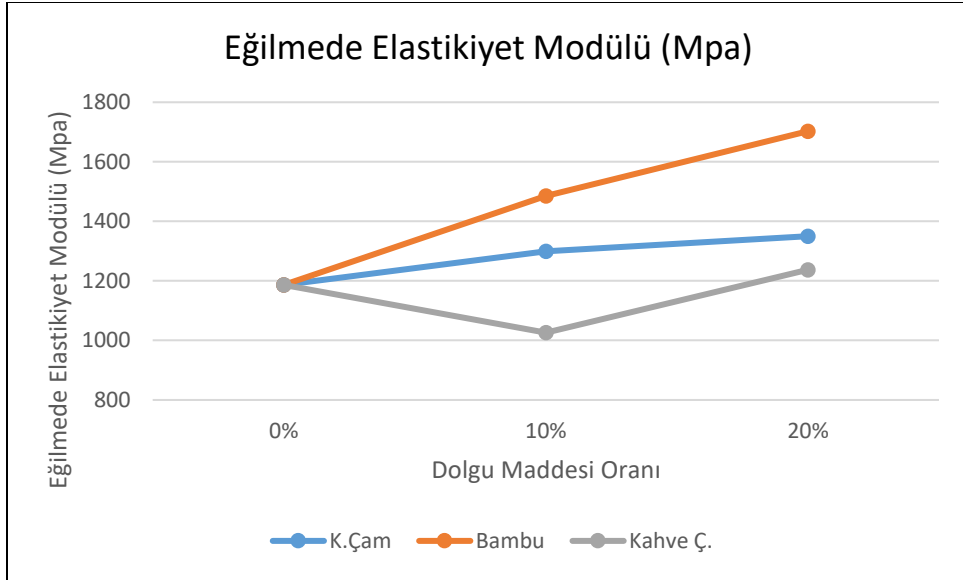
Şekil 7. Üretilen Örneklerin Kopmada Uzama Etkileşim Grafiği

İstatistik analizler eğilme direnci üzerine dolgu maddesi türü ve kullanım oranının önemli oranda etkili olduğunu göstermiştir ($P<0.0001$). En yüksek eğilme direnci değeri %20 bambu odununu kullanılan örneklerde bulunurken en düşük değer ise %10 kahve çekirdeği unu kullanılan örnek grubunda tespit edilmiştir (bkz. Şekil 8). Bambu ve Kahve çekirdeği içeren örneklerde %20 dolgu maddesi içeren örnekler, %10 dolgu maddesi içeren örnek grubunda daha yüksek eğilme direnci göstermiştir. Mishra ve Srivastava (2014) yaptıkları bir çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Sathishkumar ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, dolgu maddesinin artışıyla; eğilme direnci ve eğilmeye elastikiyet modülü değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu değerler; %40 oranında dolgu maddesi içeren örneklerde en yüksek seviyeye ulaşmıştır.



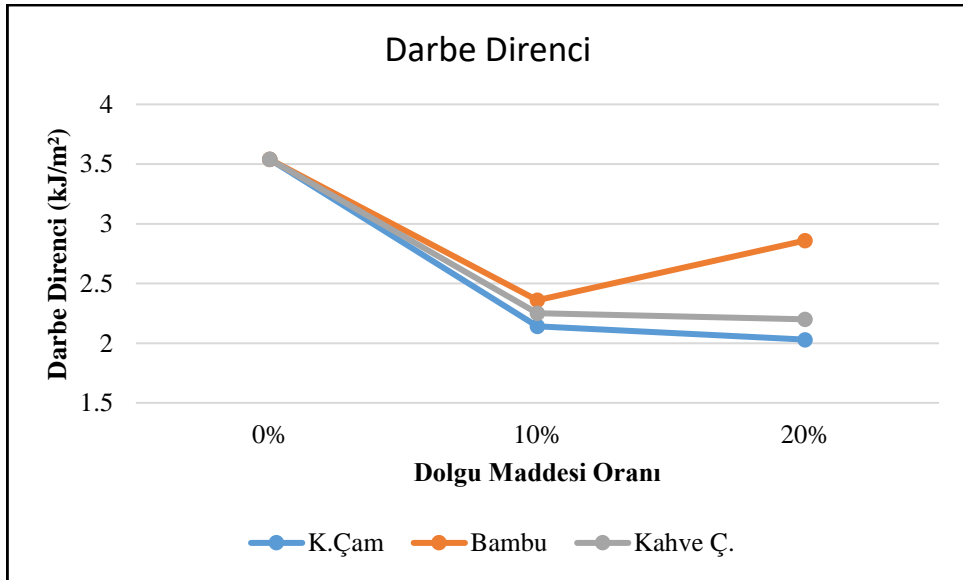
Şekil 8. Üretilen Örneklerin Eğilme Direnci Etkileşim Grafiği

Eğilmeye elastikiyet modülü değeri üzerine dolgu maddesi türü ve kullanım oranının önemli oranda etkili olduğu görülmüştür ($P<0.0001$). Bambu odununun oranı arttıkça eğilmeye elastikiyet modülü önemli derecede artmıştır (bkz. Şekil 9). Kahve çekirdeği unu %20 oranında kullanıldığında saf epoksiye göre elastikiyet modülü yüksek çıkmaktadır. %10 oranındaki kahve çekirdeği unu kullanımı ile en düşük elastikiyet modülünü görülmüştür. Kızılcam odununu içeren örneklerin eğilmeye elastikiyet modülleri saf epoksiye göre yüksek çıkmıştır ve dolgu maddesi oranının artması ile artmıştır. Bu artışın sebebi doğal liflerin eğilmeye elastikiyet modülünün polimer matristen daha yüksek olmasıdır (Chaharmahali ve ark., 2008).



Şekil 9. Üretilen Örneklerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Etkileşim Grafiği

Darbe direnci değeri üzerine dolgu maddesi türü ve kullanım oranının önemli oranda etkili olduğu görülmüştür ($P < 0.0001$). Dolgu malzemesi kullanımı ile birlikte darbe direncinin düştüğü gözlemlenmiştir (bkz. Şekil 10). En yüksek darbe direnci saf epoksi örnek grubunda görülmektedir. Dolgu malzemesi oranının artışıyla; kızılçam ve kahve çekirdeği unu içeren örneklerin darbe direnci azalırken bambu odun unu içeren örneklerdeki darbe direnci artmıştır.



Şekil 10. Üretilen Örneklerin Darbe Direnci Etkileşim Grafiği

SONUÇLAR

Dolgu maddesi kullanımı ile, malzemenin yoğunluğunda % 20 kızılçam içeren örnek grubu hariç ciddi bir değişim gözlemlenmemiştir. En düşük yoğunluk, önemli bir düşüşle bu grupta görülmektedir. Kahve çekirdeği içeren örneklerde en yüksek su alma miktarı görülürken en düşük su alma miktarı saf örneklerde gözlemlenmiştir. Saf epoksi içeren örneklerde en yüksek

yoğunluk ve darbe direnci değerleri görülmektedir. Genel olarak mekanik özelliklerde, en iyi değerler bambu odun unu kullanılmış örneklerde elde edilmiştir. Bambu odun unu oranının artması ile mekanik özellikler daha da iyileşmiştir. Dolgu maddesi kullanımı ile malzemelerin kopmada uzama değerlerinde düşüş gözlemlenirken, dolgu maddesi oranının artışı ile önemli bir fark görülmemiştir. Kompozitlerin içindeki boşluk miktarının artışı ile yoğunluğun azaldığı ve mekanik özelliklerde düşüşe sebep olduğu görülmüştür.

YAZAR KATKILARI

Mustafa Kadir Yalman: Kompozit malzemelerin üretilmesi, mekanik ve fiziksel testlerin yapılması, verilerin toplanması, makale yazımı, **İlkay Atar:** Çalışmanın dizaynı, elde edilen verilerin istatistik analizi, makale yazımı, **Fatih Mengeloğlu:** elde edilen verilerin istatistik analizi, makale yazımı.

FINANSAL DESTEK BEYANI

Çalışma için herhangi bir maddi destek alınmamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

ETİK KURUL ONAYI

Bu çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir.

KAYNAKLAR

- Abusaymeh, B. (2013). Low density polyethylene matrix composite with coffee and coffee ground (Bachelor Thesis). Al-Quds University. https://www.researchgate.net/publication/237067404_Low_Density_Polyethylene_Matrix_Composite_with_Coffee_and_Coffee_Ground
- Amena, B. T., Altenbach, H., Tibba, G. S., & Hossain, N. (2022). Investigation of mechanical properties of coffee Husk-HDPE-ABS polymer composite using injection-molding method. *Journal of Composites Science*, 6(12), 354.
- Banga, H., Singh, V. K., & Choudhary, S. K. (2015). Fabrication and study of mechanical properties of bamboo fibre reinforced bio-composites. *Innovative Systems Design and Engineering*, 6(1), 84–98.
- Bhaskar, J., & Singh, V. K. (2013). Physical and mechanical properties of coconut shell particle reinforced-epoxy composite. *J. Mater. Environ. Sci*, 4(2), 227–232.
- Bledzki, A. K., & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*, 24(2), 221–274.
- Chaharmahali, M., Mirbagheri, J., Tajvidi, M., Najafi, S. K., & Mirbagheri, Y. (2008). Mechanical and physical properties of wood-plastic composite panels. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(2), 310–319.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552–1596.
- Hussain, M. K., Abbas, S. H., Younis, Y. M., Rahman, M. A., & Jamil, T. (2021). Fabrication

- of epoxy composite material reinforced with bamboo fibers. *Journal of Applied Engineering Science*, 19(1), 119–124.
- Ikpi, O. M., Ateb, U. P., Adi, C. C., & Pius, E. U. (2021). Mechanical modelling of bamboo sawdust/polyester composites fabricated by hot pressing method. *Nigerian Journal of Materials Science and Engineering*, 11(2), 116–124.
- Jawaid, M., & Abdul Khalil, H. P. S. (2011). Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 86(1), 1–18.
- Jin, F.-L., Li, X., & Park, S.-J. (2015). Synthesis and application of epoxy resins: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 29(1), 1–11.
- Kumar, P. N., & Mercy, L. (2015). Experimental investigation and analysis of the mechanical properties of wood reinforced polymer composites. *International Journal of Applied Engineering Research*.
- Kumar, R., Kumar, K., Sahoo, P., & Bhowmik, S. (2014). Study of mechanical properties of wood dust reinforced epoxy composite. *Procedia Materials Science*, 6, 551–556.
- Massijaya, S. Y., Lubis, M. A. R., Nissa, R. C., Nurhamiyah, Y., Nugroho, P., Antov, P., ... Karlinasari, L. (2023). Utilization of spent coffee grounds as a sustainable resource for the synthesis of bioplastic composites with polylactic acid, starch, and sucrose. *Journal of Composites Science*, 7(12), 512.
- Mishra, V., & Biswas, S. (2013). Physical and mechanical properties of bi-directional jute fiber epoxy composites. *Procedia Engineering*, 51, 561–566.
- Mishra, V., & Srivastava, A. (2014). Epoxy/wood apple shell particulate composite with improved mechanical properties. *Anshuman Srivastava Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 4 (8), 142-145.
- Pandey, J. K., Ahn, S. H., Lee, C. S., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2010). Recent advances in the application of natural fiber based composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 295(11), 975–989.
- Rao, F., Ji, Y., Li, N., Zhang, Y., Chen, Y., & Yu, W. (2020). Outdoor bamboo-fiber-reinforced composite: Influence of resin content on water resistance and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 261, 120022.
- Riedel, U., & Nickel, J. (2002). Applications of natural fiber composites for constructive parts in aerospace, automobiles, and other areas. *Biopolymers Online*, 1–28.
- Saba, N., Jawaid, M., Allothman, O. Y., Paridah, M., & Hassan, A. (2015). Recent advances in epoxy resin, natural fiber-reinforced epoxy composites and their applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 35(6), 447–470.
- Sathishkumar, T., Naveen, J., Navaneethkrishnan, P., Satheeshkumar, S., & Rajini, N. (2016). Characterization of sisal/cotton fibre woven mat reinforced polymer hybrid composites. *Journal of Industrial Textiles*, 47(4), 429–452.
- Saxena, M., Pappu, A., Sharma, A., Haque, R., & Wankhede, S. (2011). Composite materials from natural resources: recent trends and future potentials. *Advances in Composite Materials - Analysis of Natural and Man-Made Materials*. 6, 121-162.
- Singh, A., Singh, S., & Kumar, A. (2013). Study of mechanical properties and absorption behaviour of coconut shell powder-epoxy composites. *International Journal of Materials Science and Applications*, 2(5), 157.
- Sreekumar, P. A., & Thomas, S. (2008). Matrices for natural-fibre reinforced composites. *Properties and Performance of Natural-Fibre Composites*, 67–126. Woodhead Publishing.
- Tajuddin, M., Ahmad, Z., & Ismail, H. (2016). A review of natural fibers and processing operations for the production of binderless boards. *BioResources*, 11(2), 5600–5617.
- United States Department of Agriculture. (2018). *Coffee: world markets and trade*.

<https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/m900nt40f/41687n67f/nk322j622/coffee.pdf>

- Williams, G. I., Dweib, M. A., & Wool, R. P. (2000). Composites from natural fibers and soy oil resins. *Applied Composite Materials*, 7(5/6), 421–432.
- Yu, W., Yuan, T., Yao, Y., Deng, Y., & Wang, X. (2023). Pla/coffee grounds composite for 3d printing and its properties. *Forests*, 14(2), 367–367.