

Biyo-Kökenli Organik Faz Değişim Malzemeleri ile Emprenye Edilen Odun Örneklerinin Enerji Depolama Özelliklerinin İncelenmesi

Eda Zorlu¹, Ahmet Can^{2,*}

^{1,2}Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 14.01.2025

Kabul: 26.02.2025

Yayın: 25.04.2025

Araştırma Makalesi



Öz – Bu çalışma, yenilenebilir biyomalzemelerin sürdürülebilir yapı malzemeleri olarak kullanımını artırmak amacıyla, organik faz değişim malzemeleri (FDM) ile emprenye edilen kavak odununun enerji depolama özelliklerini incelemektedir. Çalışmada faz değişim malzemesi olarak hindistan cevizi yağı (HC) ve laurik asit (LA) kullanılmış, farklı oranlarda karışımlar oluşturularak emprenye işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan örnekler, vakum ve atmosferik basınç koşullarında emprenye edilmiş ve ağırlık artışları hesaplanmıştır. Emprenye edilen örneklerin kimyasal, termal ve fiziksel özellikleri FTIR, DSC, XRD ve TGA analiz yöntemleriyle karakterize edilmiştir. HC ile emprenye edilen örneklerde %162,97 ile en yüksek ağırlık artışı elde edilmiştir. FTIR analizleri, emprenye işleminin kimyasal bir değişim yaratmadığını, yalnızca fiziksel bir etkileşim gerçekleştiğini ortaya koymuştur. DSC analizlerinde, LA ve HC karışımının (FDM4) erime ve donma sıcaklıklarını optimize ettiği ve enerji depolama kapasitesini artırdığı belirlenmiştir. TGA sonuçları, HC'nin termal dayanıklılık açısından daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. FDM'ler ile emprenye edilen odun örneklerinin enerji depolama özelliklerinin geliştirildiği ve bu yöntemle çevre dostu, enerji verimli yapı malzemelerinin üretimine olanak sağlandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Enerji depolama, hindistan cevizi yağı, kavak, laurik asit, organik faz değişim malzemesi

Investigation of Energy Storage Properties of Wood Samples Impregnated With Bio-Based Organic Phase Change Materials

^{1,2}Department of Forest Industrial Engineering, Faculty of Forestry, Bartın University, Bartın, Turkey

Article History

Received: 14.01.2025


Accepted: 26.02.2025


Published: 25.04.2025

Research Article

Abstract – This study investigates the energy storage properties of poplar wood impregnated with organic phase change materials (PCMs) to enhance the use of renewable biomaterials as sustainable construction materials. Coconut oil (HC) and lauric acid (LA) were used as phase change materials, and different ratios of mixtures were prepared for impregnation. The prepared samples were impregnated under vacuum and atmospheric pressure conditions, and weight gain was calculated. The chemical, thermal, and physical properties of the impregnated samples were characterized using FTIR, DSC, XRD, and TGA analysis methods. The results showed that the highest weight gain, 162.97%, was obtained in samples impregnated with HC. FTIR analyses revealed that the impregnation process caused no chemical changes, but only physical interactions. DSC analyses showed that the LA and HC mixture (FDM4) optimized melting and freezing temperatures, enhancing energy storage capacity. TGA results demonstrated that HC exhibited better thermal stability compared to other materials. The findings indicate that the energy storage properties of wood samples impregnated with PCMs have been significantly improved, enabling the production of eco-friendly, energy-efficient construction materials.

Keywords – Energy storage, coconut oil, poplar, lauric acid, organic phase change material

¹  eda.zrl55@gmail.com

²  acan@bartin.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyomalzemeler, gelecekteki teknolojilerde çevre dostu ve sürdürülebilir bir çözüm sunarak insan yaşamının iyileştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Ramage vd., 2017). Son on yılda, ahşabın tek ve çok katlı yapılarda kullanılması artış göstermiş, bu durum biyotabanlı ürünlere olan ilgiyi arttırmış ve gelecekteki teknolojiler için umut verici bir alternatif oluşturmuştur (Hepburn vd., 2019; Amiri vd., 2020). Geleneksel olarak kullanılan metaller, beton, plastik gibi yapı malzemeleri enerji yoğun ve geri dönüştürülemez atıklar oluşturarak çevresel sorunlara neden olmaktadır (Omer vd., 2020). Bu malzemelerin bazıları, insan sağlığına zarar verebilecek asbest, formaldehit ve kurşun gibi maddeler içerebilmektedir. Bu nedenle, çevre dostu, yenilenebilir ve yeşil yapı malzemelerine olan talep artmış, biyomalzemelerin kullanımı sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için kritik bir hale gelmiştir (Toppinen vd., 2018; Wen vd., 2020; Falk vd., 2009).

Faz değişim malzemeleri (FDM'ler), enerji depolama kapasiteleri ve ısı transferi özellikleri nedeniyle yapı uygulamalarında önemli bir potansiyel sunmaktadır. FDM'ler, katı-sıvı, sıvı-gaz gibi faz değişim sırasında gizli ısı depolama kapasiteleri nedeniyle enerji tasarrufu sağlamaktadır (Tatsidjodoung vd., 2013; Xie vd., 2017). Organik faz değişim malzemeleri (OFDM'ler), iç mekan sıcaklık düzeyini kontrol etme yetenekleri ile öne çıkmakta ve çevre dostu malzeme isteğini karşılamaktadır (Sharma vd., 2009; Agyenim vd., 2010).

Ahşap, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan biyotabanlı bir malzemedir ve son yıllarda ahşaptan yapılan çok katlı binalar oldukça popüler hale gelmiştir. İnşaat sektöründe bir diğer gelişme, ahşabın işlevselliğini artırmak için farklı amaçlarla modifiye edilmesidir. FDM'lerle empenye edilerek ahşap temelli malzemeler oluşturma çabaları, yukarıda bahsedilen konseptte bir örnektir. Ma vd. (2019)'e göre, ahşabın gözenekli yapısı, FDM'leri adsorbe etmek için uygun bir malzeme olduğunu vurgulamıştır. Çoğu araştırma, FDM'lerle ahşap bazlı kompozitler oluştururken destek malzeme olarak ahşap ununun kullanımına odaklanmaktadır. Yang ve arkadaşları (2017), FDM olarak PEG (polietilen glikol) içeren bir atık talaş kompoziti oluştururken, Liang vd. (2018) ahşap unu ve dört yağ asidini FDM olarak kullanmıştır. Yukarıda bahsedilen araştırmalarda, termal iletkenliklerini artırmak için kompozitlere genişletilmiş grafit eklenmiştir. Sari vd. (2020), ahşap fiberi ve kaprik (CA)-stearik asitleri (SA) bir ötektik FDM kombinasyonunda kullanarak ahşap bazlı kompozitin özelliklerini ve termal düzenleme performansını incelemiştir. Ma vd. (2018), laurik ve miristik asitlerin bir karışımını ve modifiye edilmiş gözenekli ahşap ununu kullanarak kompozit FDM'ler oluşturmuştur. Ma vd. (2019), lignini uzaklaştırılmış masif ahşabı kaprik-palmitik asit ötektik karışımı içeren bir FDM ile empenye ettikleri ve Yang vd. (2018), lignini alınmış ahşap ve 1-tetradekanol kullanarak kompozit FDM'ler oluşturdukları çalışmalar bulunmaktadır. Temiz vd. (2020) FDM alımını kontrol etmek için vakum tekniği kullanarak kaprik-stearik asitlerin ötektik karışımını ile sarıçam odun örneklerini empenye etmişlerdir. Çam diri odunu, FDM olarak farklı konsantrasyonlarda kaprik asit ile empenye edilmiş ve higroskopik, mekanik ve termal enerji depolama özellikleri analiz edilmiştir (Mohamad Amini vd. 2022). Can ve Zigon (2022), ahşabı N-Heptadekan ile empenye ederek stabilize edilmiş termal enerji depolama malzemeleri üretmişlerdir. Ayrıca, Can (2023), palmitik asit-şellak (PA/Sh) karışımını ladin ağacına empenye ederek odun örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir.

Bu çalışma, literatürdeki önceki araştırmalardan farklı olarak, yenilenebilir biyomalzemeler olan hindistan cevizi yağı (HC) ve laurik asit (LA) bazlı faz değişim malzemeleri (FDM) ile kavak odununun empenye edilmesine odaklanmaktadır. Daha önceki çalışmalar genellikle PEG, yağ asitleri veya modifiye edilmiş ahşap bileşenleri kullanırken, bu çalışma HC ve LA'nın farklı oranlardaki kombinasyonlarını değerlendirerek enerji depolama performanslarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, vakum ve atmosferik basınç koşullarında empenye işlemi gerçekleştirilerek ağırlık artışı karşılaştırılmış ve termal analizlerle (DSC, TGA) enerji

depolama kapasitesi belirlenmiştir. Bu yönüyle çalışma, sürdürülebilir ve çevre dostu yapı malzemelerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada faz değişim malzemesi (FDM) olarak hindistan cevizi yağı (HC, Thermo Fisher Scientific), ve laurik asit (LA, Thermo Fisher Scientific) kullanılmıştır. Odun örneği olarak kavak (*Populus euroamericana* I214) diri odun örnekleri kullanılmıştır.

2.2. Faz değiştiren malzemelerin hazırlanması

Faz değiştiren malzemelerin karışım oranları ve hazırlama koşulları Tablo 1’de yer almaktadır. FDM1, %100 LA, 80°C sıcaklıkta, 2 saat süreyle ve 200 rpm karıştırma ile karıştırılarak hazırlanmıştır. FDM2, %100 HC yağının 60°C sıcaklıkta, 2 saat süreyle ve 200 rpm karıştırma hızında karıştırılarak hazırlanmıştır. FDM4, birbir oranında LA ve HC karıştırılmış ve karışım, 70°C sıcaklıkta, 2 saat süreyle ve 200 rpm karıştırma hızıyla hazırlanmıştır.

Tablo 1

Oluşturulan varyasyonlar ve hazırlama koşulları.

		Karışım oranı	Sıcaklık (°C)	Süre	Karıştırma hızı
FDM1	LA	%100	80	2 saat	200 rpm
FDM2	HC	%100	60	2 saat	200 rpm
FDM4	LA:HC	%50:%50	70	2 saat	200 rpm

2.3. Faz değiştiren maddeler ile emprenye işlemi

Odun örnekleri hazırlandıktan sonra emprenye işlemi için 2 hafta süreyle %65 bağıl nem ve 25 °C’de kondisyonlanmıştır. Örneklerin emprenye işlemi Bartın Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. 5x15x30 mm boyutlarında tam kuru her bir odun örneği için 50 gr FDM çözültüsü beher içerisinde koyulmuştur. Sıvı halde bulunan FDM maddeleri örnek üzerine döküldükten sonra 70 °C’de sıcaklıkta bulunan vakumlu etüv içerisine koyulmuştur. Ardından 30 dakika vakum uygulanmış, vakum ardından örnekler 24 saat atmosferik basınç altında aynı sıcaklıkta bekletilmiştir. Bu işlem süresi içerisinde herhangi bir karıştırma işlemi uygulanmamıştır. Emprenye edilen örneklerin % ağırlık artışı değerleri ilgili formül kullanılarak hesaplanmıştır. Hazırlanan varyasyonlar ve örnek isimlendirmesi aşağıdaki gibidir. LA: laurik asit, HC: Hindistan cevizi yağı, W: kavak odun örneği, LA-W: laurik asit ile emprenyeli odun, HC-W: Hindistan cevizi ile emprenyeli odun, LA:HC-W: laurik asit ve Hindistan cevizi yağı karışımı ile emprenye edilmiş odunu ifade etmektedir.

2.4. Örneklerin karakterizasyonu

Fouier Transform Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR, JASCO 430); emprenye edilen ve kavak kontrol örneklerinin kimyasal yapısında meydana gelen değişimleri incelemek için FT-IR analiz yöntemi kullanılmıştır. Her örneğin spektrasi 4 cm⁻¹ çözünürlükte ve 400-4000 cm⁻¹ tarama aralığında alınacaktır.

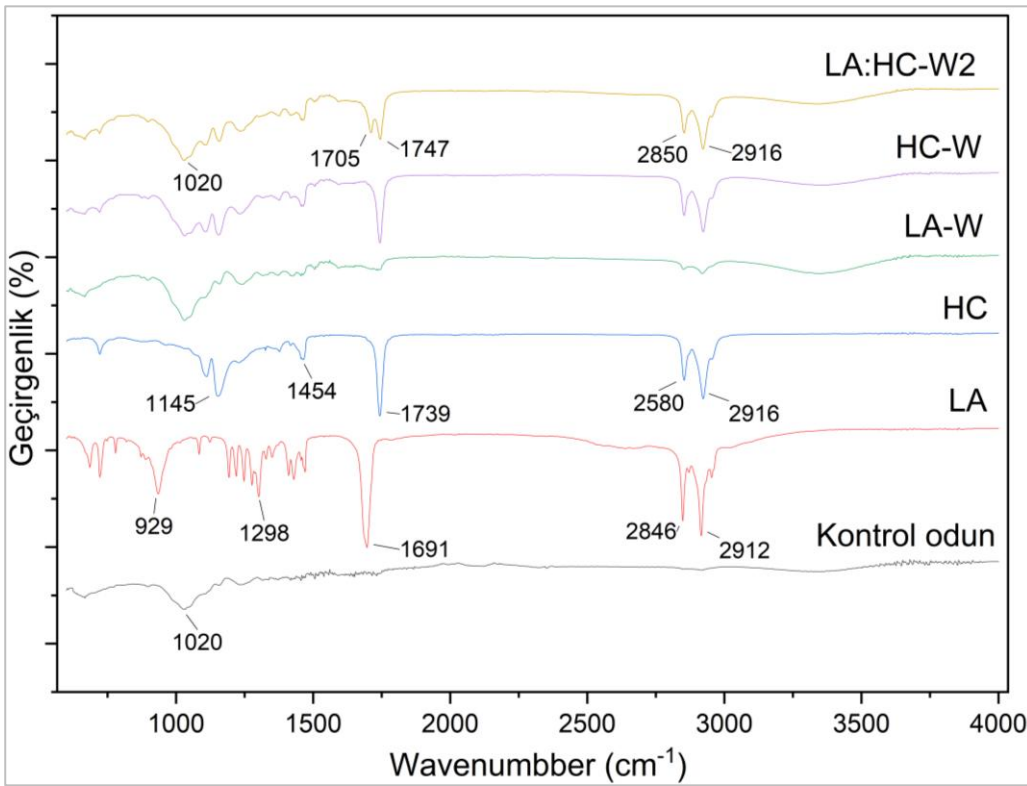
Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi; FDM ile emprenye edilen örneklerin ısı depolama özellikleri, bir Setaram µDSC3evo (Lyon, Fransa) diferansiyel tarama kalorimetresi kullanılarak belirlenmiştir. Her numune doğrudan kalorimetrenin yığın kabına tartılmış ve -10 ila +45 °C sıcaklık aralığında üç döngü halinde yapılmıştır.

Kristal Yapı Analizi (XRD Analizleri, Rigaku, Japonya); Örneklerin kristal yapısının belirlenmesinde kullanılmıştır. Analizler, 1°/dakika hızında 10–70 2θ derece aralığında, CuK ışınması (λ = 1.5405 Å) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Termogravimetrik analiz (TG); Termogravimetri, genel olarak malzemelerde sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak meydana gelen kütle kaybı ve/veya kazanımlarının belirlenmesinde kullanılır. Azot atmosferi altında, örneklerin termal kararlılığı termo-analizör ekipmanı (Perkin-Elmer TGA7) ile incelenmiştir. Yaklaşık 3 mg numune içeren bir alüminyum oksit pota, dakikada 10 °C'de oda sıcaklığından 600 °C'ye ısıtılmış ve soğutulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

LA ile empenye edilen örneklerde %146,366, HC ile empenye edilen örneklerde %162,97, FDM4 ile empenyeli örneklerde %158,01 ağırlık artışı değerleri elde edilmiştir. HC ile empenye işlemi sonrası örneklerde daha fazla ağırlık artışı elde edilmiştir. Bu durumun, HC'nin moleküler yapısı ve yoğunluğu, ahşap malzemeye daha fazla kimyasal maddenin nüfuz etmesine olanak sağlayabilmektedir. Özellikle HC'nin sahip olduğu hidrofobik özellikler, ahşap hücre duvarları ile daha güçlü bir etkileşim oluşturabilir ve bu durum empenye işleminden sonra daha yoğun bir kimyasal kaplama ile sonuçlanabilir.

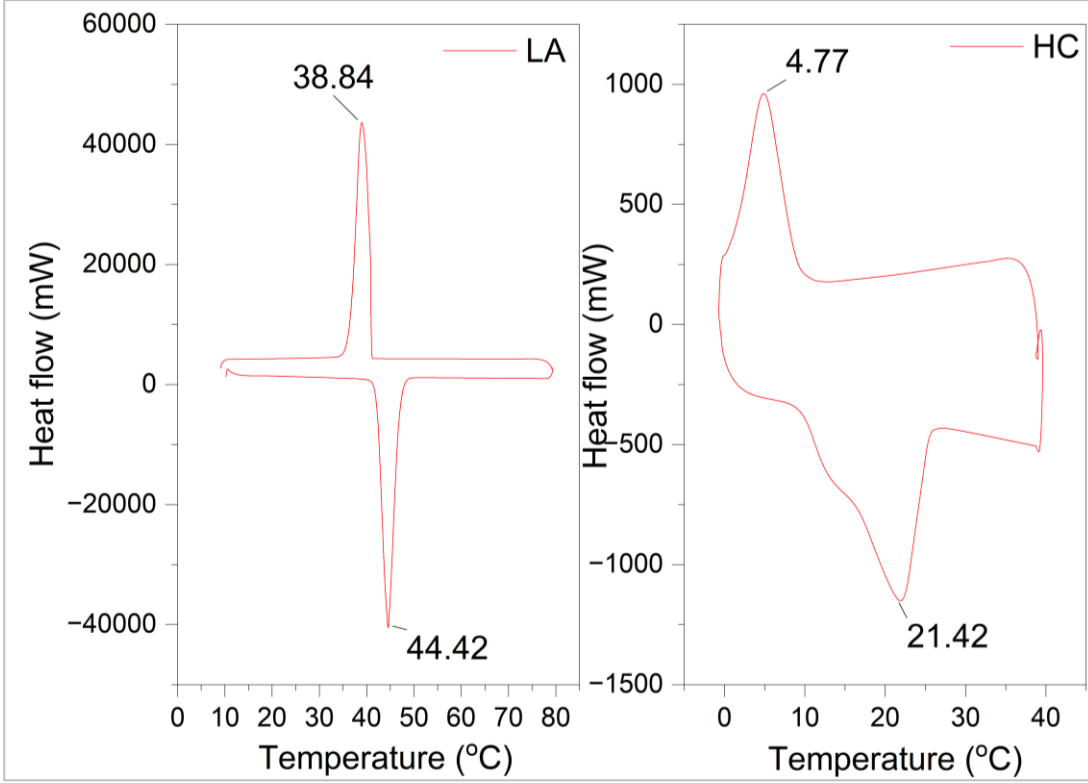


Şekil 1. Kontrol ve test örneklerinin FTIR grafiği

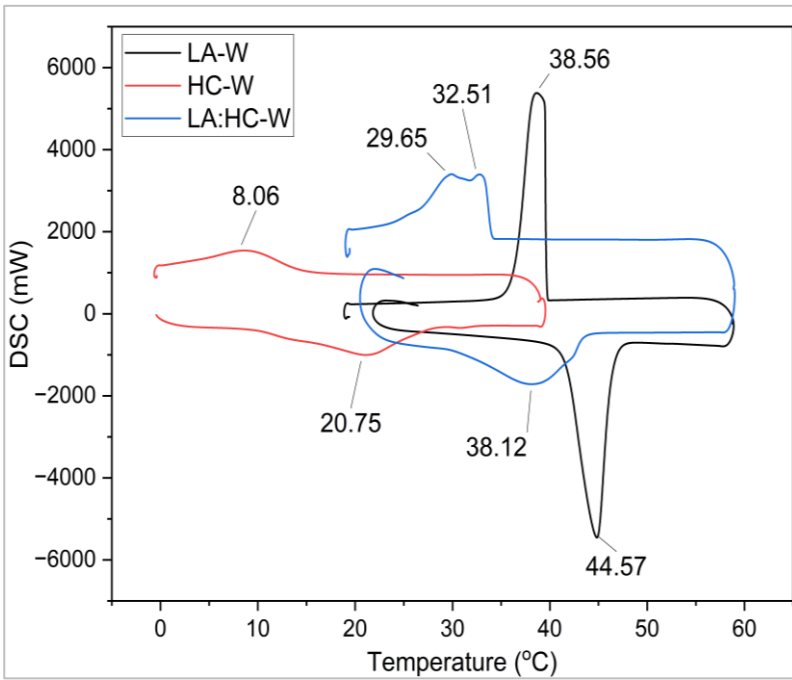
Şekil 1'de kavak kontrol odunu, laurik asit, hindistan cevizi yağı, ve diğer test örneklerine ait FTIR spektrumları gösterilmiş olup, kavak odununun 1020 cm^{-1} 'de karakteristik holoselüloz piki, laurik asidin 2912 cm^{-1} ve 2846 cm^{-1} 'deki karakteristik pikler CH_2 ve CH_3 gruplarının gerilme titreşimlerine işaret etmektedir. 929 cm^{-1} 'de OH grubunun titreşim piki, 725 cm^{-1} 'de ise C-H gruplarının düzlem dışı bükülme titreşim piki bulunmaktadır. Ayrıca, 1691 cm^{-1} 'deki pik karbonil grubuna (C=O) atfedilebilirken, 1298 cm^{-1} 'deki pik C-O gerilme titreşimlerine bağlanmıştır. Laurik asidin FT-IR spektrumu, yapılan literatür çalışmasıyla oldukça tutarlıdır (Sari vd. 2009). Metilen (CH_2) ve metil (CH_3) gruplarının bükülme absorpsiyonuna atfedilen iki alkan piki sırasıyla 1465 ve 1375 cm^{-1} 'de ortaya çıkmıştır. 1739 ve 1145 cm^{-1} 'de gözlemlenen iki pik ise sırasıyla aldehit (C=O) ve esterlerin (C-O) gerilme absorpsiyonuna bağlıdır (Yunus vd. 2009). Zhu vd. (2014), metilenin asimmetrik ve simetrik gerilmesiyle ilgili yağ asitlerinden oleik asitle muamele edilen odunlar için FTIR spektrumlarında 1738 cm^{-1} 'de (C = O) emilim bantlarının yoğunluğunda bir artış ve 2924 ve 2854 cm^{-1} 'de yeni emilim bantları gözlemlenmiştir. Hazırlanan ötektik karışımlar ile empenye edilen odun örneklerinde yeni piklerin oluşmadığı, ortaya çıkan piklerin LA ve HC'den kaynaklandığı görülmektedir. Bu durum LA:HC ile empenye

edilen odun örneklerinde kimyasal değişimin olmadığı sadece fiziksel bir etkileşimin olduğunu göstermektedir.

Şekil 2-3'de gösterilen DSC sonuçları, her DSC eğrisinin ısıtma işlemi için bir tepe ve soğutma işlemi için başka bir tepeye sahip olduğunu göstermektedir. LA, HC ve emprenyeli odun örneklerine ait DSC analiz sonuçları Şekil 2 ve Şekil 3'te yer almaktadır.



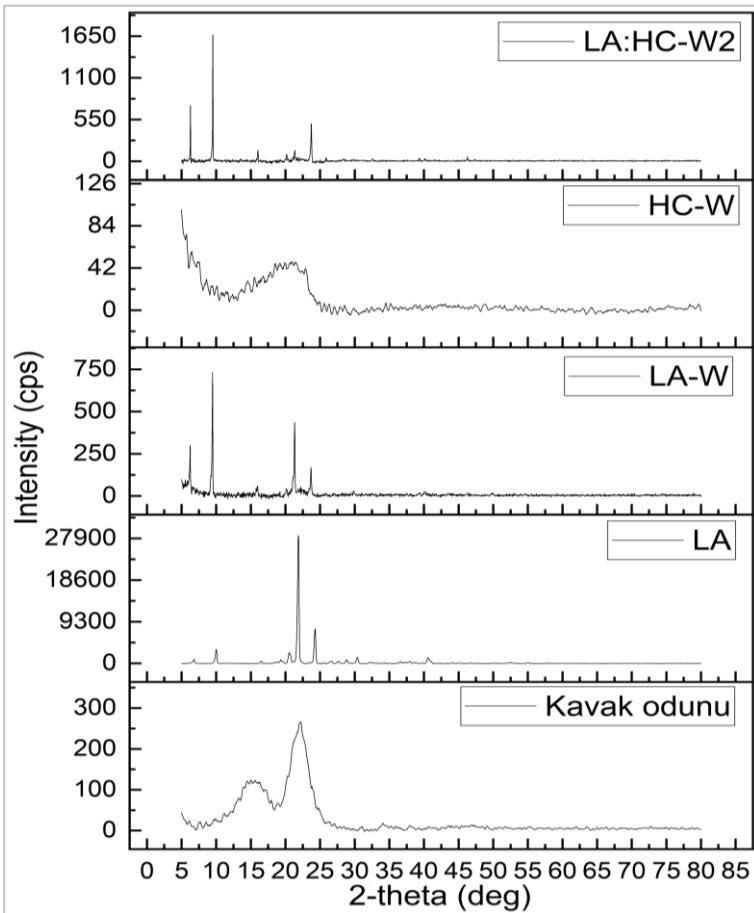
Şekil 2. Laurik asit (LA) ve hindistan cevizi yağı (HC)'e ait DSC grafikleri



Şekil 3. LA ve HC ile emprenye edilen test örneklerinin DSC grafiği

Laurik asit 44.42 °C’de ve hindistan cevizi yağı ise 21.42 °C sıcaklıkta erime gösterirken, 38.84 °C ve 4.77 °C sıcaklıkta donma entalpisi sergilemişlerdir. Elde edilen sonuçlar literatür ile benzerlik göstermiştir (Chinnasamy ve Appukuttan, 2019; Safira vd. 2020). Odun örneklerinin faz değişim malzemeleri ile empenye işlemi, örneklerin termal depolama özelliklerini etkilemiştir. LA örneklerinin gizli ısı değeri 207.82 J/g iken, LA-W örneklerinde 42.86 J/g, ve LA:HC-W örneklerinde 3.39 J/G olarak hesaplanmıştır. Erime sıcaklığı LA-W örneklerinde 44.57 °C, HC-W için 20.75 °C, ve LA:HC-W için 32.12 °C olarak ölçülmüştür. Örneklerin donma sıcaklığı ise LA-W için 38.56 °C, HC-W için 8.06 °C, ve LA:HC-W için 29.65 °C olarak ölçülmüştür. LA içerisinde HC katılmasıyla hazırlanan karışım LA maddesinin erime ve katılma sıcaklığını düşürerek konfor sıcaklığına (24 °C)daha yakın bir sıcaklık elde edilmiştir.

Kristal Yapı Analizi (XRD Analizleri); XRD analiz sonuçlarına göre, kavak odun örneğinin sadece 17° ve 21°’de pik yaptığı gözlenmiştir (Şekil 4), bu odun örneklerinin belirli bir kristal yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Öte yandan, laurik asit maddesinde 5°, 8°, 14°, 21°, 24° ve 40°’de kristal ve amorf pikler gözükmektedir. Bu laurik asidin daha karmaşık bir kristal yapıya sahip olduğunu, özellikle 21° ve 24°’deki piklerin belirginliğinin dikkat çekici olduğunu göstermektedir. LA:HC-W2’nin XRD spektrumu, LA, HC ve odun örneklerinin piklerinin birleşimi olarak yorumlanabilir; bu, LA:HC-W2’nin LA ve HC karışımından kaynaklandığını ve bu iki bileşiğin özelliklerini birleştirdiğini göstermektedir. Özellikle, LA:HC-W2’nin 5°, 8° ve 24°’de güçlü pikler, bu karışımın belirli bir LA:HC yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

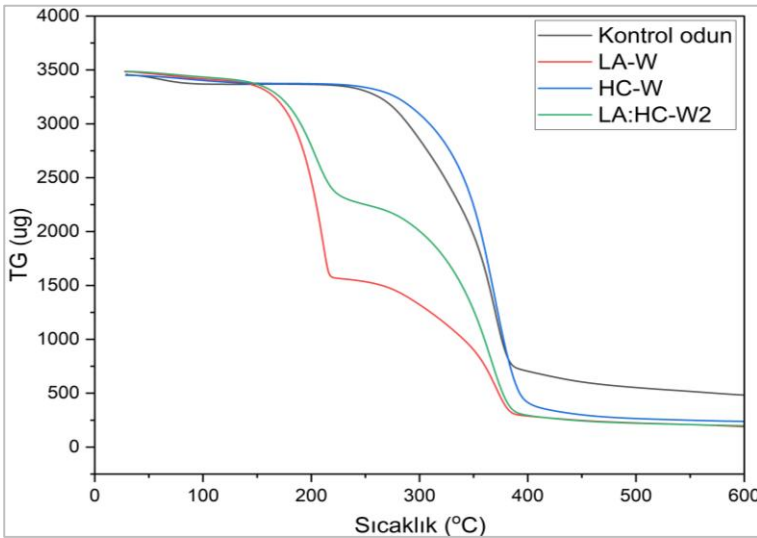


Şekil 4. Kavak kontrol ve test örneklerinin XRD grafiği

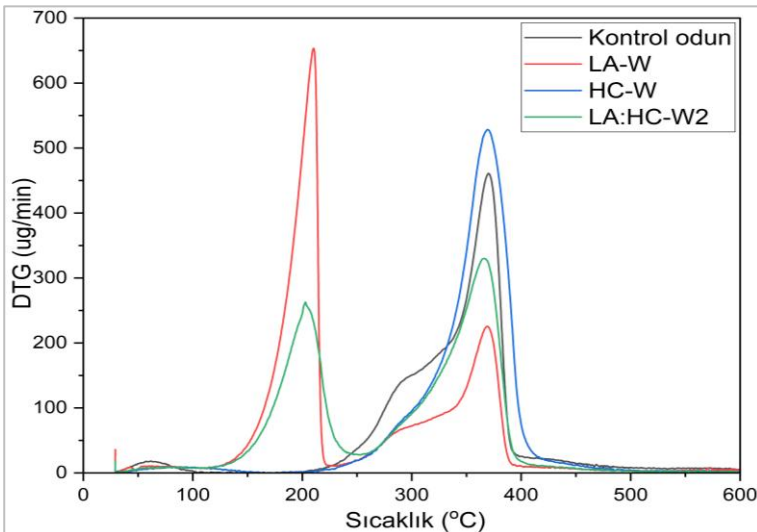
Termogravimetrik analiz (TG) sonuçlarına göre, 56–150 °C aralığında tüm numunelerde ağırlık kaybı gözlemlenmiş olup, bu kayıp numunelerdeki nem ve adsorbe edilmiş suyun uzaklaştırılmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ana ayrışma süreci 176–400 °C aralığında gerçekleşmiş, LA-W numunesinde ağırlık kaybının 200 °C’den sonra hızlandığı ve daha düşük sıcaklıklarda tamamlandığı belirlenmiştir. Bu durum, laurik asidin odun ile

kimyasal bir bağ oluşturmadan fiziksel olarak tutulduğunu göstermektedir. HC-W numunesi tek aşamada bozunmuş ve kontrol odununa benzer bir ayrışma eğrisi göstermiştir, bu da hindistan cevizi yağının odunla birlikte bozunduğunu ve ısıya karşı daha stabil bir yapı sergilediğini düşündürmektedir. LA:HC-W2 numunesinde bozunma iki aşamada gerçekleşmiş, ilk aşamada (~200 °C) LA'nin, ikinci aşamada (~350 °C) ise odun ve HC'nin bozunduğu belirlenmiştir. Genel olarak, HC içeren numuneler, LA içeren numunelere kıyasla daha yüksek sıcaklıklarda parçalanarak termal dayanıklılık açısından daha iyi bir performans sergilemiştir.

Diferansiyel termogravimetri (DTG) analizinde, 150–440 °C aralığında iki farklı ayrışma tepe noktası gözlemlenmiştir. İlk tepe (~200 °C), özellikle LA içeren numunelerde belirgin olup, laurik asidin erken bozunduğunu göstermektedir. İkinci tepe (~350 °C) ise odun ve HC'nin ayrışmasını temsil etmektedir ve HC içeren numunelerde bu tepe kontrol odununa yakın olup, HC'nin termal dayanıklılığı açısından odunla benzer davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır. LA-W numunesinde yaklaşık 200 °C'de büyük bir DTG tepe noktası gözlemlenirken, HC-W numunesinde yaklaşık 350 °C'de daha belirgin bir tepe görülmüştür. LA:HC-W2 numunesinde ise her iki sıcaklıkta belirgin tepe noktaları bulunmuş, bu da her iki bileşenin bağımsız olarak bozunduğunu ve odunla kimyasal etkileşime girmediğini göstermiştir. Sonuç olarak, laurik asidin düşük sıcaklıklarda bozunması, LA içeren empenyeli odun numunelerinin termal kararlılığını olumsuz yönde etkilerken, hindistan cevizi yağının odun ile benzer sıcaklıklarda bozunması, ısı karşısında daha stabil bir yapı sunduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Kontrol ve test örneklerinin TG grafiği



Şekil 6. Kontrol ve test örneklerinin DTG grafiği

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, biyokökenli organik faz değişim malzemeleriyle (FDM) emprenye edilen kavak odununun enerji depolama özellikleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Hindistan cevizi yağı (HC) ve laurik asit (LA) kullanılarak hazırlanan FDM karışımlarının, odun örneklerine emprenye işlemi sonrasında kimyasal bir değişime neden olmadan fiziksel bir etkileşim sağladığı ve enerji depolama kapasitelerini optimize ettiği belirlenmiştir. FTIR, DSC, XRD ve TGA analiz sonuçları, HC'nin yüksek termal dayanıklılık ve enerji depolama kapasitesi sunduğunu, LA:HC karışımının ise erime ve donma sıcaklıklarını optimize ederek konfor sıcaklıklarına daha uygun bir çözüm sunduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çevre dostu ve enerji verimli yapı malzemelerinin geliştirilmesinde FDM'lerin önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı biyokökenli faz değişim malzemeleri ve emprenye yöntemleri kullanılarak ahşap malzemelerin işlevselliğinin daha da artırılması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, 2209-1919B012301579 Proje numarası altında Türkiye Bilimsel ve Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından finanse edilmiştir. Eda Zorlu lisans öğrencisidir ve proje yürütücüsü olarak görev yapmıştır.

Yazar Katkıları

Eda Zorlu: Veri toplamış, Analizi planlamış ve tasarlamıştır. Makaleyi yazmıştır.

Ahmet Can: Veri toplamış ve analizini yapmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Agyenim, F., Hewitt, N. J., Eames, P., & Smyth, M. (2010). A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 615–628. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.015>
- Amiri, A., Ottelin, J., Sorvari, J., & Junnila, S. (2020). Cities as carbon sinks—classification of wooden buildings. *Environmental Research Letters*, 15(9), 094076. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba134>
- Can, A. (2023). Preparation, characterization, and thermal properties of microencapsulated palmitic acid with ethyl cellulose shell as phase change material impregnated wood. *Journal of Energy Storage*, 66, 107382. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107382>
- Can, A., & Žigon, J. (2022). n-Heptadecane-impregnated wood as a potential material for energy-saving buildings. *Forests*, 13(12), 2137. <https://doi.org/10.3390/f13122137>
- Chinnasamy, V., & Appukuttan, S. (2019). Preparation and thermal properties of lauric acid/myristyl alcohol as a novel binary eutectic phase change material for indoor thermal comfort. *Energy Storage*, 1(5), e80. <https://doi.org/10.1002/est2.80>
- Falk, R. H. (2009). Wood as a sustainable building material. *Forest Products Journal*, 59(9), 6–12. Erişim Linki: <https://research.fs.usda.gov/treesearch/37431>
- Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., Carter, E. A., Fuss, S., MacDowell, N., Minx, J. C., Smith, P., & Williams, C. K. (2019). The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal. *Nature*, 575(7781), 87–97. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1681-6>
- Liang, J., Zhimeng, L., Ye, Y., Yanjun, W., Jingxin, L., & Changlin, Z. (2018). Fabrication and characterization of fatty acid/wood-flour composites as novel form-stable phase change materials for thermal energy storage. *Energy and Buildings*, 171, 88–99. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.044>
- Ma, L., Guo, C., Ou, R., Sun, L., Wang, Q., & Li, L. (2018). Preparation and characterization of modified porous wood flour/lauric-myristic acid eutectic mixture as a form-stable phase change material. *Energy & Fuels*, 32, 5453–5461. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b03933>
- Ma, L., Wang, Q., & Li, L. (2019). Delignified wood/capric acid-palmitic acid mixture stable-form phase change material for thermal storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 194, 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.02.026>

- Mohamad Amini, M. H., Temiz, A., Hekimoğlu, G., Köse Demirel, G., & Sarı, A. (2022). Properties of Scots pine wood impregnated with capric acid for potential energy saving building material. *Holzforschung*, 76(8), 744–753. <https://doi.org/10.1515/hf-2022-0007>
- Omer, M. A., & Noguchi, T. (2020). A conceptual framework for understanding the contribution of building materials in the achievement of sustainable development goals (SDGs). *Sustainable Cities and Society*, 52, 101869. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101869>
- Ramage, M. H., Burrige, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., & Allwood, J. (2017). The wood from the trees: the use of timber in construction. *Renew Sustain Energy Rev*, 68, 333–359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107>
- Safira, L., Putra, N., Trisnadewi, T., Kusriani, E., & Mahlia, T. M. I. (2020). Thermal properties of sonicated graphene in coconut oil as a phase change material for energy storage in building applications. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15(4), 629–636. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa018>
- Sari, A., Hekimoğlu, G., & Tyagi, V. V. (2020). Low-cost and eco-friendly wood fiber-based composite phase change material: Development, characterization and lab-scale thermoregulation performance for thermal energy storage. *Energy*, 195, 116983. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116983>
- Sari, A., Karaipekli, A., & Alkan, C. (2009). Preparation, characterization and thermal properties of lauric acid/expanded perlite as novel form-stable composite phase change material. *Chem Eng J*, 155, 899–904. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.005>
- Sharma, A., Tyagi, V., Chen, C., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 318–345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005>
- Tatsidjodoung, P., Le Pierrès, N., & Luo, L. (2013). A review of potential materials for thermal energy storage in building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 327–349. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.025>
- Temiz, A., Hekimoğlu, G., Köse Demirel, G., & Sarı, A. (2020). Phase change material impregnated wood for passive thermal management of timber buildings. *International Journal of Energy Research*, 44, 10495–10505. <https://doi.org/10.1002/er.5679>
- Toppinen, A., Röhr, A., Pätäri, S., Lähtinen, K., & Toivonen, R. (2018). The future of wooden multistory construction in the forest bioeconomy—a Delphi study from Finland and Sweden. *Journal of Forest Economics*, 31, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2017.05.001>
- Wen, B., Musa, S. N., Onn, C. C., Ramesh, S., Liang, L., Wang, W., & Ma, K. (2020). The role and contribution of green buildings on sustainable development goals. *Building and Environment*, 185, 107091. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107091>
- Xie, N., Huang, Z., Luo, Z., Gao, X., Fang, Y., & Zhang, Z. (2017). Inorganic salt hydrate for thermal energy storage. *Applied Sciences*, 7(12), 12. <https://doi.org/10.3390/app7121317>
- Yang, H., Wang, Y., Liu, Z., Liang, D., Liu, F., Zhang, W., Di, X., Wang, C., Ho, S. H., & Chen, W. H. (2017). Enhanced thermal conductivity of waste sawdust-based composite phase change materials with expanded graphite for thermal energy storage. *Bioresource and Bioprocessing*, 4, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0182-4>
- Yang, H., Wang, Y., Yu, Q., Cao, G., Yang, R., Ke, J., Di, X., Liu, F., Zhang, W., & Wang, C. (2018). Composite phase change materials with good reversible thermochromic ability in delignified wood substrate for thermal energy storage. *Applied Energy*, 212, 455–464. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.006>
- Yunus, W. M. M., Fen, Y. W., & Yee, L. M. (2009). Refractive index and Fourier transform infrared spectra of virgin coconut oil and virgin olive oil. *American Journal of Applied Sciences*, 6(2), 328. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2009.328.331>
- Zhu, Y., Wang, W., & Cao, J. (2014). Improvement of hydrophobicity and dimensional stability of thermally modified southern pine wood pretreated with oleic acid. *BioResources*, 9(2), 2431–2445. <https://doi.org/10.15376/biores.9.2.2431-2445>