



Comparison of Energy Storage Capacities of Biochar/Phase Change Material Composites Produced at Different Pyrolysis Maximum Temperatures

Bedrettin Coşkun^{1,a,*}, Ümit Nazlı Temel^{1,b}

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Türkiye.

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 10/12/2024

Accepted: 17/12/2024

ABSTRACT

Biochars can be considered as effective base materials for Phase Change Material (PCM)/biochar composites due to their high surface area and porous structures. Shape-stable PCM/biochar composites produced in this way have the potential to be used in various applications such as energy storage and thermal protection. The maximum surface area, pore sizes, and distributions of biochars produced through pyrolysis vary according to parameters such as maximum pyrolysis temperature, heating rate, and holding time. In this study, the effects of maximum pyrolysis temperature on biochar porosity were evaluated in terms of the amount of PCM impregnated into the pores. For this purpose, biochars were obtained from naturally sourced poplar sawdust using different pyrolysis maximum temperatures. Biochar/PCM composites were created by impregnating PCM into the biochar pores using the vacuum impregnation method. The heat storage capacities of Biochar/PCM composites were determined by Differential Scanning Calorimetry. The results showed that as the pyrolysis maximum temperature decreased, the energy storage capacities of Biochar/PCM composites increased.

Keywords: Biochar, Latent heat, PCM, Pyrolysis.

Farklı Piroliz Maksimum Sıcaklıklarında Üretilen Biyokömür/Faz Değiştiren Malzeme Kompozitlerinin Enerji Depolama Kapasitelerinin Karşılaştırılması

ÖZ

Biyokömürler, yüksek yüzey alanı ve gözenekli yapıları sayesinde, Faz Değiştiren Malzeme (FDM)/biyokömür kompozitleri için etkili bir taban malzemesi olarak değerlendirilebilirler. Bu şekilde üretilen şekil kararlı FDM/biyokömür kompozitleri, enerji depolama ve termal koruma gibi farklı uygulamalarda kullanılma potansiyeline sahiptirler. Piroliz yoluyla üretilen biyokömürlerin maksimum yüzey alanı, gözenek boyutları ve dağılımları; maksimum piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı ve bekleme süresi gibi parametrelere göre değişmektedir. Bu çalışmada maksimum piroliz sıcaklığının biyokömür gözenekliliği üzerindeki etkileri, gözenekler içerisine emdirilen FDM miktarı açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla doğadan elde edilen kavak talaşından, farklı piroliz maksimum sıcaklıkları kullanılarak biyokömürler elde edilmiştir. Elde edilen biyokömür gözeneklerine vakum emdirme yöntemiyle FDM emdirilerek Biyokömür/FDM kompozitleri oluşturulmuştur. Biyokömür/FDM kompozitlerinin ısı depolama kapasiteleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre ile belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, piroliz maksimum sıcaklığının düşmesi ile Biyokömür/FDM kompozitlerinin enerji depolama kapasitelerinin arttığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, FDM, Gizli ısı, Piroliz

Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

^a coskun@cumhuriyet.edu.tr

^b 0000-0002-5344-1024

^b untemel@cumhuriyet.edu.tr

^b 0000-0001-5053-5124

How to Cite: Coşkun B, Temel ÜN (2024) Comparison of Energy Storage Capacities of Biochar/Phase Change Material Composites Produced at Different Pyrolysis Maximum Temperatures, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 228-235

Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu olmaları ve sürdürülebilir enerji üretme kapasiteleri sayesinde genellikle olumlu bir bakış açısıyla ele alınmaktadır. Ancak her enerji kaynağının kendine özgü avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en belirgin dezavantajları, atmosfer koşullarına olan bağımlılıkları ve üretimlerinin kesintili bir yapıya sahip olmasıdır. Örneğin, rüzgâr her zaman esmediği gibi güneş de her zaman görünmez. Bu durum, enerji üretiminde dalgalanmalara ve değişkenliklere yol açmaktadır. Ayrıca bu tip enerji kaynaklarının enerji arzı ve talebinin zamanlaması arasında genellikle bir uyumsuzluk vardır. Örneğin, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında enerjinin gündüz üretildiği ancak üretilen bu enerjiye geceleri daha fazla ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir. Buna ilave olarak ülkeler, enerji arzlarını çeşitlendirmek ve enerji güvenliğini artırarak dışa bağımlılığı önlemek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını etkili bir şekilde kullanmak ise verimli depolama çözümlerini gerektirmektedir.

Çeşitli enerji depolama yöntemleri arasında; yüksek enerji yoğunluğu, depolama kapasitesi, çevrim ömrü, verimliliği, maliyet etkinliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle termal enerji depolama yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir. Depolama kapasitesi, maliyet avantajı ve yüksek enerji yoğunluğu gibi ölçütler, gizli ısı termal enerji depolama yöntemini popüler bir seçenek olarak karşımıza çıkarmaktadır. Bu yöntem; enerji bulunabilirliğindeki dalgalanmalar ile mücadele etmede, enerji talebini dengelemede ve enerji verimliliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Gizli ısı depolama yöntemi, faz değişimi süreci (şarj) sırasında harici bir kaynaktan enerji emme ve ters faz değişimi (deşarj) sırasında depoladığı enerjiyi geri verme ilkesine göre çalışmaktadır. Gizli ısı enerji depolama yöntemleri, güneş enerjisi sistemleri, endüstriyel süreçler ve elektrik üretimi gibi çeşitli alanlarda enerji depolama ihtiyaçlarını karşılamak için önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda, yüksek miktarda gizli ısı enerjisi depolama kapasitesine sahip faz değiştiren malzemeler (FDM), termal enerji depolama sistemlerinde en çok tercih edilen seçeneklerden biri haline gelmiştir. Bu malzemeler, belirli sıcaklık aralıklarında katıdan sıvıya veya sıvıdan gazı geçerek enerji depolama ve salınımını etkin bir şekilde gerçekleştirmektedir. Böylece, enerji talebinin yüksek olduğu dönemlerde depolanan enerjiyi serbest bırakma ve enerji ihtiyacını karşılamada etkili bir çözüm sunmaktadır. Faz değiştiren malzemelerin bu özelliği, özellikle güneş enerjisi gibi doğrudan ve kesintili enerji kaynaklarından gelen enerjiyi uzun süreli depolamak için idealdir. Termal enerji depolama sistemleri, bu malzemelerin sahip olduğu yüksek gizli ısı kapasitesinden faydalanarak, enerjiyi verimli bir şekilde saklayabilmekte ve gerektiğinde enerjiye dönüştürebilmektedir. Bu nedenlerle, faz değiştiren malzemeler modern enerji sistemlerinin geliştirilmesinde büyük bir öneme sahiptir.

Literatürde, katıdan sıvıya faz değişimi gösteren organik faz değiştiren malzemelerin (FDM) bina bileşenlerinde kullanılabilir olduğu görülmektedir. Faz değiştiren malzemelerin kullanımı ile binaların pasif ısıtılması ve soğutulmasında enerji tasarrufu sağlanarak ulusal ekonomiye katkıda bulunulabilir [1,2]. Örneğin kış aylarında, yapı bileşenlerinin bünyesinde barındırdığı FDM'ler binadan kaçan ısıyı emerek iç mekan sıcaklık düşüşlerini azaltabilir ve depolanan ısıyı tekrar içeriye vererek ısıtma talebini en aza indirebilir. Tersine, yaz aylarında yapı bileşenlerinin bünyesinde barındırdığı FDM'ler dışarıdan gelen fazla ısıyı emerek dış mekan sıcaklık iletimini düşürebilir ve ısıyı dışarıya vererek soğutma talebini azaltabilir. Bu mekanizma, iç mekan sıcaklıklarının daha uzun süreler boyunca konfor şartlarında kalmasını sağlayarak hem sıcak hem de değişen iklim koşullarının etkisini etkili bir şekilde azaltır. Böylece sıcak ve soğuk iklimlerde iç ortam konfor sıcaklıklarının daha uzun süre korunması mümkün olabilir. FDM kompozitleri; gözenekli destekleyici malzemeler, küçük gözenekli karbonlar, metal süngerler ve mineraller gibi çeşitleri içermektedir. Ancak bu malzemelerin sentezi, çevresel etkileri ve ekonomik zorluklar, pratik uygulamalarda sınırlamaları da beraberinde getirir. Biyokömür; yüksek sıcaklıkta biyokütlenin termokimyasal ayrışması sonucu elde edilen, düşük ağırlıklı, yüksek gözenekliliğe ve homojen yapıya sahip, karbonca zengin bir üründür ve bu zorlukları aşmak için uygun bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Biyokömürün yapısı ve özellikleri, piroliz ve aktivasyon koşullarının değiştirilmesiyle özelleştirilebilir. Fabiani vd. ve Jeon vd. [3,4], vakumlu emdirme yöntemiyle biyokömürü ve hindistancevizi yağını birleştirerek termal enerji depolama için tasarlanmış biyokompozitlerin (LHSBC) özelliklerini araştırmışlardır. Atinafu vd. [5], çalışmalarında faz değiştiren malzemelerin enerji depolamadaki potansiyelini vurgulamalarının yanı sıra sıvı sızıntısı ve yetersiz ısı transferi gibi zorluklara dikkat çekerek FDM kapsüllemesi için karbon temelli malzemelerin kullanımına dikkat çekmişlerdir. Chen vd. [6], polietilen glikol (PEG) matrisi olarak basit bir piroliz yöntemiyle üretilen badem kabuğu biyokömürü (ASB) kullanılan yeni bir şekil-stabil kompozit faz değiştiren malzeme geliştirmişlerdir. Lv vd. [7], çalışmalarında farklı kimyasal reaktiflerin (ZnCl₂, KOH vs.) biyokömür yüzeyleri üzerindeki etkilerini incelemişler ve bunları parafin, polietilen glikol gibi organik FDM'lerle birleştirerek aktifleştirilmiş biyokömür kompozitleri elde etmişlerdir. Bulguları, bu reaktiflerin biyokömürün termal özelliklerini, gözenekliliğini ve yüzey alanını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Atinafu ve diğerleri [8], çalışmalarında üç tür biyokömür (SS, MS ve OS) kullanarak bu biyokömürlerin organik FDM'leri kapsüllemesindeki rollerini ve enerji depolama performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Xiong ve ark. [9], sarımsak sapı biyokömürüne termal enerji depolama amacıyla kullanılan parafin mumu bazlı bir FDM emdirilerek elde edilen kompozitin termal iletkenlik değişimlerini incelemişlerdir.

700 °C'de üretilen biyokömür mikropartiküllerinin üç boyutlu ağları ve iki boyutlu pul benzeri yapıları nedeniyle parafin mumunda ek ısı transfer yollarının oluştuğunu belirtmişlerdir. Jeon ve ark. [10], çalışmalarında yapı malzemelerinin enerji performansını artırmak için biyokömür kompozitlerinin ve faz değişim malzemelerinin entegrasyonunu araştırmışlardır. Çalışmalarında pirinç kabuğundan elde ettikleri biyokömürü, azot gazı atmosferinde (100 mL/dak) 450 °C'de 2 saat boyunca 7 °C/dak ısıtma hızıyla bir kül fırınında pirolize etmişlerdir. (LHSBC) biyokompozitleri, dört farklı biyobazlı faz değiştiren malzemenin (SW, PW, PO ve CO) biyokömürlere vakum emdirme yöntemi uygulanmasıyla oluşturulmuştur. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DTK) analizi ile üretilen kompozitlerin gizli ısı değerleri 70.08 J/g (RCO), 25.24 J/g (RPO), 92.13 J/g (RPW) ve 83.91 J/g (RSW) olarak ölçülmüştür. Zhao ve arkadaşları [11], termal enerji depolaması için Cyperaceae familyasındaki su kestanelerinden elde edilen yüksek gözenekli karbonların (HPC) üretimini yaparak termal performanslarını araştırmışlardır. Aktivatör olarak alüminyum hipofosfit (AP) kullanarak HPC'leri sentezlemişler ve yapısal özelliklerini değerlendirmek için 700-800 ve 900 °C kalsinasyon sıcaklıklarında analiz edilmişlerdir.

Literatürden anlaşılacağı üzere organik malzemelerin piroliz yöntemiyle biyokömür haline getirilerek vakum emdirme işlemi ile FDM emdirilmesi sonucunda meydana gelen kompozitlerin daha fazla gizli ısı depolayabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada piroliz parametrelerden biri olan ısıtma sıcaklığı parametresi göz önünde bulundurularak farklı piroliz koşullarında hammadde olarak kavak talaşı kullanılmış ve biyokömür üretimi yapılmıştır. Üretilen kavak talaşı biyokömürlerinin gözeneklerine Rubitherm® Technologies RT-28HC FDM' si emdirilerek elde edilen kompozit malzemelerin gizli ısı depolama kapasiteleri ölçülmüş ve ısıtma sıcaklığı parametresinin enerji depolama kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Materyal metod

Biyokömür sentezi için ham madde olarak doğada bol miktarda bulunan kavak talaşı tercih edilmiştir. Kavak talaşı, biyokömür sentezinden önce öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütülmüş kavak talaşı, kademeli elekler ile elenerek 600 µm boyutuna getirilmiştir (Resim 1).

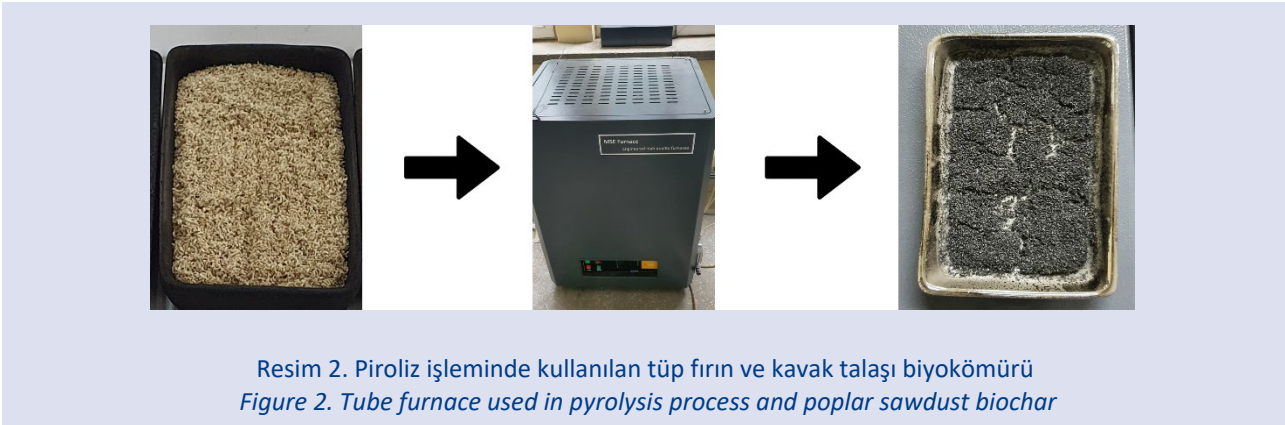


Resim 1. Kavak talaşı 600 µm boyutuna kadar elenmiştir.
Figure 1. Poplar sawdust sieved to a size of 600 µm.

Biyokömür üretimi

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda farklı gaz atmosferlerinde (örneğin, azot veya argon gibi inert gazlar) yüksek sıcaklıklar altında işlenmesiyle yapılan kimyasal bir dönüşüm işlemidir. Piroliz sırasında, organik

malzemelerin termal olarak ayrışması sonucu, gazlar, sıvılar ve katı ürünler (biyokömür) ortaya çıkmaktadır. Bu süreç, genellikle 300°C ile 900°C arasında bir sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir [12]. Biyokömür; karbon oranı yüksek, yoğunluğu düşük ve gözenekli bir malzemedir.



Resim 2. Piroliz işleminde kullanılan tüp fırın ve kavak talaşı biyokömürü
Figure 2. Tube furnace used in pyrolysis process and poplar sawdust biochar

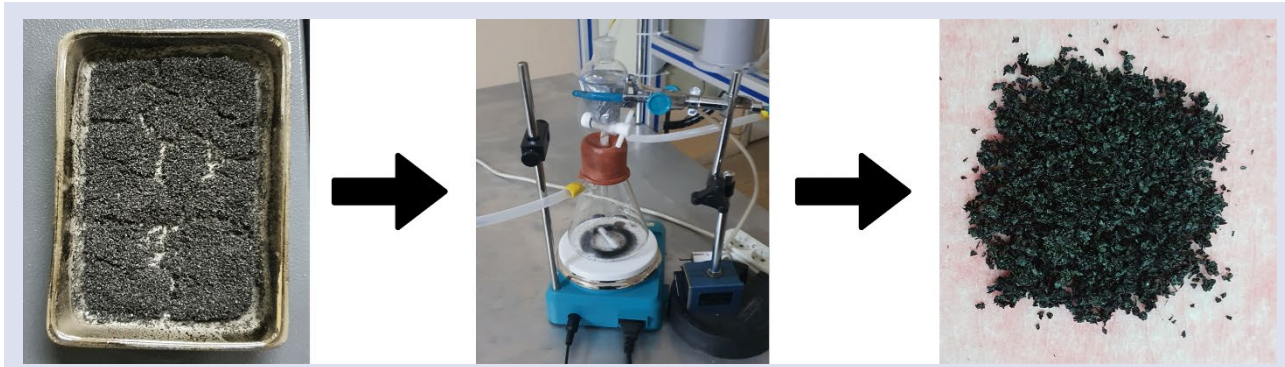
Vakum emdirme yöntemi ile biyokömürün gözeneklerine FDM emdirme işlemi öncesinde, kavak talaşı öğütülerek 600 µm boyutuna getirilmiştir. Daha sonrasında Resim 2'de gösterilen tüp fırın kullanılarak ve azot gazı atmosferinde piroliz işlemi gerçekleştirilerek 50 ml/dk gaz akışıyla kavak talaşı biyokömürü elde edilmiştir.

Kavak talaşının biyokömüre dönüştürülmesi, 10°C/dakika ısıtma hızı, 700 °C maksimum sıcaklık ve tepe sıcaklığında 60 dakikalık tutma süresi gibi belirli piroliz koşulları altında gerçekleştirilmiştir. RT-28/kavak talaşı biyokömürünün gizli ısı özelliklerini geliştirmek için, değiştirilebilir piroliz koşullarının malzemenin gözenekliliği üzerindeki etkisinin araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla, kavak talaşı için maksimum piroliz sıcaklığı parametresi değiştirilerek biyokömürler sentezlenmiştir. Sentezlenen biyokömürler, RT-28/kavak talaşı biyokömür kompozitleri üretmek için vakum emdirme işlemi yoluyla RT-28 ile birleştirilmiştir. Bu kompozitler, Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DTK) kullanılarak karakterize edilmiştir. Piroliz işlemleri, 10°C/dakika sabit ısıtma hızı ve 60 dakikalık bekleme süresi korunarak, 700-600-500-400

ve 300 °C maksimum ısıtma sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir.

Vakum Emdirme

Kavak talaşının biyokömüre dönüştürüldüğü piroliz işleminin ardından, RT-28 faz değiştiren malzemesi vakum emdirme yöntemi kullanılarak biyokömürün gözeneklerine hapsedilmiştir (mikrokapsülleme). Resim 3'te gösterilen düzenek aracılığıyla vakum emdirme işlemi uygulanmıştır. Emdirme işlemi uygulanmadan önce, 600 µm boyutuna kadar öğütülen kavak talaşı, içindeki olası nemin giderilmesi amacıyla 105 °C sıcaklıktaki bir fırında 24 saat boyunca kurutulmuştur. Bu işlem, biyokömürün gözeneklerine faz değiştiren malzemenin daha etkin bir şekilde hapsedilmesine olanak sağlamıştır. Vakum pompası, 0.7 bar basınç altında çalıştırılmış ve erlen içerisine yerleştirilen manyetik karıştırıcı ile kavak biyokömürü/RT-28 kompoziti, 1000 devir/dakika hızında homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Bu işlem ile sıvı RT-28'in malzemenin mikro gözeneklerine hapsedilerek mikrokapsülleme sürecinin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.



Resim 3. Vakum emdirme işlemi
Figure 3. Vacuum impregnation process

Erlenden çıkarılan RT-28/organik madde kompozitleri, sıvı FDM fazlalığından arındırılmak için öncelikle süzülmüştür. Daha sonra süzülen kompozitler bir filtre kağıdına koyulmuş ve kompozit yüzeyinde bulunan RT-28'i uzaklaştırmak için 30°C' sıcaklıktaki bir fırında 12 saat

bekletilmiştir. Bu işlem, filtre kağıdında sızıntı kalmayana kadar devam ettirilmiş ve böylelikle sızdırmazlık testi gerçekleştirilerek organik malzeme yüzeyinde RT-28 kalmadığı doğrulanmıştır (Resim 4).



Resim 4. RT-28/biyokömür kompozit malzemesindeki FDM'nin biyokömür yüzeyinden arındırılması
Figure 4. Removal of FDM from biochar surface in RT-28/ biochar composite material

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DTK) Ölçümleri

RT-28, RT-28/kavak talaşı ve elde edilen RT-28/kavak talaşı biyokömür kompozitlerinin erime sıcaklığı, katılma sıcaklığı ve gizli ısı özellikleri, Shimadzu (Japonya) tarafından üretilen DSC-60 diferansiyel taramalı

kalorimetre (DTK) cihazı ile ölçülmüştür (Resim 5). Bu ölçümünde ısıtma hızı, dakikada 0.5 °C olarak ayarlanmıştır. Ölçümler sonucunda örneklerin erime başlangıç sıcaklığı (T_{eb}), erime sonlanma sıcaklığı (T_{es}), erime pik (T_{ep}) ve erime gizli ısı değeri (He) belirlenmiştir.

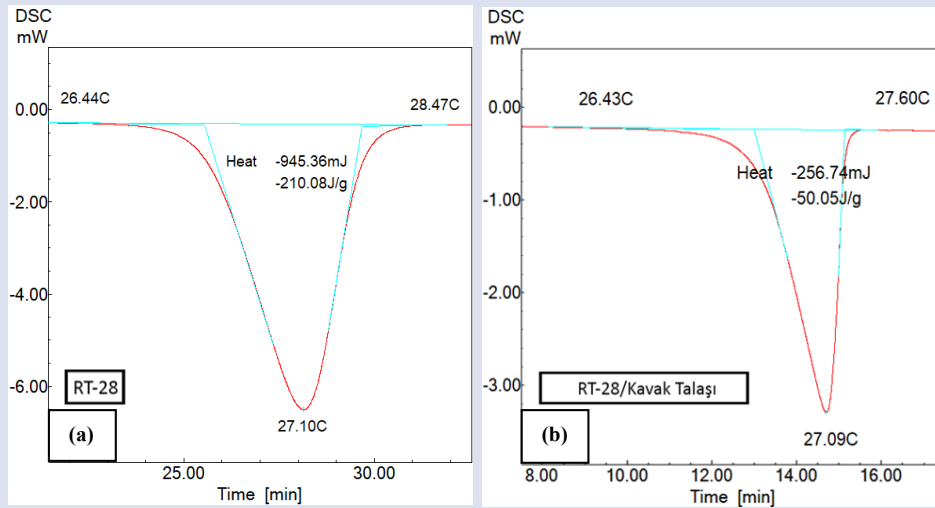


Resim 5. DTK ölçümü
Figure 5. DTK measurement

Termal karakterizasyon sonuçları

Öncelikle RT-28 organik faz değiştiren malzemenin ve RT-28/kavak talaşı kompozit malzemesinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DTK) özellikleri belirlenmiştir

(Resim 6). Maksimum piroliz sıcaklığının 700 °C olarak belirlenmesi durumunda RT-28/Kavak talaşı biyokömür kompoziti için T_{eb} , T_{ep} ve T_{es} sıcaklıkları sırasıyla 26.19 °C, 26.97 °C ve 27.50°C olarak ölçülmüştür (Resim 6). Aynı koşullar altında erime gizli ısısı ise 75.12 J/g olarak belirlenmiştir.

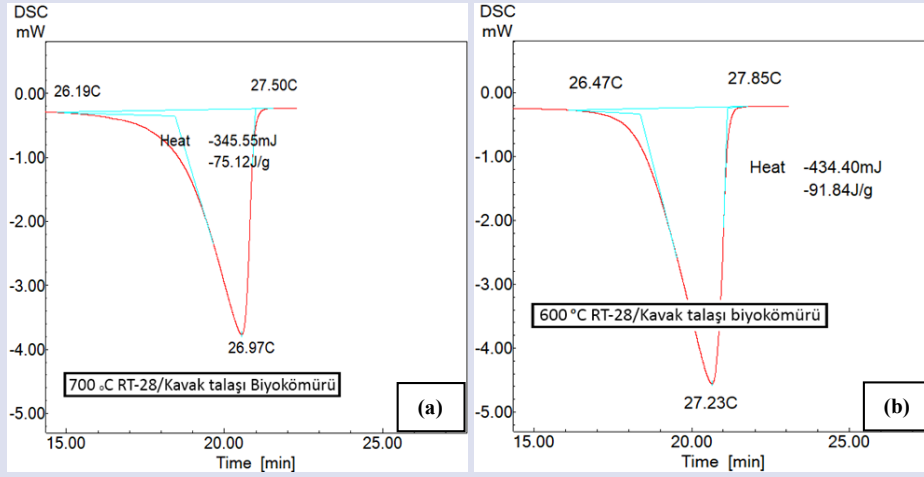


Resim 6. RT-28 (a) ve RT-28/kavak talaşı kompoziti (b) için endoterm eğrileri
Figure 6. Endotherm curves for RT-28 (a) and RT-28/poplar sawdust composite (b)

Maksimum sıcaklığın 600 °C'ye düşürülmesi durumunda RT-28 emdirilen kavak talaşı biyokömür kompoziti için T_{eb} , T_{ep} , T_{es} ve H_e değerleri sırasıyla 26.47 °C, 27.23 °C, 27.85 °C ve 91.84 J/g olarak ölçülmüştür (Resim 7). Görüleceği üzere 600 °C piroliz sıcaklığı ile elde edilen

biyokömüre RT-28 emdirilerek elde edilen biyokompozitin, 700 °C piroliz sıcaklığında üretilen biyokömüre emdirilmiş RT-28 ile elde edilen kompozite kıyasla gizli ısı enerji depolama kabiliyetinin yaklaşık olarak %22.3 oranında arttığı belirlenmiştir.

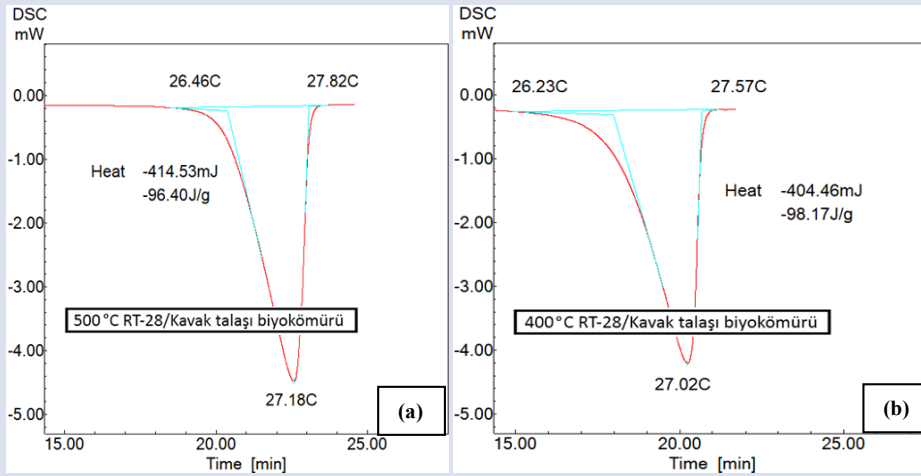
Piroliz işleminin maksimum sıcaklığının 500 °C'ye ayarlanması halinde sentezlenmiş olan kavak biyokömürü



Resim 7. 700 °C (a) ve 600 °C (b) RT-28/kavak talaşı kompoziti için endoterm eğrileri
Figure 7. 700 °C (a) and 600 °C (b) endotherm curves for RT-28/poplar sawdust composite

için T_{eb} , T_{ep} , T_{es} ve H_e değerleri sırasıyla 26.46 °C, 27.18 °C, 27.82 °C ve 96.40 J/g olarak ölçülmüştür. 500 °C sıcaklıkta üretilen biyokömüre RT-28 emdirilmesi ile elde edilen biyokömürün; 700 °C piroliz sıcaklığında üretilerek RT-28 emdirilmesiyle elde edilen kompozite göre % 28,3, 600 °C

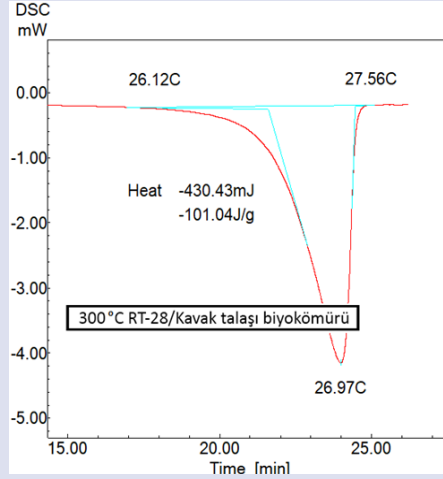
piroliz sıcaklığında üretilen kompozite göre de %4 oranında daha fazla gizli ısı depolama kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Benzer biçimde maksimum piroliz sıcaklığı 400 °C olan RT-28/Kavak talaşı biyokömür kompoziti için için T_{eb} , T_{ep} ve T_{es} sıcaklıkları sırasıyla 26.23 °C, 27.02 °C ve 27.57 °C olarak ve erime gizli ısıya ise 98.17 J/g olarak ölçülmüştür (Resim 8).



Resim 8. 500 °C (a) ve 400 °C (b) RT-28/kavak talaşı kompoziti için endoterm eğrileri
Figure 8. 500 °C (a) and 400 °C (b) endotherm curves for RT-28/poplar sawdust composite

Son olarak 300 °C sıcaklıkta üretilen RT-28/kavak talaşı kompoziti için gerçekleştirilen DTK ölçümleri sonucunda T_{eb} , T_{ep} ve T_{es} sıcaklıklarının sırasıyla 26.12 °C, 26.967 °C ve 27.56 °C olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte 300 °C RT-28/kavak talaşı kompoziti için elde edilen H_e değeri 101.04 J/g olarak ölçülmüştür (Resim 9). Literatürde, biyokömür

sentezinin genellikle 300 °C'nin üzerinde gerçekleştiği belirtilmektedir. Daha düşük sıcaklıklarda biyokömür sentezi gerçekleştirilemediği için bu değer, biyokömür üretiminde alt sınır olarak kabul edilmekte ve süreç genellikle bu sıcaklıkların üzerinde yürütülmektedir.



Resim 9. 300 °C RT-28/kavak talaşı kompoziti için endoterm eğrileri
Figure 9. 300 °C Endotherm curves for RT-28/poplar sawdust composite

Elde edilen tüm ölçüm sonuçları Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. RT-28 faz değıştiren malzemesinin, RT-28/kavak talaşı kompozitinin ve farklı sıcaklık koşullarında piroliz edilen kavak biyokömürlerine RT-28 emdirilmesiyle elde edilen kompozitlerin DTK sonuçları.

Table 1. DTK results of RT-28 phase change material, RT-28/poplar sawdust composite and composites obtained by impregnating RT-28 to poplar biochar pyrolysed at different temperature conditions.

Malzeme	T_{eb} (°C)	T_{ep} (°C)	T_{es} (°C)	H_e (J/g)
RT-28	26.44	27.10	28.47	210.08
RT-28/Kavak talaşı	26.43	27.09	27.60	50.05
700 °C RT-28/Kavak talaşı biyokömürü	26.19	26.97	27.50	75.12
600 °C RT-28/Kavak talaşı biyokömürü	26.47	27.23	27.85	91.84
500 °C RT-28/Kavak talaşı biyokömürü	26.46	27.18	27.82	96.40
400 °C RT-28/Kavak talaşı biyokömürü	26.23	27.02	27.57	98.17
300 °C RT-28/Kavak talaşı biyokömürü	26.12	26.97	27.56	101.04

Sonuç

Maksimum piroliz sıcaklık değeri azaldıkça, biyokömürün yüzey alanı da azalmaktadır. Bu durum, biyokömür üzerindeki mikro gözenek oranının azalması ve buna karşılık mezo gözenek oranının artmasıyla bağlantılıdır [13]. Vakum emdirme işlemi esnasında, temas açısı ve yüzey gerilimi gibi faktörlere bağlı olarak faz değıştiren malzemenin mikro gözeneklere emdirilme işlemi daha da zor hale gelmektedir. Tam tersi olarak mezogözenekli yapılar korunduğunda ise vakum emdirme işleminin verimliliğinin arttığı söylenebilir. Sonuç olarak, piroliz maksimum sıcaklığının azalmasıyla birlikte biyokömür üzerindeki mezo gözeneklere daha fazla RT-28 emdirilmiş ve böylece üretilen kompozitlerin gizli ısı değeri %20-%35 arasında iyileşme sağlamıştır.

Referanslar

- [1] Wang, S. M., Matiašovský, P., Mihálka, P. and Lai, C. M. (2018). Experimental investigation of the daily thermal performance of a mPCM honeycomb wallboard. *Energy and Buildings*, 159, 419-425, doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.080.
- [2] Yao, C., Kong, X., Li, Y., Du, Y. and Qi, C. (2018). Numerical and experimental research of cold storage for a novel expanded perlite-based shape-stabilized phase change material wallboard used in building. *Energy conversion and management*, 155, 20-31, doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.052.
- [3] Fabiani, C., Santini, C., Barbanera, M., Giannoni, T., Rubino, G., Cotana, F., and Pisello, A. L. (2023). Phase change materials-impregnated biomass for energy efficiency in buildings: Innovative material production and multiscale thermophysical characterization. *Journal of Energy Storage*, 58, 106223, doi.org/10.1016/j.est.2022.106223.
- [4] Jeon, J., Park, J. H., Wi, S., Yang, S., Ok, Y. S., and Kim, S. (2019). Characterization of biocomposite using coconut oil impregnated biochar as latent heat storage insulation.

- Chemosphere, 236, 124269, doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.239.
- [5] Atinafu, D. G., Yun, B. Y., Wi, S., Kang, Y. and Kim, S. (2021). A comparative analysis of biochar, activated carbon, expanded graphite, and multi-walled carbon nanotubes with respect to PCM loading and energy-storage capacities. *Environmental Research*, 195, 110853, doi.org/10.1016/j.envres.2021.110853.
- [6] Chen, Y., Cui, Z., Ding, H., Wan, Y., Tang, Z., and Gao, J. (2018). Cost-Effective Biochar Produced from Agricultural Residues and Its Application for Preparation of High Performance Form-Stable Phase Change Material via Simple Method. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), doi.org/10.3390/ijms19103055.
- [7] Lv, L., Huang, S. and Zhou, H. (2024). Effect of introducing chemically activated biochar as support material on thermal properties of different organic phase change materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 264, 112617, doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112617.
- [8] Atinafu, D. G., Jin Chang, S., Kim, K.-H. and Kim, S. (2020). Tuning surface functionality of standard biochars and the resulting uplift capacity of loading/energy storage for organic phase change materials. *Chemical Engineering Journal*, 394, 125049, doi.org/10.1016/j.cej.2020.125049.
- [9] Xiong, T., Ok, Y. S., Dissanayake, P. D., Tsang, D. C. W., Kim, S., Kua, H. W. and Shah, K. W. (2022). Preparation and thermal conductivity enhancement of a paraffin wax-based composite phase change material doped with garlic stem biochar microparticles. *Science of The Total Environment*, 827, 154341, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154341.
- [10] Jeon, J., Park, J. H., Wi, S., Yang, S., Ok, Y. S., & Kim, S. (2019). Latent heat storage biocomposites of phase change material-biochar as feasible eco-friendly building materials. *Environmental Research*, 172, 637-648, doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.058.
- [11] Zhao, P.-P., Deng, C., Zhao, Z.-Y., Lu, P., He, S. and Wang, Y.-Z. (2021). Hypophosphite tailored graphitized hierarchical porous biochar toward highly efficient solar thermal energy harvesting and stable Storage/Release. *Chemical Engineering Journal*, 420, 129942, doi.org/10.1016/j.cej.2021.129942.
- [12] Zhang, N., Pan, X., Zhang, Z., Yuan, Y., Sultan, M. and Attia, S. (2024). Carbonated balsa-based shape-stable phase change materials with photothermal conversion and application in greenhouse. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 266, 112699, doi.org/10.1016/j.solmat.2024.112699.
- [13] Muzyka, R., Misztal, E., Hrabak, J., Banks, S. W. and Sajdak, M. (2023). Various biomass pyrolysis conditions influence the porosity and pore size distribution of biochar. *Energy*, 263, 126128, doi.org/10.1016/j.energy.2022.126128.

Teşekkür

Bu makale, Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Ulusal Tez Merkezine kayıtlı 885229 numaralı "Gözenekli Fonksiyonel Kompozit Malzemelerin Yapı Bileşenlerindeki Termal Enerji Depolama Uygulamalarının İncelenmesi" başlıklı doktora tezinden türetilmiştir.