



Gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunu zımpara tozunun termoplastik kompozit üretiminde değerlendirilmesi

Nasır Narlıoğlu* 

Öz

Bu çalışmada, gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunu zımpara tozu ile yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), çift burgulu ekstruderde karıştırıldıktan sonra kompozit malzemeler elde edilmiştir. Elde edilen kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme, eğilme ve sertlik direnci testleri yapılmıştır. Bunlara ek olarak, kompozitlerin termal özelliklerini belirlemek için Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizleri ve Limit Oksijen İndeksi (LOI) testleri yapılmıştır. Mekanik test sonuçlarına göre çekme direnci değeri en yüksek kompozit örneği %20 zımpara tozu ilaveli örnekte 27.92 MPa belirlenmiştir. Ayrıca en düşük çekme direnci değeri, %5 zımpara tozu ilaveli kompozit örneğinde 26.17 MPa olarak belirlenmiştir. Eğilme direnci testi sonuçlarına göre en yüksek eğilme direnci değeri, %20 zımpara tozu ilaveli kompozit örneğinde, 40.72 MPa olarak belirlenmiştir. Ayrıca en düşük eğilme direnci 34.82 MPa ve 34.74 MPa değerleri ile sırasıyla saf polimer ve %5 zımpara tozu ilaveli örneklerde tespit edilmiştir. DSC analizi sonuçlarına göre polimer matrise zımpara tozu ilave edilmesi sonucu kristalite değerlerinde azalış görülmüştür. LOI testi sonucuna göre kompozit karışımındaki zımpara tozu oranındaki artışla beraber kompozitlerin yanmaları için ihtiyaç duydukları oksijen miktarında artış görülmüştür.

Anahtar kelimeler: gürgen, zımpara tozu, termoplastik kompozit, DSC kristalite

Evaluation of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood sanding dust in thermoplastic composite production

Abstract

In this study, composite materials were obtained after mixing hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood sanding dust and high-density polyethylene (HDPE) in a twin-screw extruder. Tensile, bending and hardness tests were carried out to determine the mechanical properties of the composites. In addition to these, Differential Scanning Calorimeter (DSC) analysis and Limit Oxygen Index (LOI) tests were performed to determine the thermal properties of composites. According to the mechanical test results, the highest tensile strength value was determined 27.92 MPa in the 20% wood sanding dust added sample. In addition, the lowest tensile strength value was determined as 26.17 MPa in the 5% sanding dust added composite sample. According to the bending strength test results, the highest bending strength value was determined as 40.72 MPa in the 20% sanding dust added composite sample. In addition, the lowest bending strength was determined as 34.82 MPa and 34.74 MPa values, respectively, in neat polymer and 5% wood sanding dust added samples. According to the results of DSC analysis, a decrease in the crystallinity values was observed as a result of adding wood sanding dust into the polymer matrix. According to the results of the LOI test, with the increase in the wood sanding dust ratio in the composite mixture, the amount of oxygen required for the combustion of the composites increased.

Keywords: hornbeam, sanding dust, thermoplastic composite, DSC crystallinity

Makale tarihçesi: Geliş:24.04.2021, Kabul:08.05.2021, Yayınlanma:28.06.2021, *e-posta: nasirnarlioglu@gmail.com,

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye

Atıf: Narlıoğlu N., (2021), Gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunu zımpara tozunun termoplastik kompozit üretiminde değerlendirilmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4 (1), 9-18, DOI: 10.33725/mamad.927157

1 Giriş

Doğal lif takviyeli kompozit malzemeler (biyokompozitler), içeriğindeki odun vd. lignosel lzik dolgu maddelerinden dolayı yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir özelliklere sahip olması sebebiyle vre dostu malzemelerdir. Bu malzemeler gnm özde plastik, metal, ahşap vd. malzemelere kıyasla uygun fiyatının yanında birçok i ve dış mekan uygulamaları için arzu edilen fiziksel ve mekanik özellikler sergilemesi sebebiyle, bu alana ilgi duyan araştırmacı ve üreticiler tarafından ilgi çekmektedir.

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerden yapılan ürünlerin imalatı, mekanik işlemeyle (kesme, delme vs.) ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır. Ahşap malzemelerin işlenmesi ile ilgili işlemler sonucunda, genellikle talaş denilen atık partikülleri oluşur. Oluřan talaşların boyutu işleme yöntemine, kesme parametrelerine ve malzeme özelliklerine bağlı olarak değişir. Ayrıca partiküllerin çođu havada dağılma özelliğine sahip çok ince parçacıklardır (Vincent ve ark., 2006; Fujimoto ve ark., 2011; Rogoziński ve ark., 2017). Odun plastik kompozitlerin (OPK) retiminde kullanılan en yaygın polimerler poliolefinlerdir (Nwabunma ve Kun, 2007). Kereste endüstrisi atıkları dahil farklı atık malzemeler, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve polipropilen (PP) matrisli OPK'lerin üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirler (Kajaks ve ark., 2014; 2015; 2018; Kuka ve ark., 2016). Ayrıca OPK'ler işlenmeleri için yeni ekipman yatırımına gerek kalmadan ahşap malzeme gibi birleştirilebilir, zımparalanabilir, boyanabilir ve işlenebilirler (Faruk ve ark., 2007). Mobilya retiminde kullanılan ahşap malzemelerin ađaç işleme makineleri ile işlenmesi esnasında talaş ve toz şeklinde atıklar açığa çıkmaktadır. Bu atıkların çođu kerestenin kesme/biçme ve rendeleme makinelerinde işlenmesi esnasında testere/rende talaşı şeklinde açığa çıkmaktadır. Ayrıca ahşap malzemenin zımparalanması sonucunda zımpara tozu şeklinde atıklar açığa çıkmaktadır. 1 m³ kerestenin masif panel levha haline gelinceye kadar verilecek fire ve zayıat miktarlarına göre; zımparalama esnasında %8 oranında fire verildiği belirtilmiştir (Anonim, 2021). Burada belirtilen fire şeklinde açığa çıkan atık miktarının kerestenin işlenmesi sırasında açığa çıkan diğer atık miktarlarına (ebatlama %2, dilimleme %5-7, dış açma %5-7, yüzey temizleme %8, kenar silme %10-12) kıyasla azımsanmayacak kadar yüksek olduğu görülmektedir.

Masif ahşap malzemenin şerit testere ve daire testere makineleri ile işlenmesi sonucunda açığa çıkan testere talaşı atıkları OPK retiminde kullanılan doğal takviye maddelerinden biridir. Ahşap malzemenin şekillendirilmesi esnasında açığa çıkan testere talaşının çeşitli matris malzemelere (termoplastik/termoset polimer, imento/alçı) ilave edilmesi sonucu elde edilen biyokompozit malzemeler ile ilgili yapılan akademik çalışmalar oldukça fazla sayıdadır (Maldas ve ark., 1988; Idrus ve ark., 2011; Horta ve ark., 2017; Sombatsompop ve Chaochanchaikul, 2004; Turgut, 2007; Chotirat ve ark., 2007; Ahmad ve Mei, 2009; Dai ve Fan, 2015; Rahman ve ark., 2018; 2019; Jaya ve ark., 2018; Samani ve Toghraie, 2019). Diğer yandan literatürde ahşap malzemenin zımparalanması esnasında açığa çıkan zımpara tozunun polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olduğu grlmştir. OPK'nın üretiminde zımpara tozlarının kullanılması sadece üretim maliyetlerini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda orman endüstrisi atıklarının birikmesi ve atılması sorununu da ortadan kaldırır (Chavooshi ve ark., 2014). Yukarıda açıklanan sebeplerle bu çalışmada, mobilya fabrikalarında bertaraf edilmesi zor bir atık türü olan zımpara tozunun, termoplastik polimerde takviye malzemesi olarak değerlendirilme düşüncesi sonucunda, gürgen odunu zımpara tozu YYPE polimerine ilave edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin özelliklerinin incelenmesi amacıyla eğilme, çekme ve sertlik direnci testleri ile mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bunlara ilaveten Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizleri ve Limit Oksijen İndeksi (LOI) testleri ile kompozitlerin termal karakterizasyonu yapılmıştır.

1 Materyal ve Metot

1.1 Materyal

Bu çalışmada, polimer matris içerisine ilave edilen gürgen odunu zımpara tozu Kahramanmaraş mobilyacılar sitesinden temin edilmiştir. Ahşap kesme ve zımparalama işlemleri esnasında genel olarak 20 ile 5000 µm arasında değişen boyutlarda parçacıklar açığa çıkmaktadır. OPK üretimi için en kullanışlı odun parçacık boyutu 50 ile 700 µm aralığında olan parçacıklardır (Kamel, 2010). Gürgen odunu zımpara tozu, kompozit malzeme üretimi için uygun boyuta getirilmesi amacıyla sarsak elekte elenerek 125-149 µm parçacık boyutunda tasnif edilmiştir. Daha sonra sarsak elekte elenerek tasnif edilen kısım 103 ± 2 °C sıcaklığa ayarlı fırında tam kuru ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Ayrıca kompozit malzeme üretiminde polimer matris olarak YYPE (PETKİM-YY50464) polimeri kullanılmıştır.

1.2 Metot

Gürgen odunu zımpara tozu %0-5-10-20 oranlarında YYPE polimeri içerisine ilave edilerek 90-120-150-170-180 °C kovan sıcaklığına ve 50 d/dk vida hızına ayarlı çift vidalı ekstruder ile karıştırılarak kompozit pelletleri formuna dönüştürülmüştür. Sonrasında, elde edilen kompozit pelletlerden sıcak pres kalıplama tekniği ile 250x250x3 mm boyutlarında kompozit malzemeler üretilmiştir. Daha sonra, üretilen malzemeler mekanik özelliklerinin belirlenmesi için ASTM standartlarına uygun şekilde ölçüendirilerek 60 ± 5 bağıl nem ve 22 ± 3 °C sıcaklıkta bir hafta s üresince iklimlendirme kabininde klimatize edilmiştir.

1.2.1 Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Deney numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme direnci testi ASTM D638'e göre, eğilme direnci testi ASTM D790'a göre 2kN kapasiteli üniversal test makinesi kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca deney numunelerinin sertliğini belirlemek için ASTM D2240'a göre Shore D sertlik testi yapılmıştır.

1.2.2 Termal özelliklerin belirlenmesi

Deney numunelerinin termal özelliklerini araştırmak için Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizleri ile Limit Oksijen İndeks (LOI) testleri yapılmıştır. DSC analizleri, 100 ml/dk azot gazı akış hızı ve 10 °C/dk ısıtma hızına ayarlı Shimadzu DSC-60 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Malzemelerin yanmaları için gereken oksijen miktarı değerlerinin belirlendiği LOI testi Dynisco Limiting Oxygen Index Chamber ile ASTM D 2863'e göre azot ve oksijen gazı ortamında yapılmıştır. Malzemelerin kristalit yüzdeleri, DSC analizi sonu arından elde edilen erime sıcaklığı aralığındaki entalpi değerlerinden, Spiridon ve ark., (2012) tarafından kullanılan kristalite hesaplama yöntemine göre belirlenmiştir.

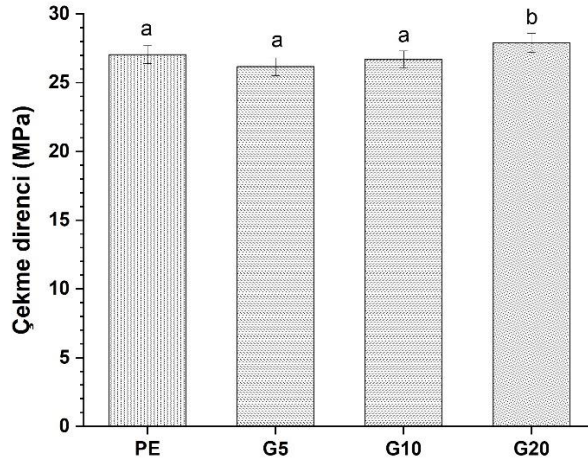
1.2.3 İstatistik analizler

Bu çalışmada, zımpara tozu miktarının malzemelerin mekanik özelliklerine etkisini araştırmak için OriginPro 9b programı kullanılarak varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Varyans analizinden elde edilen değerler, %95 olasılık düzeyindeki F testi tablosu ile karşılaştırılmıştır. F testleri karşılaştırmalarına göre ortalamalar arasında anlamlı farklar Tukey testi ile kıyaslanmıştır. Tukey testi sonuçlarına göre istatistiksel farklılıklar ($p < 0.05$) grafikler üzerinde farklı harfler ile gösterilmiştir.

2 Bulgular ve Tartışma

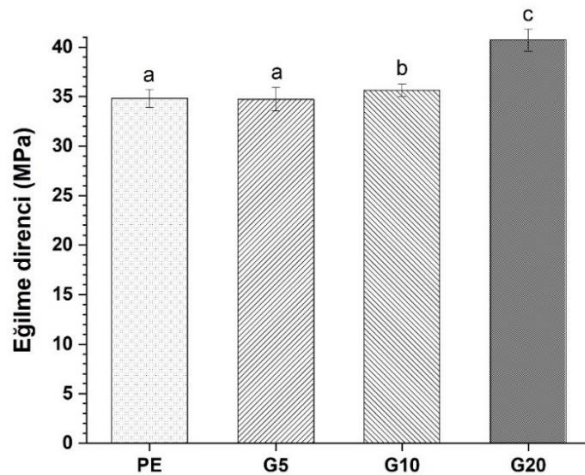
şekil 1.'de gürgen odunu zımpara tozunun YYPE polimerinin çekme direnci üzerinde etkisi gösterilmiştir. şekil 1.'de görüldüğu gibi polimer matris içerisine zımpara tozu eklenmesi ile çekme direnci değerlerinde önce bir miktar azalış görülmüştür. Saf polimer matrisin çekme

direnci değeri 27.04 MPa olup, bu değeri 26.17 MPa ve 26.69 MPa değerleriyle sırasıyla %5 ve %10 zımpara tozu ilaveli kompozit örnekleri takip etmiştir. Diğer yandan polimer matrise %20 zımpara tozu ilave edilmesi çekme direncini saf polimere göre %3.15 oranında artırmıştır.



Şekil 1. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri

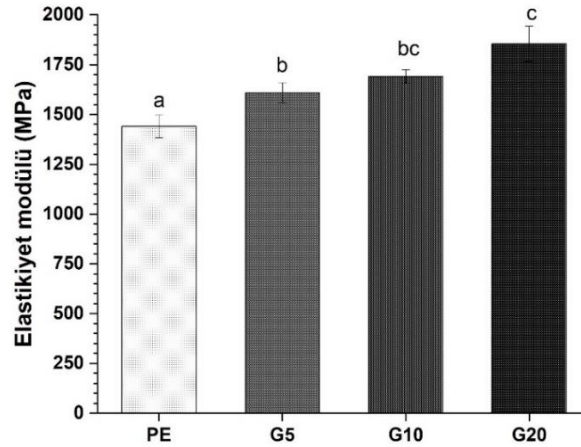
Gürgen odunu zımpara tozu ilave edilmiş YYPE kompozitler ile saf polimerin eğilme direnci değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2.’de görüldüğü gibi %5 zımpara tozu ilaveli kompozit örneğinin eğilme direnci değeri ile saf polimerin (PE) eğilme direnci değeri (34.82 MPa) arasında istatistiksel olarak belirgin bir fark görülmektedir, polimer matris i çerisine %10 zımpara tozu ilavesinden sonra eğilme direnci değerlerinde artış görülmüştür. Örnekler arasında en yüksek eğilme direnci, 40.72 MPa değeri ile %20 zımpara tozu ilaveli kompozit (G20) örneğinde görülmüştür. Diğer yandan en düşük eğilme direnci değeri, 34.74 MPa ile %5 zımpara tozu ilaveli kompozit (G5) örneğinde görülmüştür. Cui ve ark., (2010) tarafından yapılan çalışmada, polimer matris i çerisine odun unu eklenmesi ile malzemelerin eğilme direnci değerlerinde artış görüldüğü belirtilmiştir.



Şekil 2. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri

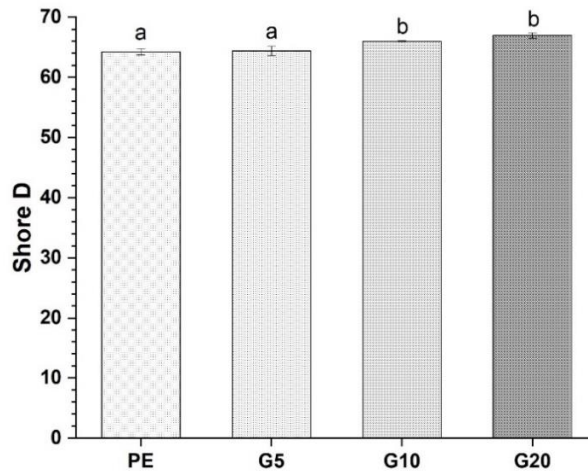
Kompozit malzemelerin elastikiyet modülü değerlerinin polimer matrise odun unu ilavesiyle arttığı bildirilmiştir (Narlıoğlu ve ark., 2018). Zımpara tozu ilaveli kompozitlerin ve saf polimerin elastikiyet modülü değerleri Şekil 3.’te verilmiştir. Şekil 3’te görüldüğü gibi kompozit karışımındaki zımpara tozu artışına bağlı olarak elastikiyet modülü değerlerinde giderek artış görülmüştür. Saf YYPE polimerinin elastikiyet modülü değeri, 1439 MPa ile en

düşük değeri sergilerken, en yüksek elastikiyet modülü değeri ise %20 zımpara tozu ilaveli kompozit örneğinde 1855 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 3. Deney numunelerinin elastikiyet modülü değeri

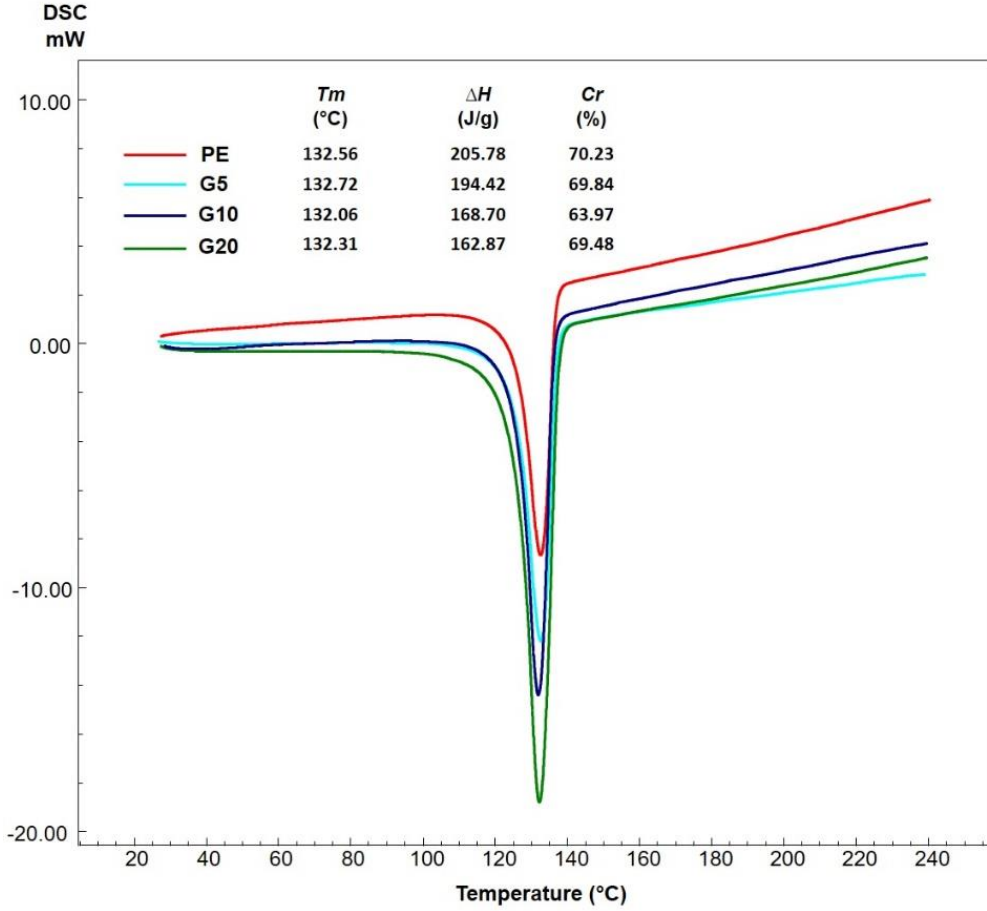
Saf YYPE polimeri ile zımpara tozu ilaveli kompozitlerin Shore D sertlik değeri Şekil 4.'te verilmiştir. Şekil 4.'te görüldüğü gibi polimer matris içerisine zımpara tozu ilave edilmesi ile saf polimer ve %5 zımpara tozu ilaveli kompozit örneğinin sertlik değerlerinde kayda değer bir değişiklik görülmemiştir. Diğer yandan %10 ve %20 zımpara tozu ilaveli kompozit örneklerinin sertlik değerlerinde bir miktar artış görülmüştür. OPK'lerin Shore D sertlik değerlerinin polimer matrise odun unu eklenmesiyle arttığı belirtilmektedir (İbrahim ve ark., 2019; EL-Meniawi, M. A. H. 2020). Ayrıca saf polimerin Shore D sertliği 64.25 ile en düşük değeri sergilerken, polimer içerisine %5-10-20 oranlarında zımpara tozu ilave edilmesi sonucunda elde edilen kompozitlerin sertlik değerlerinin sırasıyla 64.41, 66 ve 66.96 değerlerini sergiledikleri görülmüştür.



Şekil 4. Deney numunelerinin Shore D sertlik değeri

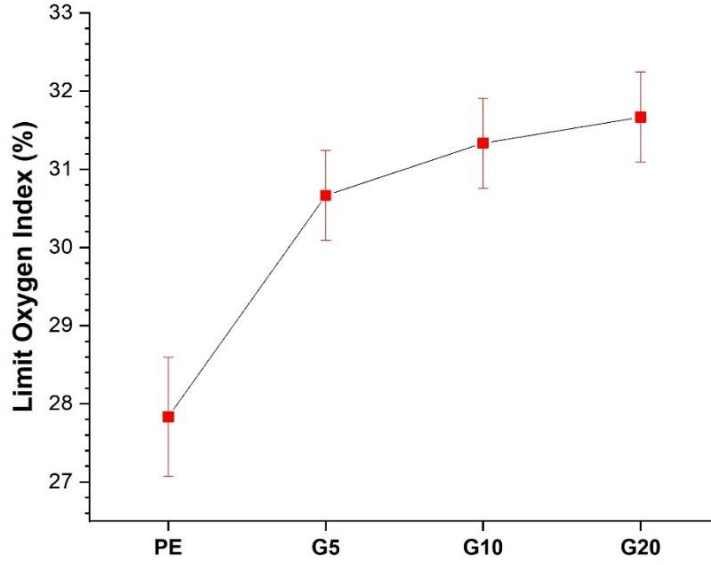
Saf YYPE polimeri ve zımpara tozu ilaveli kompozitlerin DSC eğrileri ile erime sıcaklığı, entalpi ve kristalit değeri Şekil 5.'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde polimer matris içerisine zımpara tozu ilave edilmesi ile polimer matrisin erime sıcaklığı derecelerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Diğer yandan polimer matrise ilave edilen zımpara tozu ile entalpi değerlerinde azalma görülmüştür. Ayrıca kristalite hesaplarına göre polimer matrise ilave edilen zımpara tozu, kristalit yüzdesinde bir miktar azalışa sebep olmuştur. En düşük kristalite değeri %63.97 ile %10 zımpara tozu ilave edilmiş kompozit örneğinde (G10) tespit edilmiştir.

Diğer yandan en yüksek kristalite değerı saf polimerde (PE) %70.23 olarak hesaplanmış. Ayrıca %5 ve %20 zımpara tozu ilaveli kompozit örneğlerinin kristalite değerleri sırasıyla %69.84 ve %69.48 olarak hesaplanmıştır. Doğal lif takviyeli kompozit üretiminde, polimer matris içerisine lignosel ülozik maddelerin eklenmesi ile polimerlerin entalpi değerleri ve kristalit yüzdelinde azalma görüldüğü bazı araştırmacıların çalışmalarında belirtilmiştir (Cui ve ark., 2010; Banat ve Fares, 2015; Chafidz ve ark., 2018; Yu ve ark., 2018).



şekil 5. Deney numunelerinin DSC eğrileri ve analiz sonuçları

Malzemelerin yanması için ihtiyaç duyulan oksijen miktarının belirlendiği LOI testi sonuçları şekil 6.'da verilmiştir. şekil 6.'da görüldüğü gibi polimer matrise ilave edilen zımpara tozu oranının artmasıyla malzemelerin LOI değerleri yükselmiştir. Saf polimer matrisin LOI değerı %27.83 ile en düşük değerı gösterirken, polimer matrise %5 oranında zımpara tozu ilavesi ile bu değer %30.66'ya yükselmiştir. Ayrıca %10 ve %20 zımpara tozu ilaveli kompozitlerin LOI değerlerinin birbirine yakın değerler sergilediği görülmüştür. Bu kompozitlerin (%10-20) LOI değerleri sırasıyla %31.33 ve %31.66 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. Deney numunelerinin LOI değerleri

3 Sonu ar ve Öneriler

Gürgen odunu zımpara tozunun termoplastik kompozit üretiminde değerlendirilmesi isimli bu çalışmada;

- Polimer matris i çerisine zımpara tozu eklenmesi ile çekme direnci değerinde önce azalış sonra artış görülmüştür.

- Polimer matrise ilave edilen zımpara tozu, kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde genel olarak artışa sebep olmuştur. Diğer yandan zımpara tozu oranının artması ile kompozitlerin elastikiyet modülü değerlerinin de arttığı görülmüştür.

- Polimer matris içerisine zımpara tozu eklenmesi, sertlik değerlerinde bir miktar artışa sebep olmuştur.

- Kompozitlerin termal özelliklerinin incelenmesi sonucunda, polimer matrise zımpara tozu ilave edilmesiyle, kristalit yüzdelerinde azalış görülmüştür. Ayrıca zımpara tozu miktarındaki artış ile kompozitlerin yanması için gerekli olan oksijen miktarında artış görülmüştür.

- Bu alışmada, YYPE polimer matrisine gürgen odunu zımpara tozunun farklı oranlarda eklenmesi sonucunda termoplastik kompozit üretimi sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarda farklı odun zımpara tozu atıklarının değişken oranlarda çeşitli polimer matrisler üzerinde etkisinin incelenmesi, bu alana ilgi duyan araştırmacılara fayda sağlayacaktır.

- Ayrıca bu ve bundan sonraki çalışmaların kompozit malzeme üreticilerinin dikkatini çekmesi neticesinde, üreticilerin imalat sürecinde zımpara tozu atıklarına yer vermesi ile evre problemlerinin çözümüne katkı sağlayacakları düşünölmektedir.

- Bunlara ek olarak orman endüstrisi atıklarının rasyonel bir şekilde değerlendirilmesi sonucunda, atıkların katma değeri yüksek ürönlere (yer/duvar döşemesi, mobilya elemanları vd.) dönüşümü ile birlikte öлке ekonomisine katkı sağlayacağı düşünölmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın yapılmasında laboratuvar desteğinden dolayı Prof. Dr. M. Hakkı ALMA'ya teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Ahmad, I., Mei, T. M. (2009), Mechanical and morphological studies of rubber wood sawdust-filled UPR composite based on recycled PET, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 48(12), 1262-1268. DOI: 10.1080/03602550903204105
- Anonim, (2021), İstanbul ticaret odası ağaç ve orman ürünlerinin fire ve randıman oranları, <https://www.ito.org.tr/tr/hizmetler/fire-ve-randiman-oranlari>, Erişim: 04.04.2021
- ASTM D2240, (2015), Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D2863, (2000), Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index), ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D638, (2014), Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D790, (2017), Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Banat, R., Fares, M. M. (2015), Thermo-gravimetric stability of high density polyethylene composite filled with olive shell flour. *American Journal of Polymer Science*, 5(3), 65-74. DOI: 10.5923/j.ajps.20150503.02
- Chafidz, A., Rizal, M., Faisal, R. M., Kaavessina, M., Hartanto, D., AlZahrani, S. M. (2018), Processing and properties of high density polyethylene/date palm fiber composites prepared by a laboratory mixing extruder, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 12(3), 3771-3785. DOI: 10.15282/jmes.12.3.2018.2.0333
- Chavooshi, A., Madhoushi, M., Navi, M., Abareshi, M. Y. (2014), MDF dust/PP composites reinforced with nanoclay: Morphology, long-term physical properties and withdrawal strength of fasteners in dry and saturated conditions, *Construction and Building Materials*, 52, 324-330. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.11.045
- Chotirat, L., Chaochanchaikul, K., Sombatsompop, N. (2007), On adhesion mechanisms and interfacial strength in acrylonitrile-butadiene-styrene/wood sawdust composites, *International journal of adhesion and adhesives*, 27(8), 669-678. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2007.02.001
- Cui, Y. H., Tao, J., Noruziaan, B., Cheung, M., Lee, S. (2010), DSC Analysis and Mechanical Properties of Wood—Plastic Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(2), 278-289. DOI: 10.1177/0731684408097766
- Dai, D., Fan, M. (2015), Preparation of bio-composite from wood sawdust and gypsum, *Industrial Crops and Products*, 74, 417-424. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.05.036
- EL-Meniawi, M. A. H. (2020), The Influence of Wood Flour on Properties of Polypropylene/Wood-Flour Composites, *Bulletin of the Faculty of Engineering*, Mansoura University, 42(2), 20-25. DOI: 10.21608/bfemu.2020.88889

- Faruk, O., Bledzki, A. K., Matuana, L. M. (2007), Microcellular foamed wood - plastic composites by different processes: A review, *Macromolecular Materials and Engineering*, 292(2), 113-127. DOI: 10.1002/mame.200600406
- Fujimoto, K., Takano, T., Okumura, S. (2011), Difference in mass concentration of airborne dust during circular sawing of five wood-based materials, *Journal of Wood Science*, 57(2), 149-154. DOI: 10.1007/s10086-010-1145-y.
- Horta, J. F., Simões, F. J., Mateus, A. (2017), Study of wood-plastic composites with reused high density polyethylene and wood sawdust, *Procedia Manufacturing*, 12 (2017), 221-229. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.08.026
- Ibrahim, M. A., Hirayama, T., Khalafallah, D. (2019), An investigation into the tribological properties of wood flour reinforced polypropylene composites, *Materials Research Express*, 7(1), 015313. DOI: 10.1088/2053-1591/ab600c
- Idrus, M. M., Hamdan, S., Rahman, M. R., Islam, M. S. (2011), Treated tropical wood sawdust-polypropylene polymer composite: mechanical and morphological study, *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 2(04), 435. DOI: 10.4236/jbnt.2011.24053
- Jaya, H., Noriman, N. Z., AbdulKadir, H. K., Dahham, O. S., Muhammad, N., Latip, N. A., Aini, A. K. (2018), The effects of wood sawdust loading on tensile and physical properties of up/pf/wsd composites, In IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering* (Vol. 454, No. 1, p. 012193). IOP Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/454/1/012193
- Kajaks, J., Kalnins K, Naburgs R. (2018), Wood plastic composites (WPC) based on high-density polyethylene and birch wood plywood production residues, *International Wood Products Journal*, 9(1), 15-21, DOI: 10.1080/20426445.2017.1410997
- Kajaks, J., Kalnins K, Uzulis S, Matvejs J. 2014. Physical and mechanical properties of composites based on polypropylene and timber industry waste. *Central European Journal of Engineering*. 4(4), 385–390. DOI: 10.2478/s13531-013-0172-z
- Kajaks, J, Zagorska A, Mezinskis A. (2015), Some exploitation properties of wood plastic composites (WPC) based on high density polyethylene and timber industry waste, *Materials Science (Medžiagotyra)*, 21(3), 396–399. DOI: 10.5755/j01.ms.21.3.7283
- Kamel, M. (2010), Investigating the mechanical and physical properties of wood plastic composites (WPC) [PhD Thesis]. Cairo: The American University in Cairo.
- Kuka, E, Cirule D, Kajaks J, Andersone I, Andersons B. (2016), Wood Plastics Composites made with thermally modified birch wood residues, *International Wood Products Journal*, 7(4), 225–230. DOI: 10.1080/20426445.2016.1214439
- Maldas, D., Kokta, B. V., Raj, R. G., Daneault, C. (1988), Improvement of the mechanical properties of sawdust wood fibre—polystyrene composites by chemical treatment, *Polymer*, 29(7), 1255-1265. DOI: 10.1016/0032-3861(88)90053-5
- Narlıoğlu, N., Çetin, N. S., Alma, M. H. (2018), Karaçam testere talaşının polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 38-45.
- Nwabunma, D, Kun T. (2007), Polyolefin composites. New Jersey: 3M Company, Wiley-Interscience A. J. Wiley & Sons INC publications; p. 3–82. 87–123, 150–201. DOI: 10.1002/9780470199039.ch1

- Rahman, M. R., Hamdan, S., Ngaini, Z. B., Jayamani, E., Kakar, A., Bakri, M. K. B., Yusof, F. A. B. M. (2019), Cellulose fiber-reinforced thermosetting composites: impact of cyanoethyl modification on mechanical, thermal and morphological properties, *Polymer Bulletin*, 76(8), 4295-4311. DOI: 10.1007/s00289-018-2598-1
- Rahman, M. R., Ting, J. S. H., Hamdan, S., Hasan, M., Salleh, S. F., and Rahman, M. M. (2018), Impact of delignification on mechanical, morphological, and thermal properties of wood sawdust reinforced unsaturated polyester composites, *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 24(2), 185-191. DOI: 10.1002/vnl.21545
- Rogoziński, T., Wilkowski, J., Górski, J., Szymanowski, K., Podziewski, P., Czarniak, P. (2017), Fine particles content in dust created in CNC milling of selected wood composites, *Wood and Fiber Science*, 49(4), 461-469.
- Samani, M. R., Toghraie, D. (2019), Removal of hexavalent chromium from water using polyaniline/wood sawdust/poly ethylene glycol composite: an experimental study, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17(1), DOI: 53-62. 10.1007/s40201-018-00325-y
- Sombatsompop, N., Chaochanchaikul, K. (2004), Effect of moisture content on mechanical properties, thermal and structural stability and extrudate texture of poly (vinyl chloride)/wood sawdust composites, *Polymer International*, 53(9), 1210-1218. DOI: 10.1002/pi.1535
- Spiridon, I., Paduraru, O. M., Rudowski, M., Kozłowski, M. Darie, R. N. (2012), Assessment of changes due to accelerated weathering of low-density polyethylene/feather composites, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(21), 7279-7286. DOI: 10.1021/ie300738d
- Turgut, P. (2007), Cement composites with limestone dust and different grades of wood sawdust, *Building and Environment*, 42(11), 3801-3807. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.11.008
- Yu, M., Mao, H., Huang, R., Ge, Z., Tian, P., Sun, L., Wu, Q., Sun, K. (2018), Mechanical and Thermal Properties of R-High Density Polyethylene Composites Reinforced with Wheat Straw Particleboard Dust and Basalt Fiber, *International Journal of Polymer Science*, vol. 2018, Article ID 5101937, 10 pages. DOI:10.1155/2018/5101937.