



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Çeşitli Oranlarda Karbon Nanotüp Katılmış PVC/PMMA Nanokompozitinin Termal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Mustafa Hamdi KARAGÖZ*, Afşar ÇELİK

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 65080, Van, Türkiye
Mustafa Hamdi KARAGÖZ, ORCID No:0000-0002-68307725, Afşar ÇELİK, ORCID No:0000-0002-5824-8338

*Sorumlu yazar e-posta: m.hamdikaragoz@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 18.03.2022
Kabul: 23.06.2022
Online Aralık 2022
DOI: 10.53433/yyufbed.1089265

Anahtar Kelimeler

Karbon nanotüp,
Nanokompozit,
PMMA/PVC blendi

Öz: Bu çalışmada çeşitli oranlarda karbon nanotüp katılmış PVC/PMMA nanokompozitinin termal ve morfolojik özelliklerinin incelenmesi amacıyla PMMA ve PVC gibi iki endüstriyel polimerin blendi ve çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) katkısıyla bir polimerik nanokompozit hazırlanmıştır. Nanokompozitler, çözeltiden dökme tekniği ile hazırlanmıştır. Polimer blendine, toplam ağırlığın %1, %3 ve %5 oranlarında katılan çok duvarlı karbon nanotüplerin, nanokompozitin termal ve morfolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Artan oranlı CNT katkısının TGA ve DSC üzerinde küçük değişiklikler yarattığı gözlemlendi. CNT oranı arttıkça camı geçiş sıcaklığının (T_g) yükseldiği görüldü. SEM görüntülerinden, CNT ve polimer blendinin uyumlu bir etkileşim sergilediği görüldü.

Investigation of Thermal and Morphological Properties of PVC/PMMA Nanocomposite Added Carbon Nanotube at Various Ratios

Article Info

Received: 18.03.2022
Accepted: 23.06.2022
Online December 2022
DOI: 10.53433/yyufbed.1089265

Keywords

Carbon nanotube,
Nanocomposite,
PMMA/PVC blend

Abstract: In this study, a polymeric nanocomposite was produced using a blend of two industrial polymers, PMMA and PVC, and a multiwalled carbon nanotube (MWCNT). We achieved this through the investigation of the thermal and morphological properties of PVC/PMMA nanocomposite with carbon nanotubes in various proportions. We prepared the nanocomposites by applying the solution casting technique. We investigated the effect of multiwalled carbon nanotubes added to the polymer blend at 1%, 3%, and 5% of the total weight on the thermal and morphological properties of the blend. Our results indicate that the increase in the ratio of CNT addition causes minor changes in TGA and DSC. Furthermore, the glass transition temperature (T_g) increases as the CNT ratios increases. The SEM images indicate that the CNT and polymer blend exhibits a harmonious interaction.

1. Giriş

Polimerik nanokompozitler (PNC'ler) son yıllarda endüstriyel ölçekte ilgi görmektedirler. Karbon nanotüp (CNT) bazlı polimer nanokompozitlerin (PNC'ler) önemi ve kullanımları, geleneksel iletken polimer kompozitlere kıyasla mükemmel mekanik, elektrik, piezodirenç ve termal özellikleri nedeniyle son yıllarda gerinim algılama, süper kapasitörler, elektromanyetik girişim (EMI) koruma ve elektrostatik deşarj, havacılık, bunların yanı sıra tenis raketleri, beyzbol sopaları ve bisiklet çemberleri gibi çeşitli alanlarda ve ürünlerde hızla ilerlemektedir (Gupta & Kumar, 2018).

Polimerik nanokompozitler (PNC'ler) ise matrisini bir polimerin oluşturduğu, dağılmış fazın 100 nm'den küçük en az bir boyutlu olduğu, iki veya daha fazla malzemenin bir karışımı olarak tanımlanabilir (Müller ve ark., 2017).

Polimerik nanokompozitlerin avantajları şunlardır:

1. Konvansiyonel kompozitlerden daha hafiftirler çünkü çok daha az yüksek yoğunluklu malzeme ile yüksek derecelerde sertlik ve dayanıklılık sağlar.
2. Bariyer özellikleri saf polimere kıyasla daha iyidir.
3. Mekanik özellikleri ve termal özellikler potansiyel olarak üstündür.
4. Biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin mükemmel yanıcılık özelliklerini ve artan biyolojik parçalanabilirliklerini sergilerler (Bitinis ve ark., 2011; Müller ve ark., 2017).

Karbon nanotüpler (CNT'ler), nanometre boyutunda çapa ve mikrometre boyutunda uzunluğa sahip ultra ince karbon fiberlerdir. CNT'ler 1991 yılında Sumio Ijima tarafından keşfedilmiş ve o zamandan beri çeşitli uygulamalarda kullanılmışlardır (Tanaka, 1999).

Polimerik nanokompozitler içinde, karbon nanotüpler ve grafen ile çeşitli uygulamalar vardır. Karbon nanotüp ve grafen içeren nanokompozitlerin önemli kullanım alanlarından biri optoelektronik endüstrisidir. Ayarlanabilir optoelektronik özelliklerin yanı sıra yapısal ve kimyasal kararlılık, yüksek yüzey alanı ve düşük kütle yoğunluğu ile nano dolgu maddelerinin polimerlerin işlenebilirliği ile oluşturduğu çeşitli kombinasyonlarının, fiber lazerler, süper kapasitörler, alan emisyon cihazları ve fotovoltajikler vs. içeren geniş bir uygulama yelpazesi vardır (Alvi ve ark., 2011; Radmilović ve ark., 2017).

Bir polimer blendinin termal stabilitesi, blendin kompozisyonuna ve yapısındaki polimerlerin uyumluluğuna bağlıdır. Bu da doymamışlık derecesiyle ve yapıdaki kovalan veya nonkovelemler bağların bağlarla ve bağ enerjileriyle ilgilidir. Blendin termal stabilitesini etkileyen polimerin yapısal özellikleri molekül ağırlığı, fonksiyonel gruplar, dallanma derecesi, çapraz bağlanmalardır. Ayrıca blendlerin termal stabiliteyi her bir bileşenin uyumluluklarının sonucu gelişen morfolojileriyle de ilgilidir (Tomic, 2020).

Camsı geçiş sıcaklığı, polimerlerin, işlenişini, günlük yaşamda ve endüstriyel alanda kullanımını etkileyen başlıca etkendir. Camsı geçiş sıcaklığı polimerlerde kararlılık ve dayanıklılık ile ilgili sıcaklık sınırını belirler. Bu açıdan, amaca yönelik polimer seçiminde, camsı geçiş sıcaklığı belirleyici etkenlerin başında gelir.

Polivinilklorür/polimetil metakrilat (PVC/PMMA) blendlerinin termal bozunması incelendiğinde, PVC'nin termal ayrışma sıcaklıklarının PMMA varlığında saf PVC'dekinden daha yüksek olduğu; bu stabilize edici etkinin, özellikle ağırlıkça %10 PMMA içeriği ile daha dikkat çekici olduğu gözlenmiştir (Ahmad ve ark., 2008).

Geri dönüştürülmüş PMMA ve PVC blendinde yapılan taramalı elektron mikroskopisi (SEM) taramasında PVC oranındaki artışın, karışımın sünekliliğini yani esnekliğini kaybetmeden yük taşıma kapasitesinin arttırdığını göstermiştir (Suresh ve ark., 2020).

Poli (metil metakrilat) (PMMA)'nın çeşitli oranlarda uygun şekilde stabilize edilmiş ve plastikleştirilmiş poli (vinil klorür) (PVC) ile karıştırılmasının etkisi, fiziksel, mekanik ve termal özelliklerine bakılarak incelenmiştir (Chakrabarti ve ark., 2004).

Polimerik nanokompozitler hayatın pek çok alanında kullanılan, organik yapıların çeşitli katkılarıyla güçlendirilmesi ile elde edilen yapılardır (İçli, 2006). Nanokompozitler, saf polimerlere göre anlamlı ölçüde geliştirilmiş termal, mekanik, optik ve fizikokimyasal özellikler sergilerler (Şen ve ark., 2010).

Nanotüpler, yüksek mekanik dayanımları ve elektriksel iletkenlikleri ve inert kimyasal özellikleri sebebiyle, kompozit üretimi için ideal dolgu maddeleri olarak kabul edilirler (Arslan, 2011).

Wu & Shaw (2005), dört polimer blendi hazırlamıştır. Hazırladıkları blendlere CNT eklediklerinde, hazırladıkları nanokompozitlerin elektriksel iletkenliğinin ve mekanik özelliklerinin saf karışımlara/blendlere göre daha yüksek olduğunu görmüşlerdir.

Yüksek performanslı bir CNT polimer kompoziti üretiminin, matristen CNT'ye verimli yük transferine bağlı olduğu görülmüştür. Bunun sağlanması için kullanılan yöntemlerden biri de çözelti içinde fiziksel karıştırma yöntemidir (Tasis ve ark., 2006).

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada, kullanılan PMMA, PVC, Tetrahidrofur (THF) ve çok duvarlı karbon nanotüpler Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. PMMA'nın ortalama molekül ağırlığı 15000 ve PVC düşük molekül ağırlıklıdır. Çözücü ve dispersiyon ortamı olarak saflığı %99 olan tetrahidrofur (THF) kullanılmıştır. Çok duvarlı karbon nanotüpler %98'den daha saf olup çapları 6-13 nm, boyları 2.5-20 µm arasındadır.

Tartımlar OHAUS hassas terazide yapılmıştır. Ultrasonik karıştırmada Lab. Companion marka ultrasonik banyo kullanılmıştır. Mekanik karıştırma işlemleri Dathan MS-MP8 manyetik karıştırıcıda yapılmıştır.

Termogravimetrik analizler (TGA) Karabük Üniversitesi MARGEM laboratuvarında Hitachi STA 7300 termo-gravimetrik diferansiyel taramalı analizörde 10°C/dk hızda yapılmıştır. DSC analizleri ODTÜ MERLAB TAL biriminde Perkin Elmer Diamond Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ile 10°C/dk hızda yapılmıştır. SEM görüntüleri Van YYÜ BAUM ZEISS Sigma 300 marka FESEM (Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazından elde edilmiştir.

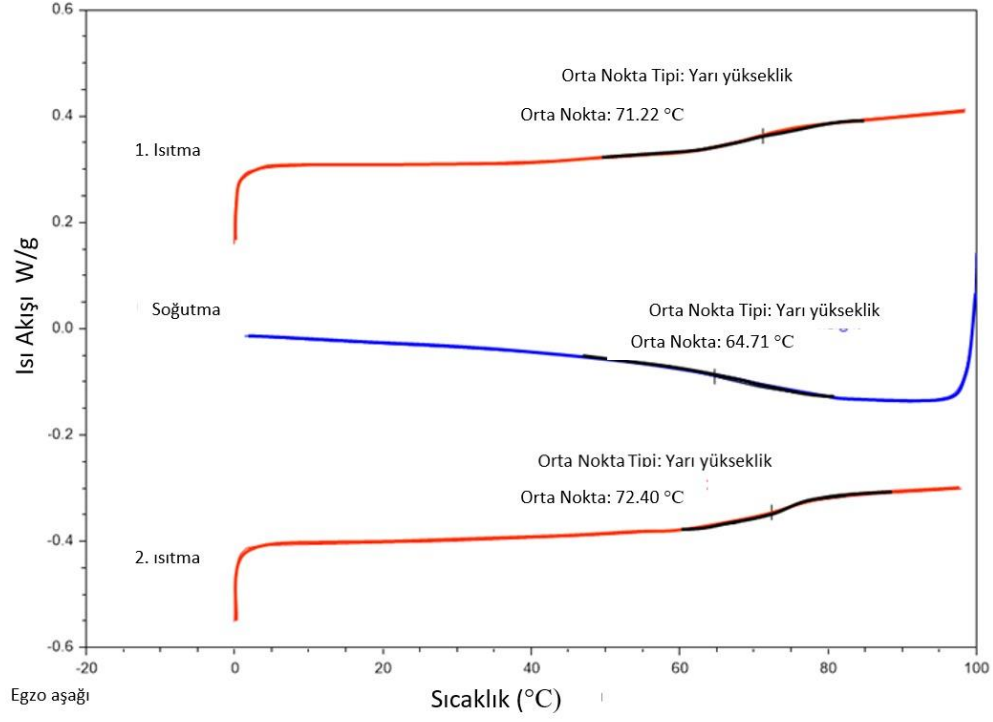
Bu çalışmada ortak çözüldüden dökme yöntemi kullanıldı. PVC:PMMA'nın %80:20 oranında olmak üzere 1g'lık üç adet karışımı hazırlandı. Karışımlar üzerine 20'şer mL THF (tetrahidrofur) çözücü eklendi. Polimer karışımlarının THF ile hazırlanan çözeltileri mekanik karıştırıcıda, oda sıcaklığında ve 600 rpm'de iki saat boyunca karıştırıldı. Karıştırma sürerken karışımın ağırlıkça %1, %3 ve %5'e karşılık gelen miktarlarda (10, 30 ve 50 mg) CNT 10mL'lik flakonlarda tartıldı. Her bir flakona 10'ar mL THF eklendi. Polimer çözeltilerinin karıştırma işleminin bitimine 30 dk kala önceden hazırlanmış CNT-THF dispersiyonları ultrasonik banyoda 30 dk süreyle homojenize edildi.

Homojenize edilen CNT-THF dispersiyonları, polimer çözeltilerine eklendi. Oluşturulan yeni karışım iki saat süreyle ultrasonik banyoda homojenize edildi. Daha sonra karışım manyetik karıştırıcı da bir saat süreyle tekrar karıştırıldı. Elde edilen homojen CNT-polimer çözeltisi karışımı, petrilere döküldü. Petrilere dökülen karışım bir gece 65°C etüvde kurutulduktan sonra bir gün oda sıcaklığında bekletilerek nanokompozitler elde edildi.

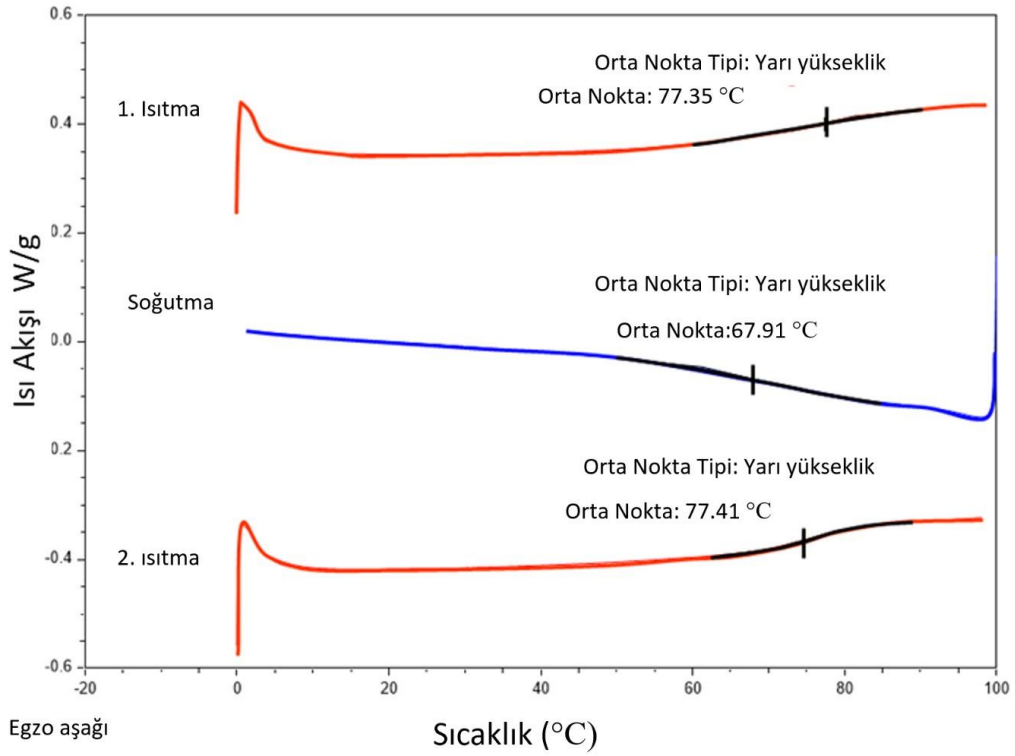
Bu çalışmada %1, %3 ve %5 oranlı CNT katkı yüzdelere göre numuneler, sırayla FD1, FD3 ve FD5 olarak kodlanmıştır.

3. Bulgular

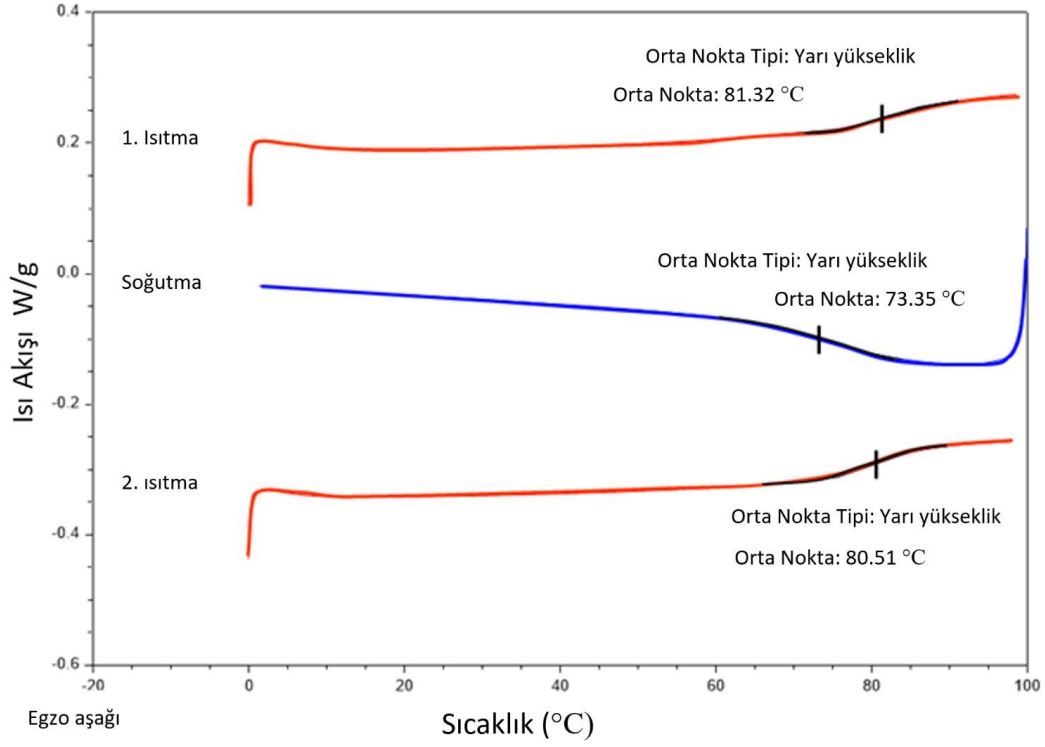
Şekil 1, 2 ve 3, %1, 3 ve 5 CNT içerikli FD1, FD3 ve FD5 nanokompozitlerin diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) eğrileridir. Şekil 4, FD1, FD3 ve FD5'in TGA eğrileridir. Şekil 5, 6 ve 7 FD1, FD3 ve FD5'in SEM görüntüleridir.



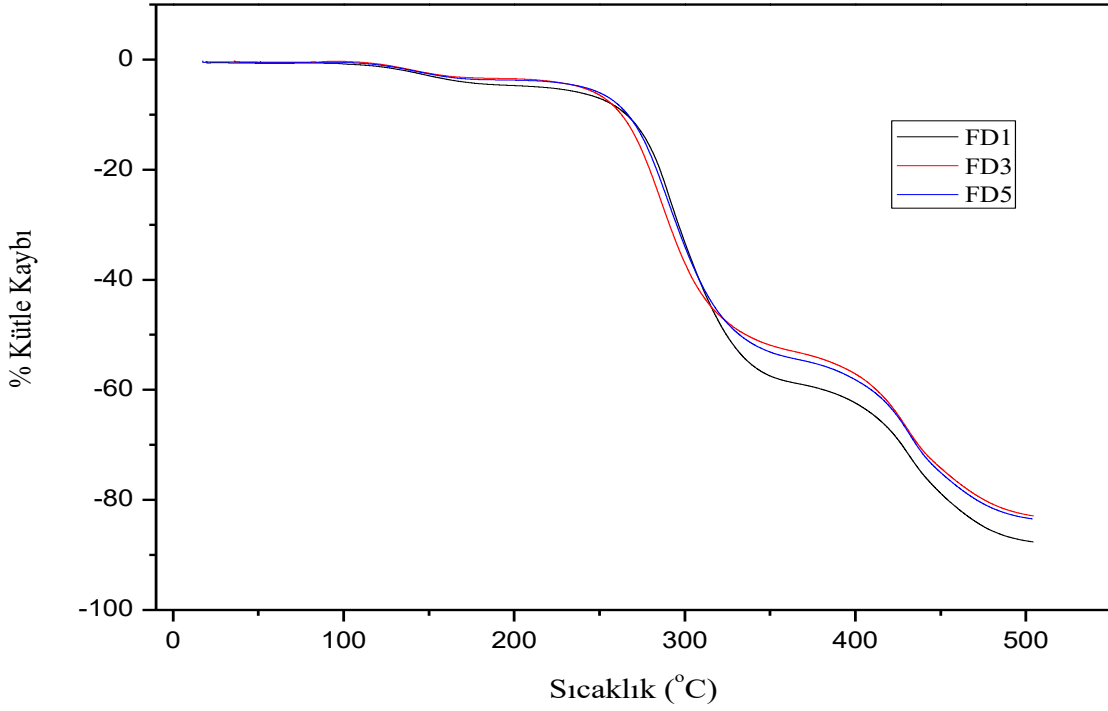
Şekil 1. %1 CNT (FD1) içeren nanokompozitin DSC eğrisi.



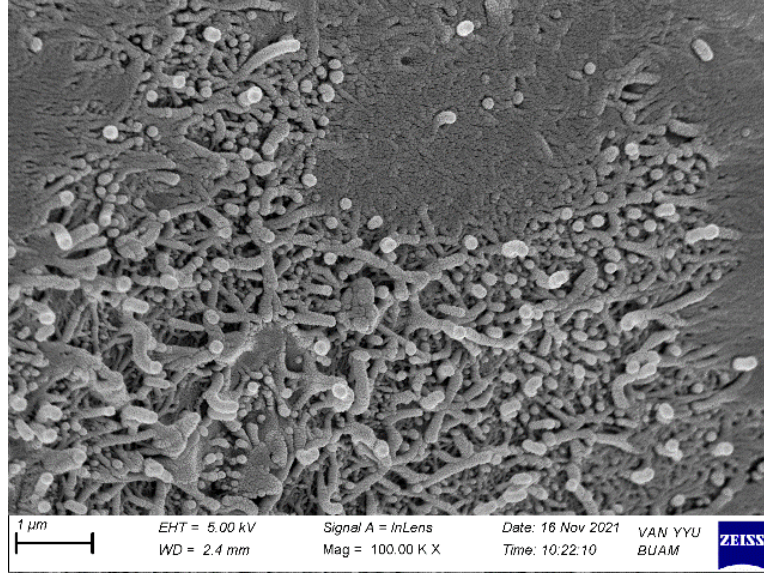
Şekil 2. %3 CNT (FD3) içeren nanokompozitin DSC eğrisi.



Şekil 3. %5 CNT (FD5) içeren nanokompozitin DSC eğrisi.



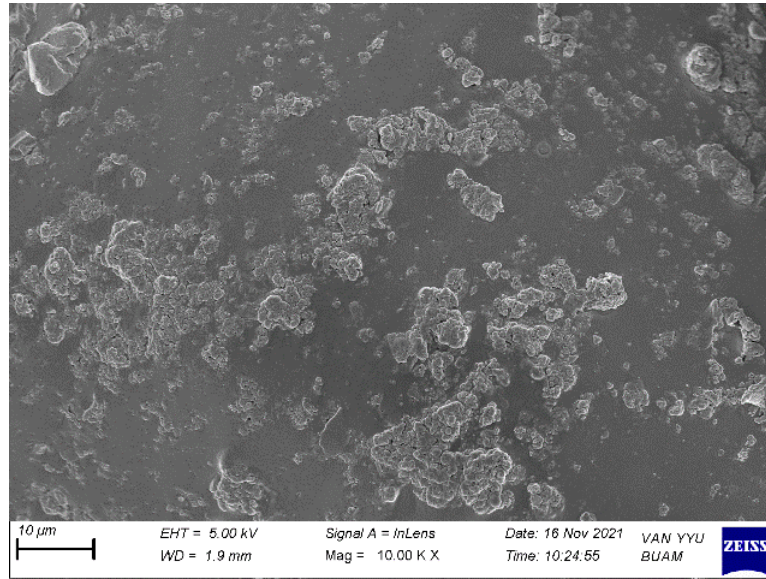
Şekil 4. %1, 3 ve 5 CNT katkıli nanokompozitlerin TGA eğrileri.



Şekil 5. %1 CNT (FD1) katkıli nanokompozite ait SEM görüntüsü.

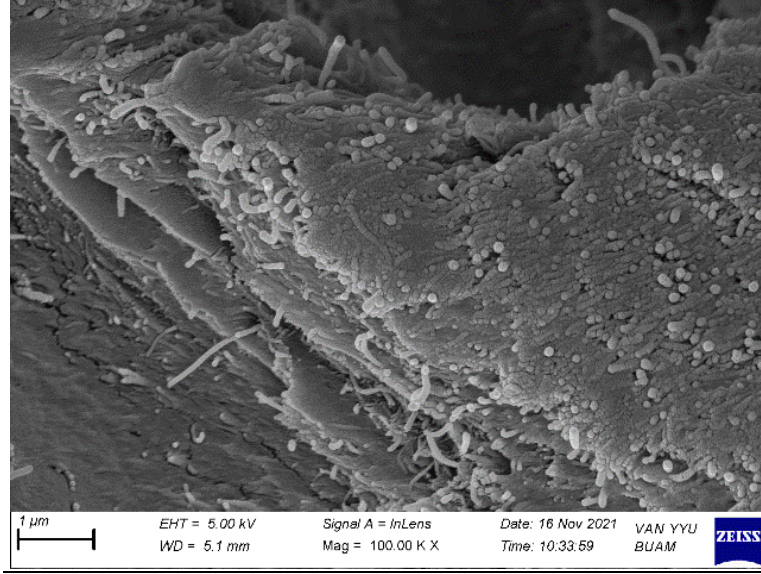
TGA analizinde %1 CNT katkıli numunede, iki basamaklı bir eğri elde edilmiştir. Kütle kaybının yaklaşık 210 °C’de başladığı görülmektedir. İkinci kütle kaybı basamağı yaklaşık 374 °C’de ortaya çıkmıştır. Camı geçiş sıcaklığı DSC eğrisinde ısıtma yönünde ortalama 71.22 °C olarak belirlenmiştir.

SEM görüntülerinde lokal aglomere olmuş bölgelere rastlanmış olmasına rağmen sorunsuz bir homojenizasyondan bahsetmek mümkündür.



Şekil 6. %3 CNT (FD 3) katkıli nanokompozite ait SEM görüntüsü.

Yüzde 3 CNT katkıli numunede de iki basamaklı bir TGA eğrisi elde edilmiştir. Büyük kütle kaybının 224 °C ve 358 °C de olduğu görülürken bu durum DSC grafiğinde camı geçiş sıcaklığı ısıtma yönünde ortalama 77.35°C olarak saptanmıştır. SEM görüntülerinde yine aglomere bölgelere rastlanmıştır. Bunun yanı sıra daha yakın görüntüleme de polimer matris ve CNT etkileşiminin güçlü olduğu görülmektedir.



Şekil 7. %5 CNT (FD5) katkılı nanokompozite ait SEM görüntüsü.

Yüzde 5 CNT katkılı numunede de iki basamaklı bir TGA eğrisi elde edilmiş olup büyük kütle kayıplarının 226 °C ve 367 °C’de gerçekleştiği görülmüştür. DSC eğrisinde de aynı aralıkta elde edilen endotermik erime piki önceki örneklerle uyumludur. Bu numunede camsı geçiş sıcaklığı (T_g), ısıtma yönünde ortalama, 81.32 °C olarak saptanmıştır. SEM görüntülerinde de aglomere bölgelerin yanında homojen bölgelere rastlanmakta ve CNT’lerin polimer matrisle güçlü bir etkileşim sergilediği görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada CNT’nin, polimer blendinin T_g ’sini artırıcı etkisi olduğu Çizelge 1’de görülmektedir, Wu ve ark. (2011)’nin çalışmalarında da benzer sonuçlara rastlanmıştır. Değişen miktardaki CNT katkısının erime sıcaklığında ve kütle kaybında fark yarattığı gözlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen T_g değerlerinin ayrıca El Sayed (2020)’in çalışmasındaki endotermik T_g eğrisindeki değerlerle de uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 1, FD1, FD3 ve FD5’in ısıtma yönlü DSC analizlerinden elde edilmiş camsı geçiş sıcaklıklarını (T_g) göstermektedir. Çizelge 2, FD1, FD3 ve FD5’in TGA bozunma sıcaklıklarını ve toplam kütle kayıplarını göstermektedir. Çizelge 1.Değerleri CNT miktarı arttıkça T_g ’nin yükseldiğini göstermektedir. Çizelge 2’nin değerleri, CNT miktarındaki artışla birinci bozunma sıcaklıklarının yükseldiğini ve toplam kütle kayıplarının azaldığını göstermektedir.

Çizelge 1. DSC analizinde T_g değerleri

Numune Kodu	T_g (°C)
FD 1	71.22°C
FD 3	77.35°C
FD 5	81.32°C

Çizelge 2. TGA Bozunma sıcaklıkları ve yüzde kayıpları

Numune Kodu	1. Bozunma	2. Bozunma	Toplam % Kayıp
FD 1	219°C	374°C	
% Kayıp	59	24	87
FD 3	224°C	358°C	
%Kayıp	49	32	84
FD 5	226°C	367°C	
% Kayıp	50	29	83

Bu çalışmadaki TGA eğrisinin Saeed & Khan (2015) ve El Sayed (2020)'in çalışmalarında gözlenen eğrilerle uyumlu olduğu görülmüştür. Alghunaim (2015)'e göre ilk bölge fiziksel olarak zayıf, kimyasal olarak güçlü H₂O'nun ve CO ile CO₂ buharlarını içeren %7 civarında kaybın gözlemlendiği bölge iken, ikinci bölge ana bozunma bölgesidir. Yapılan TGA analizinin ilk aşamasında yaklaşık %4 kütle kaybı gözlenmiş olup bu kütle kaybının Alghunaim (2015)'in çalışmasında belirtilen nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Chakrabarti ve ark. (2004) ilk bozunma eğrisindeki meydana gelen kütle kaybının karışımdaki PVC'nin termal bozunmasıyla ortaya çıkan dehidroklorizasyondan kaynaklandığını öne sürmüşlerdir. Bu eğride aynı zamanda PMMA'nın ilk etapta düşük sıcaklıklarda birleşerek sonlanmasından oluşan baş-baş bağlanmada H-H bağları kolaylıkla kırılır. İkinci adımda ağırlık kaybı, orantısız sonlanmadan dolayı polimer sonlarındaki kararsız C-C çift bağlarından kaynaklanmaktadır. Son olarak ağırlık kaybının PMMA zincirlerinin rastgele kırılmasından meydana geldiği ifade edilmiştir (Ferriol, 2003). Aouachria ve ark. (2018)'na göre, PMMA'nın termal ayrışması, 309.88 °C'de zincirlerin kırılması ve düzgün monomerin salınmasıyla elde edilir. Ramesh & Liew (2012), ikinci önemli ağırlık kaybının rastgele zincir bölünme reaksiyonu ile depolimerizasyon, dimer, trimer ve oligomerlerin oluşmasından kaynaklandığı görüşündedir. Yapılan çalışmada ikinci ağırlık kaybının aynı nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada görülen sıcaklık farkının CNT katkısından kaynaklandığı düşünülebilir. Artan CNT miktarına bağlı olarak bozunma sıcaklığında gözlenen artış, Joseph ve ark. (2019) ile uyumludur. Bu çalışmada CNT miktarı arttıkça toplam kütle kaybının azaldığı gözlemlenmiştir. Kütle kaybındaki bu azalmanın ve bozunma sıcaklığındaki yükselmenin, CNT ile polimer karışımı arasındaki güçlü bağlantıdan ve CNT'nin homojen dağılımından kaynaklandığı düşünülebilir. SEM görüntülemesindeki, aglomere bölgelerin, Ali ve ark. (2010) ve Saeed & Khan (2015)'in çalışmasıyla uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bu aglomere bölgelerin CNT katkılı polimerik nanokompozitlerde olası bir uyum azlığına ve karışım sorunlarına yol açabileceği düşünülmelidir.

Teşekkür

Bu çalışmada FDK-2020-8776 Nolu tez projesi kapsamında maddi destek veren Van YYÜ BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Ahmad, Z., Al-Awadi, N. A., & Al-Sagheer, F. (2008). Thermal degradation studies in poly (vinyl chloride)/ poly (methyl methacrylate) blends. *Polymer Degradation and Stability*, 93(2), 456-465. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.20
- Alghunaim, N. S. (2015). Spectroscopic analysis of PMMA/PVC blends containing CoCl₂. *Results in Physics*, 5, 331-336. doi: 10.1016/j.rinp.2015.11.003
- Ali, S. H. R., Bedewy, M. K., Etman, M. A., Khalil, H. A., & Azzam, B. S. (2010). Morphology and properties of polymer matrix nanocomposites. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 1(1), 33-39. doi: 10.1051/ijmqe/2010009
- Alvi, F., Ram, M. K., Basnayaka, P. A., Stefanakos, E., Goswami, Y., & Kumar, A. (2011). Graphene-polyethylenedioxythiophene conducting polymer nanocomposite based supercapacitor. *Electrochimica Acta*, 56, 9406-9412. doi: 10.1016/j.electacta.2011.08.024

- Aouachria, K., Massardier, V., Benaniba, M. T., & Belhaneche-Bensemra, N. (2018). Evaluation of the effects of acetyl tributyl citrate as bio-based plasticizer on the physical, thermal, and dynamical mechanical properties of poly (vinylchloride)/polymethyl methacrylate blends. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 25(4), 1-10. doi: 10.1002/vnl.21646
- Arslan, F. (2011). *Karbon nanotüp takviyeli polimer nanokompozit geliştirilmesi*. (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Bitinis, N., Hernandez, M., Verdejo, R., Kenny, J. M., & Lopez-Manchado, M. A. (2011). Recent advances in clay/polymer nanocomposites. *Advanced Materials*, 23, 5229-5236. doi: 10.1002/adma.201101948
- Chakrabarti, R., Das, M., & Chakraborty, D. (2004). Physical, mechanical, and thermal properties of PVC/PMMA blends in relation to their morphologies. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(6), 2721-2730. doi: 10.1002/app.20621
- El Sayed, A. M. (2020). Synthesis, optical, thermal, electric properties and impedance spectroscopy studies on P(VC-MMA) of optimized thickness and reinforced with MWCNTs. *Results in Physics*, 17, 1-13, 103025. doi: 10.1016/j.rinp.2020.103025
- Ferriol, M., Gentilhomme, A., Cochez, M., Oget, N., & Mieloszyński, J. L. (2003). Thermal degradation of poly (methyl methacrylate) (PMMA): Modelling of DTG and TG curves. *Polymer Degradation and Stability*, 79(2), 271-281. doi: 10.1016/s0141-3910(02)00291-4
- Gupta, T. K., & Kumar, S. (2018). Fabrication of carbon nanotube/polymer nanocomposites. In R. Rafie (Ed), *Carbon Nanotube- Reinforced Polymers*, (pp. 61–81). UK: Elsevier. doi: 10.1016/b978-0-323-48221-9.00004-2
- İçli, S. (2006, Kasım). *Polimerik kompozitler: Geleceğin teknolojileri*. I. Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Sergisi, İzmir.
- Joseph, J., Munda, P. R., John, D. A., Sidpara, A. M., & Paul, J. (2019). Graphene and CNT filled hybrid thermoplastic composites for enhanced EMI shielding effectiveness. *Materials Research Express*, 6, 1-12. doi: 10.1088/2053-1591/ab1e23
- Müller, K., Bugnicourt, E., Latorre, M., Jorda, M., Echegoyen Sanz, Y., Lagaron, J. M., Miesbauer, O., Bianchin, A., Hankin, S., Bölz, U., Pérez, G., Jesdinszki, M., Lindner, M., Scheuerer, Z., Castelló, S., & Schmid, M. (2017). Review on the processing and properties of polymer nano composites and nano coatings and their applications in the packaging, automotive and solar energy fields. *Nanomaterials*, 7(4), 74. doi: 10.3390/nano7040074
- Radmilović, V. V., Carraro, C., Uskoković, P. S., & Radmilović, V. R. (2017). Structure and properties of polymer nanocomposite films with carbon nanotubes and graphene. *Polymer Composites*, 38, E490-E497. doi: 10.1002/pc.24079
- Ramesh, S., & Liew, C. W. (2012). Development and investigation on PMMA–PVC blend-based solid polymer electrolytes with LiTFSI as dopant salt. *Polymer Bulletin*, 70(4), 1277-1288. doi: 10.1007/s00289-012-0851-6
- Saeed, K., & Khan, N. (2015). Preparation, morphologies and properties of multiwalled carbon nanotubes-filled PMMA/PVC blends. *Journal of The Chemical Society of Pakistan*, 37(2), 284-289.
- Suresh, S. S., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2020). Effect of recycled poly (vinyl chloride) on the mechanical, thermal and rheological characteristics of recycled poly (methyl methacrylate). *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 3, 1-13. doi: 10.1007/s10163-019-00961-y
- Şen, F., Palancıoğlu, H., & Aldaş, K. (2010). Polimerik nanokompozitler ve kullanım alanları. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 111-118.
- Tanaka, K., (1999). Editorial. In K. Tanaka, T. Yamabe, & K. Fukui (Eds.), *The Science and Technology of Carbon Nanotubes* (pp.V). Oxford, UK: Elsevier.
- Tasis, D., Tagmatarchis, N., Bianco, A., & Prato, M. (2006). Chemistry of carbon nanotubes. *Chemical Reviews*, 106(3), 1105-1136. doi: 10.1021/cr050569o
- Tomić, N. Z. (2020). Thermal studies of compatibilized polymer blends. In A. R., Ajitha, & S., Thomas (Eds.), *Compatibilization of Polymer Blends* (pp. 489-510). UK: Elsevier.
- Wu, M., & Shaw, L. (2005). Electrical and mechanical behaviors of carbon nanotube-filled polymer blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(2), 477-488. doi: 10.1002/app.22255

Wu, J., Xiang, F., Han, L., Huang, T., Wang, Y., Peng, Y., & Wu, H. (2011). Effects of carbon nanotubes on glass transition and crystallization behaviors in immiscible polystyrene/ polypropylene blends. *Polymer Engineering & Science*, 51(3), 585-591. doi: 10.1002/pen.21833