

# Poli (Vinil klorür)/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Manyetik Nanopartikül Kompozitlerinin Sentezi, Termal ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

Mustafa Ersin PEKDEMİR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Elazığ, Türkiye.

e-posta: epekdemir@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4979-1777>

Geliş Tarihi: 01.07.2020

Kabul Tarihi: 19.10.2020

## Öz

Çalışmada manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartikülleri birlikte çöktürme yöntemiyle sentezlendi. Sentezlenen nanopartiküllerin TEM ve partikül boyutlandırıcı ile boyutlarının 20 nm civarında olduğu ve XRD ile yapılarının küre şeklinde olduğu belirlendi. VSM ile elde edilen manyetizasyon eğrisinden doygunluk manyetizasyon değeri ( $M_s$ ) 53.28 emu/g olarak bulundu. Ardından Poli(vinil klorür) ile farklı yüzdelerde manyetik nanopartikül kullanılarak kompozitler hazırlandı. Hazırlanan kompozitlerin karakterizasyonu FT-IR spektrofotometresi ile yapıldı. TGA ve DSC ile termal analizleri yapıldı ve nanopartiküllerle hazırlanan kompozitlerde  $T_g$  değerlerinin saf PVC' den daha yüksek olduğu görüldü. Elektriksel ölçüm sonuçlarından, MNP ilavesinin dielektrik sabitini düşürdüğü görüldü. Ayrıca AC iletkenliğinin artan frekansla artış göstermesine rağmen kompozitlerin iletkenliğinin saf PVC' den daha düşük olduğu belirlenmiştir.

### Anahtar kelimeler

Manyetik nanopartikül;  
PVC; Kompozit;  
Termal; Dielektrik

## Synthesis, Investigation of Thermal and Electrical Properties Poly(Vinyl chloride)/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Magnetic Nanoparticle Composites

### Abstract

In this study, magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles were synthesized by co-precipitation. It was determined that the dimensions of the synthesized nanoparticles with TEM and Particle Sizer were around 20 nm and their structures were spherical by XRD. Saturation magnetization value ( $M_s$ ) from the magnetization curve obtained by VSM was found as 53.28 emu/g. Then, composites were prepared using Poly (vinyl chloride) with different percentages of magnetic nanoparticles. The PVC/magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles were characterized by FT-IR spectrophotometer. Thermal analyzes were carried out by DSC and TGA, and  $T_g$  values of composites were found to be higher than pure PVC. From the electrical measurement results, it was observed that the addition of MNP reduced the dielectric constant. Additionally, although AC conductivity increases with increasing frequency, it is determined that the conductivity of composites is lower than pure PVC.

### Keywords

Magnetic nanoparticle;  
PVC; Composite;  
Thermal; Dielectric

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Nanomalzemelerin sentezindeki ilerleme, nanokompozitlerin üretiminde olası kullanımına yönelik araştırma ilgisini canlandırmıştır (Byrne and Gun'ko 2010; Thostenson *et al.* 2001).

Nanokompozitler, çoğunlukla polimerlerin konak görevi gördüğü konak matrislerde nanometre boyutlarında dolgu maddesi olarak hazırlanır. Nanokompozitler her zaman araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Bunun nedeni konak materyallerin

fiziksel özellikleri, uygun şartlarda eklenen nanoboyuttaki malzemelere uygun hale gelebilmesidir. Manyetik olmayan bir materyale az miktarda manyetik nanotaneçiklerin ilave edilmesi ile manyetik hale getirilebilmesi bu duruma örnek olarak gösterilebilir (Wilson *et al.* 2004). Benzer

şekilde yalıtkan polimer matrisine iletken dolgu maddesinin uygun miktarda ve şartlarda eklenmesiyle elektriksel iletkenliği değiştirilebilir (Moniruzzaman and Winey 2006). Nanokompozitlerin avantajlarından birisi nano boyutta inorganik katkı maddeleri ısıl kararlılık gösterir yani farklı sıcaklıklarda ve uzun zamanlı kullanımda boyutlarında değişiklik göstermezler. Çoğu uygulamalarda polimerik malzemelerin uzun zamanlı ve farklı sıcaklıklarda kullanıldığında ısıl kararlılık göstermesi istenmektedir (Tavman and Turgut 2006).

Nanoparçacıklar polimer hacmine göre oldukça yüksek yüzey alanına sahiptirler. Ayrıca nanoparçacıklarda birden çok atomun farklı bağlarla etkileşmesinden dolayı, polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı, gerilme kuvveti, ısıl bozunma ve kimyasal dirençlerinde büyük oranda iyileşmeye sebep olduğu görülmüştür (Balazs *et al.* 2006; Bayramoğlu and Eşiyok 2017). Demir oksit nanoparçacıklarının ve bunların kompozit nanomalzemelerinin hazırlanması, elektronik, manyetik, katalitik, kimyasal ve biyolojik özellikleri nedeniyle hem temel hem de pratik ilgiyi çekmiştir (Haruna *et al.* 2020; Khan *et al.* 2010; Reddy *et al.* 2008; Reddy *et al.* 2007). Manyetik nanoparçacıkların uygulama alanlarından birkaçı, tıbbi tanı için manyetik rezonans görüntüleme, kontrollü ilaç salınımı, yüksek yoğunluklu manyetik kayıt, kataliz ve enerji dönüşümüdür (Li *et al.* 2003; Pekdemir *et al.* 2012; C. Sun *et al.* 2008; S. Sun *et al.* 2000). Nanoparçacıkların uygulama alanlarının çoğu boyutlarının kolay kontrol edilebilmesi, morfolojisi ve yüzey özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Shafi *et al.* 2001; S. Sun *et al.* 2004; Teng and Yang 2004; Woo *et al.* 2004).

Poli vinil klorür (PVC) malzemeleri, pipet, elektrik kabloları, kesit çubukları gibi geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Son yıllarda PVC'yi modifiye etmek ve sertliğini artırmak için yapılan çalışmalar yoğun bir şekilde artmıştır (Chen *et al.* 1995; Klarić *et al.* 2000). PVC, plastizerler, ısı stabilizatörleri, yağlayıcılar, dolgu maddeleri ve diğer monomerlerle kopolimerizasyon gibi katkı maddelerinin dahil edilmesiyle gelişme göstermiştir (Endo 2002). Bu yöntemler arasında PVC'nin inorganik dolgu

maddeleri ile birleştirilmesi uygun ve verimli yöntemlerden birisidir. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin, dolgu maddesinin en boy oranıyla doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir (Xie *et al.* 2004). Manyetik nanoparçacık içeren polimerik lifler, yüksek frekanslı elektronik uygulamalarda etkileyici materyaller olan manyetik nanoparçacıkların yüksek manyetik hassasiyeti ile polimerik nanofiber materyallerin özelliklerini (yüksek hacim /yüzey oranı, iyi mekanik esneklik ve yüksek elektriksel direnç) birleştirirler (Chiscan *et al.* 2012).

Nanoparçacıkların polimer matrisinde homojen dağılım göstermesi nanoparçacıkların güçlendirici ve sertleştirici etkisinin en önemli anahtarıdır (Thio *et al.* 2002). Bu çalışma da; PVC matris tabakasında çekirdek olarak Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıklarının yer aldığı misel bir ortamda in situ polimerizasyon yöntemi kullanılarak PVC/manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kompozit nanopartikülleri sentezlenmiştir. Farklı yüzdelerde nanopartikül kullanılarak elde edilen kompozitlerin FT-IR spektroskopisi ile karakterizasyonu yapılmıştır. Ayrıca termal özellikleri incelenmiş ve SEM ile de yüzey morfolojilerine bakılmıştır. Son olarak kompozitlerin elektriksel özellikleri ve iletkenlik değerlerindeki değişim karşılaştırmalı olarak yapılmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1 Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanopartiküllerinin (MNP) Sentezi**

Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartikülleri birlikte çöktürme yoluyla elde edilmeye çalışıldı. FeCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O ve FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O çözeltileri Fe<sup>+2</sup>/Fe<sup>+3</sup> oranı ½ olacak şekilde 50 mL'lik çözeltisi hazırlandı. Hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcıda karıştırken üzerine 250 mL 0.3 M NaOH çözeltisinden damla damla ilave edildi. Çözelti rengi siyaha dönene kadar karıştırılmaya devam edildi. Elde edilen nanopartiküller miknatıs altında toplandı ve santrifüj tüplerine alındı. 12500 rpm' de santrifüj edilerek saf su ile yıkama yapıldı ve bu işlem 3 kez tekrarlandı. Ardından 0.03 M HCl çözeltisi tüplere ilave edildi ve 24 saat çalkalayıcıda bırakıldı. Son olarak 3 kez 13000 rpm' de santrifüj edilerek saf su

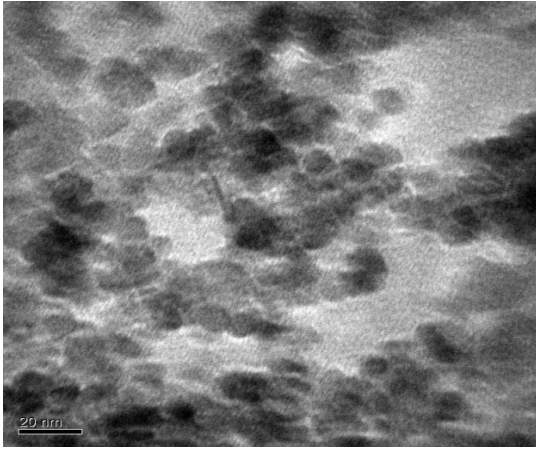
ile yıkama yapıldı ve kuruması için 40 °C' lik etüv de 2 gece kurumaya bırakıldı.

## 2.2 Poli (vinil klorür) / Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanopartikül Kompozitlerinin Sentezi

1.0 gram poli (vinil klorür) (PVC) 10 mL susuz tetrahidrofuran içerisinde çözüldü. Üzerine farklı yüzdelerde sırasıyla % 0.5, %1, %5, %10 ve %15 oranlarında MNP ilave edildi. Ultrasonik homojenizatör de 30 dakika boyunca dispers edildi. Ardından etil alkol içerisinde PVC/MNP kompozitleri çöktürülerek vakumlu etüvde 40 °C' de 24 saat bekletildi.

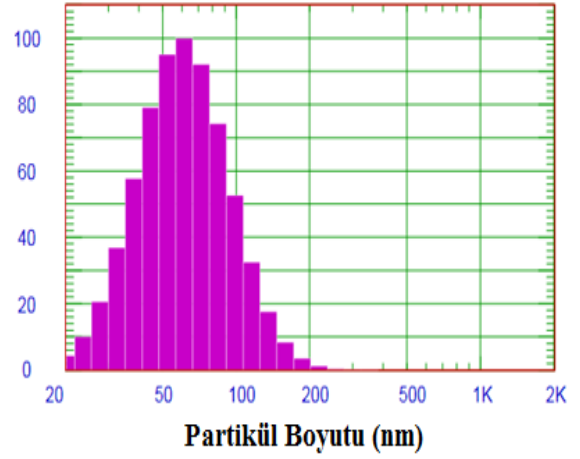
## 3. Bulgular

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin yüzey morfolojisi Şekil 1' de TEM ile incelendi. Görüntülere bakıldığında taneciklerin küre şeklinde olduğu ve tanecik boyutlarının 20 nm homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Nanopartiküllerin yüzey alanlarının geniş olması ve yüzey enerjilerinin yüksek olmasından dolayı agrege oldukları görülmüştür.



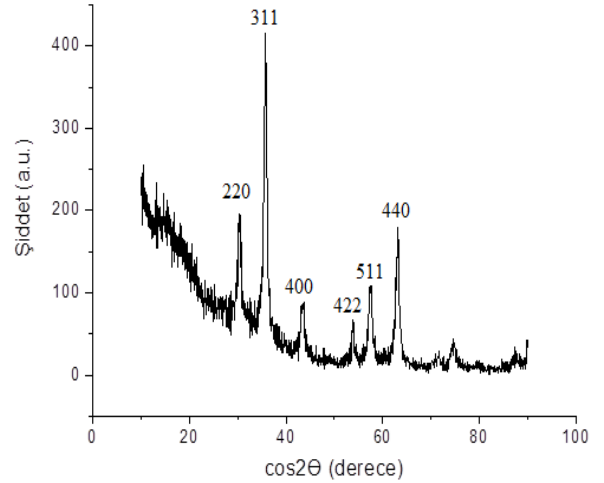
Şekil 1. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin TEM görüntüsü

Şekil 2' de sentezlenen manyetik nanopartiküle ait tanecik boyut dağılımı gösterilmiştir. Nanopartikül tanecik boyutlarının %90' dan daha fazlasının 100 nm'den daha küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin tanecik boyut dağılımı

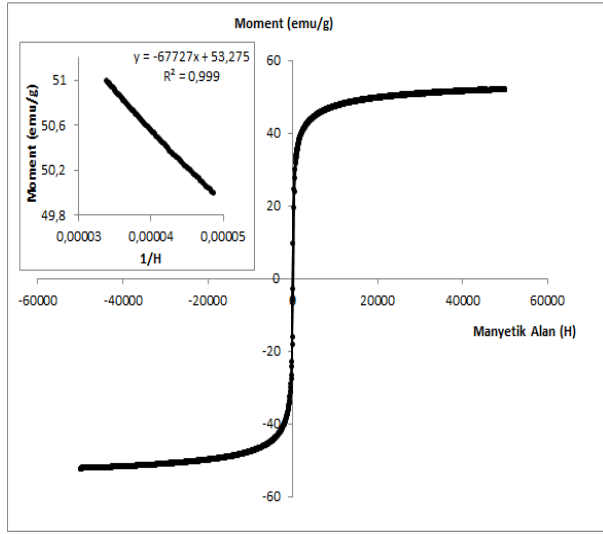
Nanopartiküllerin XRD ölçümü 1.5406 °A dalga boyunda CuKα radyasyonlu D8 ADVANCE model bir difraktometre cihazı ile gerçekleştirildi. Kübik yapıda olan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerine ait karakteristik 2θ açılarının 30.5°, 35.5°, 43.1°, 53.4°, 57.6° ve 62.8° olduğu önceki çalışmalardan bilinmektedir. Bu açıların kırınım tepe noktaları sırasıyla; (220), (311), (400), (422) ve (440) 'a karşılık gelmektedir (Woo et al. 2004).



Şekil 3. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin XRD spektrumu

Manyetik nanopartikülün manyetik özelliklerini incelemek için VSM cihazı kullanılarak 300 K sıcaklığında manyetik ölçümleri yapıldı ve Şekil 4' teki manyetizasyon eğrisi elde edildi. Sentezlenen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin doygunluk manyetizasyon değeri 53.28 emu/g olarak bulundu. Doymunluk manyetizasyonu, moment değerlerinin 1/Manyetik

alan (H)' a karşı elde edilen doğrusal grafiğin y eksenini kestiği noktadan hesaplandı.

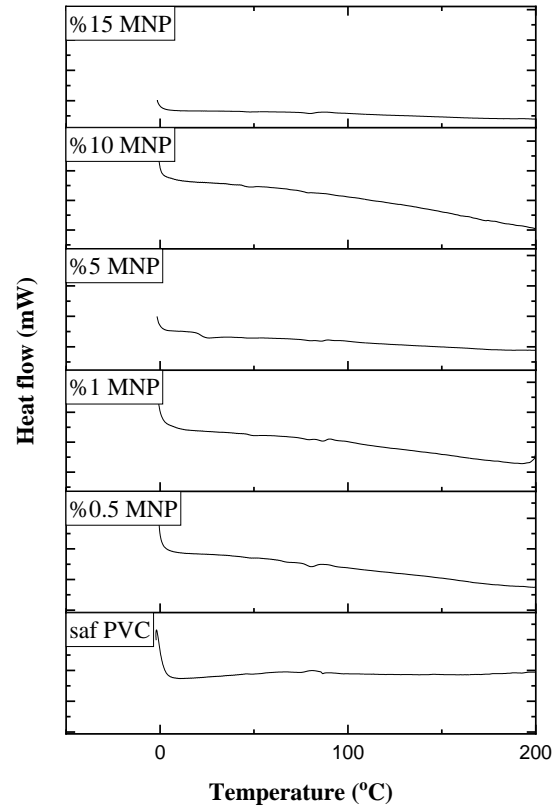


Şekil 4. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin Manyetizasyon eğrisi

Şekil 5' de saf PVC ve farklı yüzdelerde manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartikülleri ile hazırlanan kompozitlerin DSC eğrileri, Şekil 6' da ise kompozitlerin TGA eğrileri, verilmiştir. DSC eğrilerden elde edilen  $T_g$  (camsı geçiş sıcaklığı) ve TGA eğrilerinden elde edilen  $T_i$  (başlangıç bozunma sıcaklığı) ve atık miktarları Çizelge 1' de verilmiştir.

Saf PVC' nin  $T_i$  değeri 260 °C olduğu bilinmektedir (Harun *et al.* 2019). MNP ilavesiyle hazırlanan PVC kompozitlerinin  $T_i$  değerlerinin saf PVC' den daha düşük olduğu görüldü. Ayrıca MNP ilavesiyle kompozitlerin  $T_i$  değerlerinin genel olarak bir artış gösterdiği Çizelge 1.' de görülmektedir. Son olarak termal verilerde MNP' nin 600 °C' ye kadar bozunma göstermediği bilindiği için, %15 MNP içeren PVC/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kompozitinin atık miktarının en fazla olduğu (17.4) belirtildi. %0.5, %1, %5 ve %10 MNP içeren kompozitlerin 600 °C' deki atık miktarları sırasıyla 9.1, 10.6, 13.6 ve 15.2 olduğu Çizelge 1' de gösterildi.

Kullandığımız saf PVC' nin  $T_g$  sıcaklığının 85 °C olduğu daha önceki çalışmamızda görülmüştür (Harun *et al.* 2019). MNP ilavesiyle hazırlanan kompozitlerin  $T_g$  değerleri saf PVC' den daha düşük olduğu, ancak MNP yüzdesiyle çok fazla değişmediği saptandı.

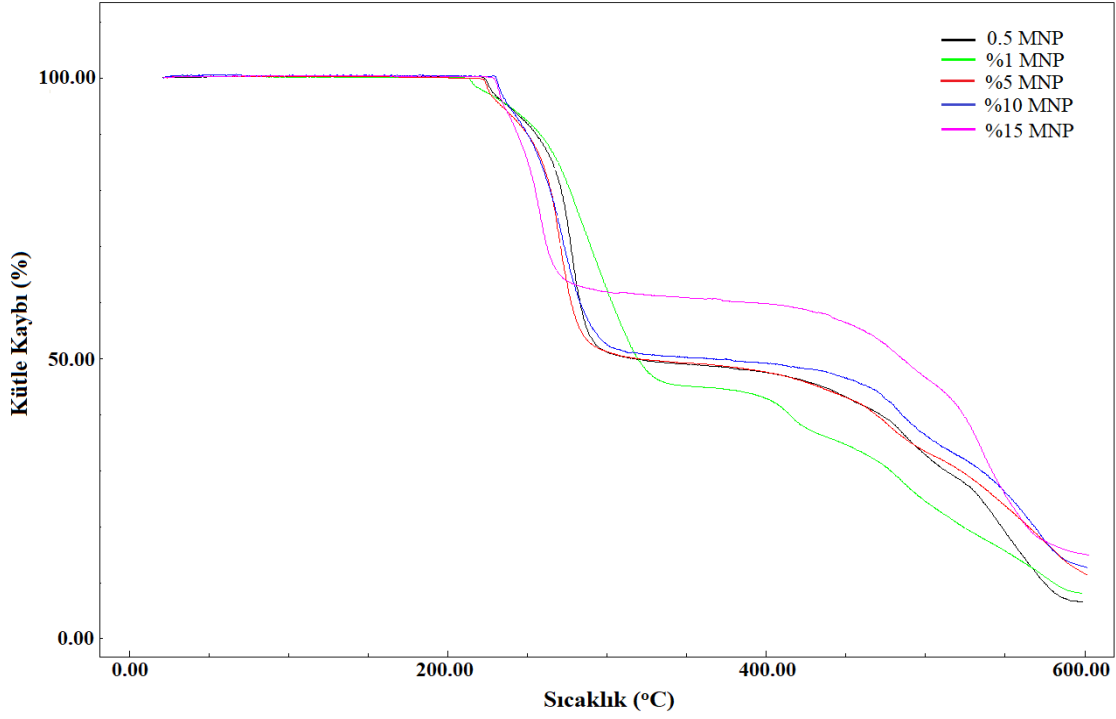


Şekil 5. MNP/PVC kompozitlerinin DSC eğrileri

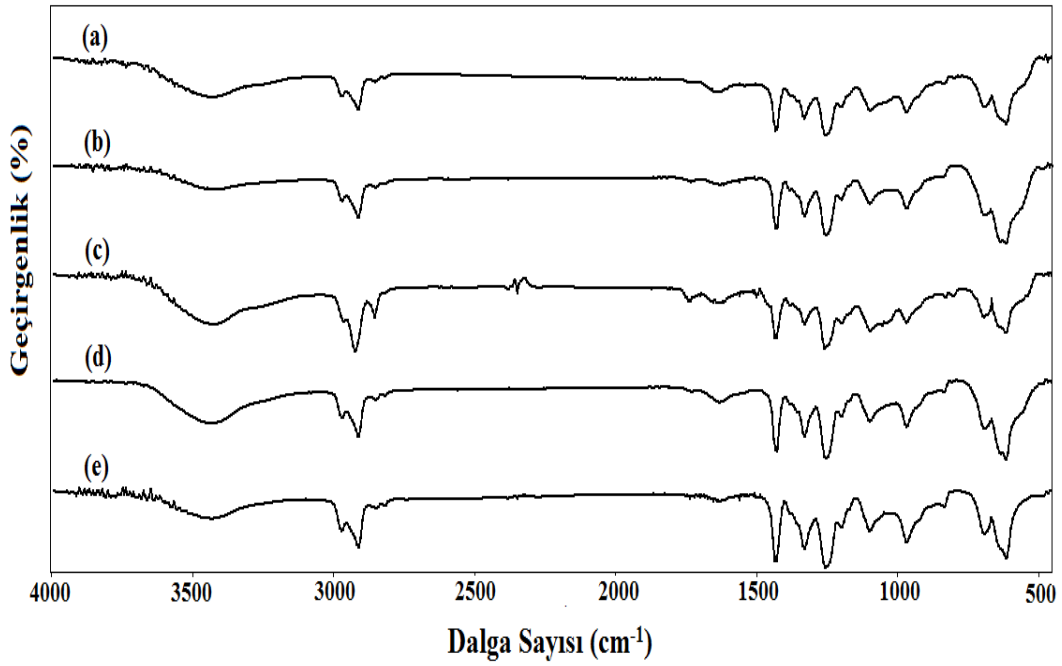
Çizelge 1. PVC/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartikül kompozitlerinin termal verileri

PVC/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> nanopartikül Kompozitleri	$T_g$ (°C)	$T_i$ (°C)	350 °C' de Ağırlık Kaybı (%)	600 °C' deki atık miktarı
% 0.5 MNP	78 °C	221	48.4	9.1
% 1 MNP	77 °C	215	53.2	10.6
% 5 MNP	79 °C	224	47.6	13.6
% 10 MNP	77 °C	231	46.4	15.2
% 15 MNP	78.5 °C	234	36.3	17.4

Şekil 7' de farklı yüzdelerde MNP kullanılarak hazırlanan kompozitlerin FT-IR spektrumları verilmiştir. 2970-2915 cm<sup>-1</sup> de alifatik C-H gerilme titreşimleri, 1245 cm<sup>-1</sup> deki Cl atomuna bağlı C-H eğilme titreşimi, 690 cm<sup>-1</sup> deki ise C-Cl gerilme titreşimine ait pik PVC' nin karakteristik piklerini göstermektedir. Ayrıca yapı ile ilgisi olmayan 3435cm<sup>-1</sup> de O-H gerilme bandı ve 1630 cm<sup>-1</sup> deki eğilme bandı KBr' den kaynaklanmaktadır. PVC' ye ait pikler dışında Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinden gelen Fe-O gerilme titreşimleri ise 637 ve 615 cm<sup>-1</sup> de görülmektedir.



Şekil 6. MNP/PVC kompozitlerinin TGA eğrileri

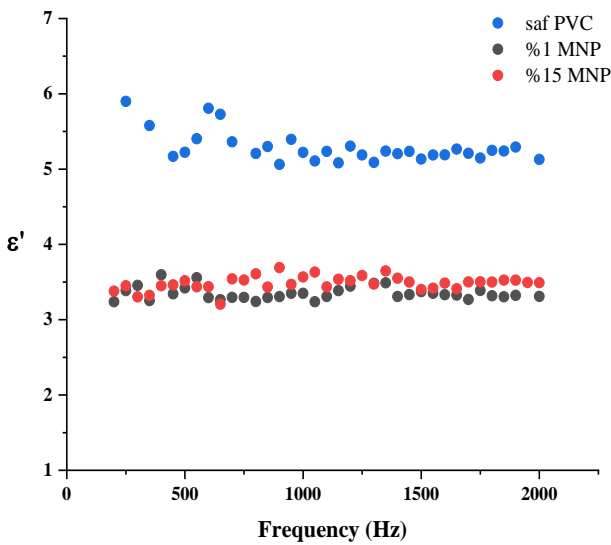


Şekil 7. a) %0.5, b) %1, c) %5, d) %10, e) %15 MNP içeren kompozitlerin IR spektrumları

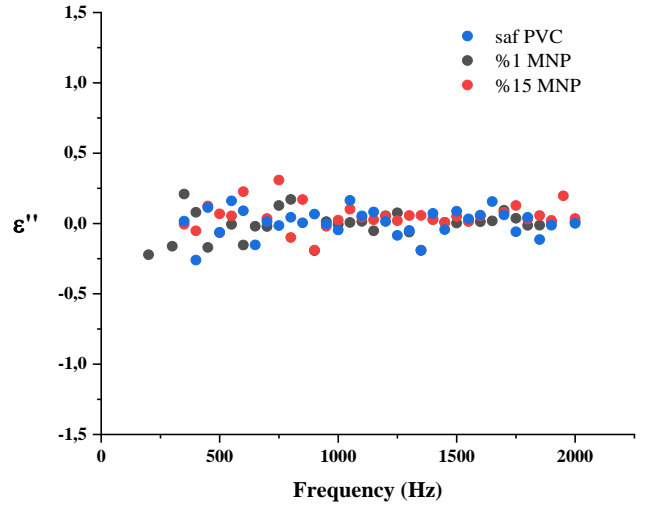
Bir malzemenin kullanım alanlarının belirlenmesinde yalıtkan mı, yarı iletken mi yoksa iletken mi olduğunu belirlemek için elektriksel özelliklerini ölçmek önemli bir parametredir. Bu nedenle bu çalışmada sentezlenen kompozitlerin elektriksel özellikleri de incelenmiştir (Pekdemir and Coşkun 2020).

Geçirgenlik, bir malzemenin uygulanan bir alana yanıt olarak polarize olma yeteneğini ifade eder. Kompleks bağlı geçirgenlikle ilgili olan dielektrik sabiti ( $\epsilon'$ ) ve dielektrik kayıp faktörü ( $\epsilon''$ ), yavaş polarizasyon akımları yoluyla dielektrik bir malzemedeki enerji kaybının bir ölçüsüdür (Ahmad 2012). Şekil 8 ve Şekil 9' da oda sıcaklığında saf PVC

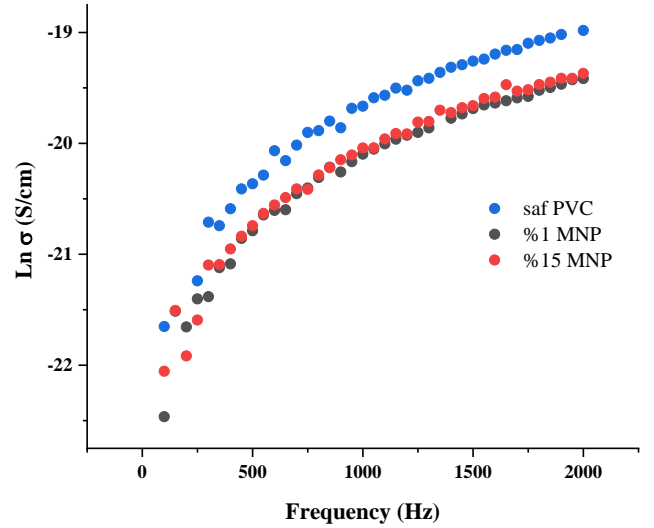
ve %1 ile %15 MNP içeren kompozitlerinin uygulanan frekansın bir fonksiyonu olarak  $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$  arasındaki değişimi göstermektedir. Alternatif bir elektrik alanı altında polar polimerlerin dipolleri hizalamaları için biraz zaman gerekir. Düşük frekanslarda ise yön değiştirmeden önce hizalamayı yapmaları için yeterli zamana sahiptirler (Ahmad 2012). Ara frekanslarda dipoller hareket etmesine rağmen alan yönü değişiminden önce hareketlerini tamamlamışlardır. Ancak yüksek frekanslarda alan yönü değişiminden önce yeterli zamanları yoktur (Tukur *et al.* 2020). Şekil 8' de artan frekansla dielektrik sabitinin azalma gösterdiği ve yüksek frekanslarda tamamen sabitlendiği görülmektedir. Saf PVC' nin dielektrik sabitinin kompozitlerin dielektrik sabitinden daha yüksek olduğu görülürken, kompozitlerde MNP yüzdesi arttıkça dielektrik sabiti değerinin arttığı gözlemlendi. Saf PVC' nin dielektrik kayıp faktörünün ise MNP içeren kompozitler ile hemen hemen aynı olduğu, artan frekansla dielektrik kayıp faktörünün değişmediği görülmüştür. Saf PVC ve %1 ile %15 MNP içeren kompozitlerin AC iletkenliğinin ( $\sigma_{ac}$ ) frekansla değişimi Şekil 10' da gösterildi. Saf PVC ve kompozitlerin AC iletkenliği oda sıcaklığında 1000 Hz' e kadar artan frekansla hızlı bir artış gösterirken, 2000 Hz' e yaklaştıkça daha yavaş bir artış göstermiştir.



Şekil 8. MNP/PVC kompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekans ile değişim grafikleri



Şekil 9. MNP/PVC kompozitlerinin dielektrik kayıp faktörlerinin frekans ile değişim grafikleri



Şekil 10. MNP/PVC kompozitlerinin iletkenliğinin frekans ile değişim grafikleri

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada birlikte çöktürme yoluyla Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanopartikülleri sentezlenerek, ticari olarak kullanılan PVC ile farklı yüzdelerde kompozitleri hazırlandı. Sentezlenen MNP' e ait TEM görüntüleri ve partikül boyut dağılımı, partiküllerin nano boyutta olduğunu ve yaklaşık 20 nm civarında olduğunu göstermektedir. Şekil 3' te verilen XRD spektrumu, daha önceki yapılan çalışmalara dayanarak partiküllerin şeklinin kübik yapıda olduğunu destekler niteliktedir.

Şekil 4' te VSM ölçümünden MNP' nin doygunluk manyetizasyon değeri ise 53.28 emu/g olarak bulundu. Kompozitlerin IR spektrumlarında ise PVC'



ye ait pikler dışında ortamda MNP olduğunu gösteren Fe-O gerilme titreşimleri 615 ve 637  $\text{cm}^{-1}$  de net olarak görülmektedir. TGA eğrilerine bakıldığında, hızla bozulmaya başladığı  $T_i'$  ye dayanarak nanopartiküllerin PVC' nin termal stabilitesini azalttığı söylenebilir. Saf MNP' ye PVC eklendikçe  $T_g$  değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum MNP ilavesinin PVC zincirlerini kısmen ayırdığı ve polimerdeki serbest hacmi artırdığı şeklinde yorumlanabilir. MNP ilavesinin kompozitlerin dielektrik sabitini düşürdüğü ve %15'lik MNP içeren kompozitin dielektrik sabitinin %1' lik MNP içeren PVC kompozitinden daha yüksek olduğu belirlendi. Çalışmada son olarak saf PVC ve kompozitlerin AC iletkenliğine bakıldı. AC iletkenliğinin artan frekansla daha düşük frekanslarda hızlı bir artış gösterdiği ancak yüksek frekanslarda artışın daha az olduğu görüldü.

## 5. Kaynaklar

- Ahmad, Z., 2012, Polymer dielectric materials, M.A.Silaghi, Intech, 3-26.
- Balazs, A.C., Emrick, T. and Russell, T.P., 2006. Nanoparticle polymer composites: where two small worlds meet. *Science*, **314**(5802), 1107-1110.
- Bayramoğlu, G. and Eşiyok, S., 2017. Polistiren-Fosfin Oksit Modifiye Kil Nanokompozitleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **17**(2), 440-448.
- Byrne, M.T. and Gun'ko, Y.K., 2010. Recent advances in research on carbon nanotube-polymer composites. *Advanced materials*, **22**(15), 1672-1688.
- Chen, C., Wesson, R., Collier, J. and Lo, Y., 1995. Studies of rigid poly (vinyl chloride)(PVC) compounds. I. Morphological characteristics of poly (vinyl chloride)/chlorinated polyethylene (PVC/CPE) blends. *Journal of applied polymer science*, **58**(7), 1087-1091.
- Chiscan, O., Dumitru, I., Postolache, P., Tura, V. and Stancu, A., 2012. Electrospun PVC/Fe3O4 composite nanofibers for microwave absorption applications. *Materials Letters*, **68**, 251-254.
- Endo, K., 2002. Synthesis and structure of poly (vinyl chloride). *Progress in Polymer science*, **27**(10), 2021-2054.
- Harun, H., Pekdemir, M.E. and Coşkun, M., 2019. A study on aminated PVC/oxidized MWCNT composites. *Academia Journal of Scientific Research*, **7**(2), 086-094.
- Haruna, H., Pekdemir, M.E., Tukur, A. and Coşkun, M., 2020. Characterization, thermal and electrical properties of aminated PVC/oxidized MWCNT composites doped with nanographite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **139**, 3887-3895.
- Khan, A., Aldwayyan, A.S., Alhoshan, M. and Alsalhi, M., 2010. Synthesis by in situ chemical oxidative polymerization and characterization of polyaniline/iron oxide nanoparticle composite. *Polymer international*, **59**(12), 1690-1694.
- Klarić, I., Vrandečić, N.S. and Roje, U., 2000. Effect of poly (vinyl chloride)/chlorinated polyethylene blend composition on thermal stability. *Journal of applied polymer science*, **78**(1), 166-172.
- Li, P., Miser, D.E., Rabiei, S., Yadav, R.T. and Hajaligol, M.R., 2003. The removal of carbon monoxide by iron oxide nanoparticles. *Applied Catalysis B: Environmental*, **43**(2), 151-162.
- Moniruzzaman, M. and Winey, K.I., 2006. Polymer nanocomposites containing carbon nanotubes. *Macromolecules*, **39**(16), 5194-5205.
- Pekdemir, M.E. and Coşkun, M., 2020. Chemical Bonding of Fe 3 O 4 Nanoparticles on the Surface of Poly (acryloyl chloride) Functionalized Multiwalled Carbon Nanotubes. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, **44**(4), 1001-1010.
- Pekdemir, M.E., Ertürkan, D., Külah, H., Boyacı, İ.H., Özgen, C. and Tamer, U., 2012. Ultrasensitive and selective homogeneous sandwich immunoassay detection by Surface Enhanced Raman Scattering (SERS). *Analyst*, **137**(20), 4834-4840.

- Reddy, K.R., Lee, K.P., Lee, Y. and Gopalan, A.I., 2008. Facile synthesis of conducting polymer-metal hybrid nanocomposite by in situ chemical oxidative polymerization with negatively charged metal nanoparticles. *Materials Letters*, **62**(12), 1815-1818.
- Reddy, K.R., Lee, K.P. and Gopalan, A.I., 2007. Novel electrically conductive and ferromagnetic composites of poly (aniline-co-aminonaphthalenesulfonic acid) with iron oxide nanoparticles: synthesis and characterization. *Journal of applied polymer science*, **106**(2), 1181-1191.
- Shafi, K.V., Ulman, A., Yan, X., Yang, N.-L., Estournes, C., White, H. and Rafailovich, M., 2001. Sonochemical synthesis of functionalized amorphous iron oxide nanoparticles. *Langmuir*, **17**(16), 5093-5097.
- Sun, C., Lee, J.S. and Zhang, M., 2008. Magnetic nanoparticles in MR imaging and drug delivery. *Advanced drug delivery reviews*, **60**(11), 1252-1265.
- Sun, S., Murray, C.B., Weller, D., Folks, L. and Moser, A., 2000. Monodisperse FePt nanoparticles and ferromagnetic FePt nanocrystal superlattices. *science*, **287**(5460), 1989-1992.
- Sun, S., Zeng, H., Robinson, D.B., Raoux, S., Rice, P.M., Wang, S.X. and Li, G., 2004. Monodisperse mfe<sub>2</sub>o<sub>4</sub> (m= fe, co, mn) nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, **126**(1), 273-279.
- Tavman, İ. and Turgut, A., 2006. Mikro ve nano boyutlu tanecik katkılı polimer kompozitlerin mekanik özellikleri. Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli, Türkiye, 570-575.
- Teng, X. and Yang, H., 2004. Effects of surfactants and synthetic conditions on the sizes and self-assembly of monodisperse iron oxide nanoparticles. *Journal of Materials Chemistry*, **14**(4), 774-779.
- Thio, Y., Argon, A., Cohen, R. and Weinberg, M., 2002. Toughening of isotactic polypropylene with CaCO<sub>3</sub> particles. *Polymer*, **43**(13), 3661-3674.
- Thostenson, E.T., Ren, Z. and Chou, T.W., 2001. Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review. *Composites science and technology*, **61**(13), 1899-1912.
- Tukur, A., Pekdemir, M.E., Haruna, H. and Coşkun, M., 2020. Magnetic nanoparticle bonding to PVC with the help of click reaction: characterization, thermal and electrical investigation. *Journal of Polymer Research*, **27**, 161.
- Wilson, J., Poddar, P., Frey, N., Srikanth, H., Mohomed, K., Harmon, J. and Wachsmuth, J., 2004. Synthesis and magnetic properties of polymer nanocomposites with embedded iron nanoparticles. *Journal of Applied Physics*, **95**(3), 1439-1443.
- Woo, K., Hong, J., Choi, S., Lee, H.-W., Ahn, J.-P., Kim, C.S. and Lee, S.W., 2004. Easy synthesis and magnetic properties of iron oxide nanoparticles. *Chemistry of materials*, **16**(14), 2814-2818.
- Xie, X.L., Liu, Q.X., Li, R.K.Y., Zhou, X.P., Zhang, Q.X., Yu, Z.-Z. and Mai, Y.-W., 2004. Rheological and mechanical properties of PVC/CaCO<sub>3</sub> nanocomposites prepared by in situ polymerization. *Polymer*, **45**(19), 6665-6673.