

Hızlı Prototiplemeye Yönelik Termal Dayanımlı Elektromanyetik Kalkan Özellikli Filament Üretimi

Erdi BULUŞ^{1*}, Yeşim Müge ŞAHİN¹, Gülseren SAKARYA BULUŞ²

¹ İstanbul Arel Üniversitesi, ArelPOTKAM (Polimer Teknolojiler ve Kompozit Uygulama ve Araştırma Merkezi), İstanbul, Türkiye

² Bahçeşehir Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mühendislik Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye

*e mail : buluserdi@gmail.com

DOI: 10.57244/dfbd.1222743

Geliş tarihi/Received:22/12/2022

Kabul tarihi/Accepted:31/12/2022

Özet

Elektromanyetik koruma amaçlı toz üretim teknikleri olarak gaz atomizasyon tekniği ve kimyasal çöktürme yöntemi, sol-jel yöntemi vs. örnek verilebilmektedir. Gaz atomizasyon tekniğinde metal bazlı toz üretimi gerçekleşirken, hidroksiapatit (HA) gibi doğal kaynaklardan seramik tozu üretimi kimyasal çöktürme yöntemi ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada atık madde olan yumurta kabuğundan HA sentezlenerek hem çevre kirliliğinin önüne geçilmesine katkıda bulunmuş hem de termal dayanımı ve elektromanyetik kalkanlama özelliği yüksek malzemeler elde edilmiştir. HA ve polilaktik asit (PLA) polimerinden oluşan kompozit malzemenin istenilen özelliklere sahip olabilmesi için çift vidalı ekstruderde karıştırılarak homojen dağılımlı granül haline getirilmiştir. Ağırlıkça %8 ve %15 HA konsantrasyonlarında hazırlanan karışım kullanılarak tek vidalı ekstruder ile üç boyutlu yazıcılarda kullanılmak üzere 1.75mm çapında filament üretimi gerçekleştirilmiştir. Termal dayanımı ve elektromanyetik kalkan özelliği yüksek olan filamentler ile üç boyutlu yazıcıda prototip ürünlerin eldesi gerçekleştirilmiştir. Bu prototip ürünlere termal gravimetrik analiz (TGA) analiz ve elektromanyetik dalga iletim testleri uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre üretilen ürünlerde HA miktarı arttıkça termal dayanımın ve elektromanyetik dalga sönmemesinin arttığı tespit edilmiştir. Üretilen ürünlerin, insan sağlığına zarar vermemesi açısından elektronik aletlerin dış yüzeylerinin kaplanmasında kullanılabilir. Ayrıca radyasyon emici özelliğinden dolayı uzay ve havacılık sektöründe makinelerin birbirinden etkilenmemesi özelliği dikkate alınarak arızaların önüne geçilebilecektir.

Anahtar kelimeler: Polilaktik asit, hidroksiapatit, filament, elektromanyetik kalkan

Production of Thermally Resistant Electromagnetic Shielding Filament for Rapid Prototyping

Abstract

Gas atomization technique and chemical precipitation method, sol-gel method etc. as powder production techniques for electromagnetic shielding. example can be given. While metal-based powder is produced in gas atomization technique, ceramic powder production from natural sources such as hydroxyapatite (HA) is provided by chemical precipitation method. In this study, HA was synthesized from egg shell, which is a waste material, thus contributing to the prevention of environmental pollution and materials with high thermal resistance and electromagnetic shielding properties were obtained. In order for the composite material

consisting of HA and polylactic acid (PLA) polymer to have the desired properties, it was mixed in a twin screw extruder and turned into granules with homogeneous distribution. Using the mixture prepared at 8% and 15% HA concentrations by weight, 1.75mm diameter filament was produced with a single screw extruder to be used in three-dimensional printers. Prototype products were produced in a three-dimensional printer with filaments with high thermal resistance and electromagnetic shielding properties. Thermal gravimetric analysis (TGA) analysis and electromagnetic wave transmission tests were applied to these prototype products. According to the test results, it was determined that the thermal resistance and electromagnetic wave damping increased as the amount of HA increased in the products produced. It can be used for coating the outer surfaces of electronic devices in order not to harm human health. In addition, due to its radiation absorbing feature, malfunctions can be prevented in the space and aviation sector by taking into account the feature of not affecting the machines from each other.

Keywords: Polylactic acid, hydroxyapatite, filament, electromagnetic shield

GİRİŞ

Çevre kirliliği canlıların hayatlarını ve çevreyi olumsuz etkileyen, günümüzde etkisini ciddi manada gösteren önemli bir problemdir ve birçok soruna neden olmuştur. İklim değişiklikleri, su kaynaklarının ve besin kaynaklarının tükenmesi, biyolojik çeşitliliğin azalması bu etmenlerden sadece birkaçıdır. Çevre kirliliğinin önüne geçmek için atılabilecek en önemli adımlardan biri, atıkları geri dönüştürüp tekrar kullanılabilir hale getirmektir. Geri dönüşüm işlemi uzun sürede verim sağlayan ekonomik bir yatırımdır. Hammaddede olan azalma ve doğal kaynakların hızlı bir şekilde tükenmesi ile ekonomik sorunlar ortaya çıkabilmektedir (Yılmaz 2014). Günümüzde bilim insanları, çalışmalarında atık miktarının her geçen gün arttığını ve çevreye gittikçe zarar verdiğini ortaya koymuşlardır. Bu sebeple geri kazanılabilir atıkların, hammaddelerin yerine kullanımına dikkat çekmiş ve araştırmalar yapılmaya başlanmıştır (Buluş vd. 2018). Özellikle farklı atıkların değerlendirilmesi ile hammadde ve ekonomik kazanç sağlanabilmektedir (Altun vd. 2017). Bu atık malzemelerden sıklıkla kullanılan kalsiyum karbonat (CaCO_3) malzemesidir.

Ülke genelinde 16 milyar yumurta üretilmektedir. Ortalama yumurta kabuğunun ağırlığı 6 gr ve buna bağlı olarak tonlarca çevreyi kirletici yumurta kabuğu atığı oluşmaktadır. Oluşan bu yumurta kabuğu atıkları zamanla çevreyi kirletici ve tehlikeli bir madde haline gelmektedir. Aynı zamanda doğada yok olma süreleri oldukça zaman almakta ve yaşam alanlarımız için tehdit haline gelebilmektedir. Yumurta zarının içerisinde bulunan yüksek miktardaki protein çürüyerek zehirli hale gelmekte ve etrafa kötü kokular yaymaktadır. İnsan sağlığını tehdit eden bu atıkları bertaraf etmek oldukça zor ve maliyetli olduğundan değerlendirilmesi gereken bir kaynak malzemesi haline gelmiştir (Dönmez ve Türker 2017). Bu amaçla çalışmada atık yumurta kabuklarını değerlendirerek kompozit malzeme üretilen elektromanyetik kalkan özelliği gösteren filament elde edilmiştir.

Kompozit malzemeler iki veya daha fazla sayıdaki aynı veya birbirinden farklı gruptaki malzemelerin mikroskobik ya da makroskobik olarak birleşmesiyle oluşan ve birbirini tamamlayan bir malzeme türüdür. Kompozit malzeme olarak PLA ve HA karışımı filament elde edilmiştir. Kompozit malzemenin birçok avantajı vardır. Hafiflik, yüksek spesifik sertlik, yüksek spesifik dayanım, karmaşık (net) şekillerde üretebilme kolaylığı, parçalı üretim ile sistem maliyetinin düşürülmesi, kolay bağlanabilirlik, iyi

kırılma direnci, düşük termal genişleme, düşük elektrik iletkenliği avantajlarından birkaçıdır.

Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansızlar havada, suda, toprakta, hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynaklarının ve bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her gün ışınımına maruz kalmaktadırlar (Çelen ve Ulcay 2018). Elektromanyetik dalgalar hayatımızın her alanında bulunmakta ve vücudumuzu etkilemeye devam etmektedir. Bu etkilerden vücudumuzun korunabilmesi amacı ile çeşitli ürünler kullanılmaktadır. 1960 yılında kurulmuş olan Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından geliştirilmiş olan Anti-Radyasyon Standardına bağlı olarak çeşitli iletken tel ve tekstil yüzeyi; metal lif, kimyasal lif; kaplanmış kumaş, çelik lif, bitkisel lif ve diğer güncel polimer teknolojilerinin kullanımı ile geliştirilmektedir. Bunlarla birlikte sol-jel, toz metalürjisi, kimyasal çöktürme teknikleri gibi çok farklı üretim teknikleri ile elektromanyetik koruma sağlayabilecek toz üretimi gerçekleştirilmektedir (Kaya ve Çiftci 2017).

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen tozlar, yüksek sıcaklıkta yüzey aşınma direnci, yüzey sürtünmesi ve yüzey gerilmelerinin artırılması gibi özellikler sağlayabilmektedir. Toz elde etme yöntemi olarak dört metot bulunmaktadır (Şafak vd. 2013). Mekanik, kimyasal, elektroliz ve atomizasyon yöntemleridir. Sayılan teknikler içerisinde ince ve küresel formda tozlar elde etmek üzere en sık gaz atomizasyon yöntemi kullanılır. Küresel tozun sebebi, presleme ve sinterleme aşamalarında tozlarında temas aşamasında homojen ve çok yönlü olması istenmektedir. Bu durumun sebebi elde edilecek kompozit yapının özelliklerinin her yerde eşit özellik sağlaması amaçlıdır. Gaz atomizasyon tekniği ile de elde edilen ürünler elektromanyetik koruma özelliği göstermiştir (Boyer vd. 1996).

Üretim sisteminde metal tozu ve alaşımları elde edilirken yüksek maliyetler ön plana çıkmaktadır. Bu sebepten doğal malzemeler özellikle atık malzemeler baz alınarak elektromanyetik kalkanlama sağlayabilecek ürünler tercih edilmektedir. Daha uygun maliyetli ve daha çevre dostu ürünlerin olması istenen bir durumdur.

Kalkanlama ya da ekranlama; kart, devre ya da cihaz düzeyinde iki ortamı birbirinden elektromanyetik alanda izole etmek olarak tanımlanabilir. İstenmeyen elektromanyetik dalgaların olumsuz etkilerinin azaltılması amacı ile yapılan elektromanyetik ekranlama işlemleri elektronik cihazların uygun ortam şartlarında çalışabilmeleri için son derece önemlidir. Ekranlama bir cihazdan içeri (veya dışarı) doğru giren (çıkan) kaçak alanların azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Ekranlama performansı, kullanılan malzemelerin özelliklerine, çalışma frekansına ve gücü yayan kaynaklara bağlıdır.

Yapılan çalışmada kompozit malzeme olarak, 3 boyutlu yazıcıda kullanılmak üzere HA katkılı PLA filament üretilmiştir. PLA filament, 3 boyutlu yazıcı malzemesidir. Nispeten ucuzdur ve 3 boyutlu baskı almak için yüzlerce canlı rengi ve karışımı vardır.

Atık madde olan yumurta kabuğundan kimyasal çöktürme tekniği ile elde edilen HA katkılı polimerik filamentin elektromanyetik kalkan ve ısı absorblama özellikleri üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Böylece atık yumurta kabuğunu geri dönüştürerek hem çevresel bir atık malzeme geri dönüştürülerek çevreyi korumaya yönelik katkı sunmuş hem de filament haline getirilmiştir. 3 boyutlu yazıcı sektörünün yanı sıra kampaunding üretim sistemlerinde rahatlıkla kullanılma imkanı ile seri üretime uygun enjeksiyon sistemlerinde de uygulanabilir olabileceğinden farklı parça üretimlerine imkan sunabilecektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Kullanılan malzemeler ve ekipmanlar

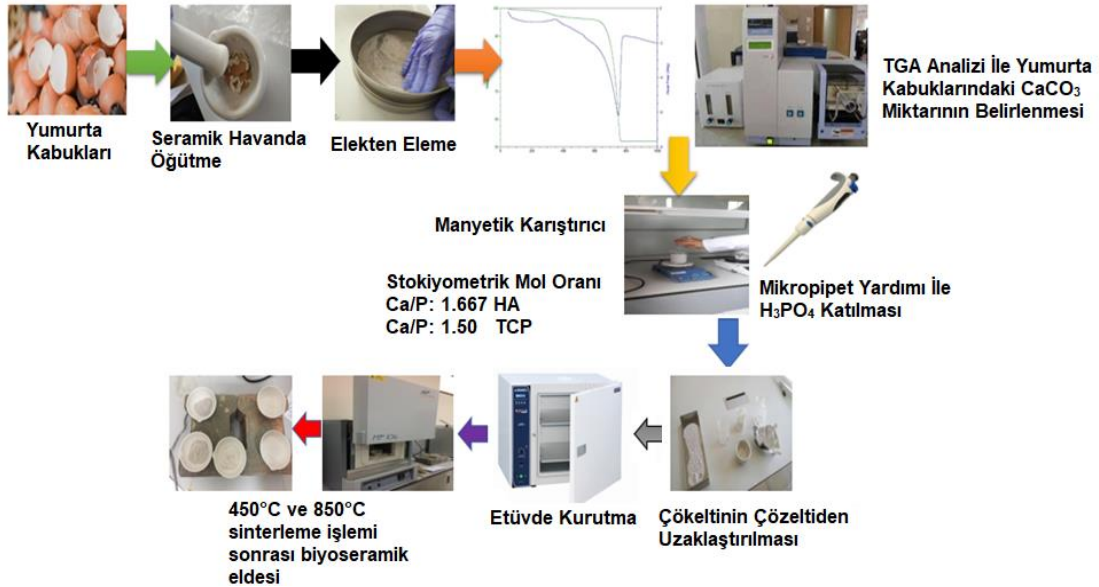
Gema Polimer A.Ş. Firmasından tedarik edilen LUMINY LX175 kodlu granül halde polilaktik asit (PLA), yumurta kabuğundan sentezlenen toz halde hidroksiapatit (HA), 25 mm vida çapına sahip, 40 L/D oranına sahip, gravimetrik ve yan beslemeli çift vidalı ekstruder, bilyalı öğütücü, mikronize elek, 16mm vida çapına sahip tek vidalı ekstruder ve 0.4mm nozul çapına sahip ekstrudere sahip 3 boyutlu yazıcı kullanılmıştır.

Yumurta kabuklarından hidroksiapatit (HA) eldesi

Yumurta kabukları çevremizden temin edildi, temizlendi ve kurutulmuştur. HA nano boyutta üretimi için kolay ve ekonomik bir yöntem olan kimyasal çöktürme metodu kullanılmıştır. Öncelikle kalsiyum (Ca) yapılı materyal olarak yumurta kabukları temin edilmiştir. Yumurta kabuklarının iç zarı ayrıştırılarak, saf su yardımıyla ultrasonik banyoda temizlenmiş ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından yumurta kabukları seramik havanda öğütülmüş ve 63 µm'lik elekten elenmiştir. Tozların içeriğindeki CaCO_3 miktarını tespit etmek amacıyla Termogravimetrik analiz (TGA) uygulanmıştır. CaCO_3 miktarına göre her bir toz için gerekli fosforik asit (H_3PO_4) miktarı hacimce hesaplanmıştır ve stokiyometrik molar oran HA için $\text{Ca/P} = 1.667$ olarak tespit edilmiştir. Yumurta kabuğu tozları ortofosforik asit (H_3PO_4)/saf su çözeltisi içerisinde ile 8 saat boyunca 80 °C'de karıştırılmıştır.

Elde edilen çökeltinin çözücüsü uzaklaştırılarak, kalan çökelti 450 °C, 850 °C gibi farklı sıcaklıklarda sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme işlemi sonucunda HA elde edilmiştir.

Doğal kaynaklardan izole edilmiş HA toz üretimi akış şeması Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Doğal kaynaklardan izole edilmiş HA toz üretim akış şeması

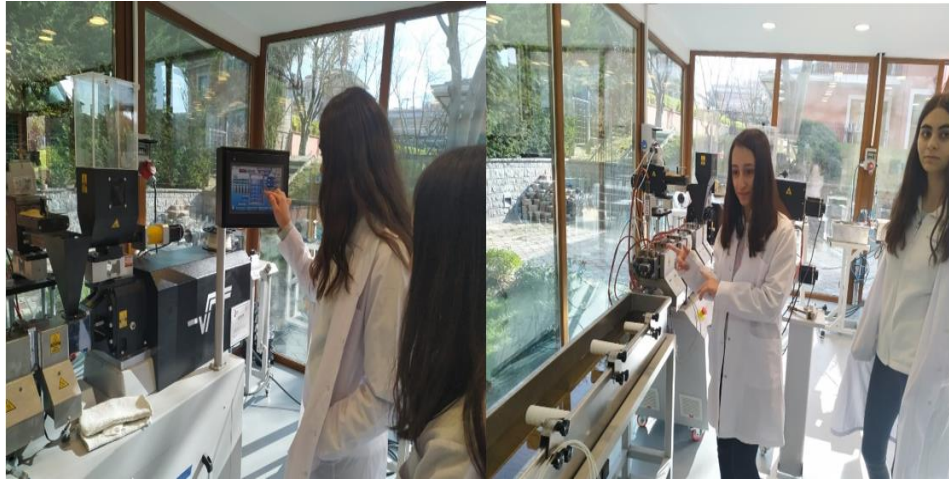
Ekstrüzyon yöntemiyle PLA-HA kampaundlarının hazırlanması

PLA ve HA yüksek karıştırma yeteneğine sahip ekstruder ile homojen bir şekilde ağırlıkça %8 ve %15 HA içerecek şekilde karıştırılmıştır. Şekil 2'de ekstruder

sıcaklık değerleri, ana motor hızı ve dozajlama hızları gösterilmektedir. Ekstrüzyon makinesinde proses işlemlerinin gerçekleştirilmesi Şekil 3’de yer almaktadır.



Şekil 2. Ekstrüzyon proses değerleri.



Şekil 3. Ekstrüzyon makinesinde proses işlemlerinin yapılması

Üç boyutlu yazıcıda kullanılmak üzere filamentlerin hazırlanması

Hazırlanan %8 ve %15 PLA/HA karışımları ile tek vidalı ekstruderde özel ölçeklendirme sistemi yardımıyla 1.75mm çapında filamentler üretilmiştir. Filament üretimi için ayarlanan sıcaklık değerleri aşağıda verilmiştir. Filament üretimi işlem parametreleri Tablo 2.1’de gösterilmektedir. Tek vidalı ekstrüzyon makinesinde filament üretimi Şekil 4’de yer almaktadır.

Tablo 2.1: Filament üretimi işlem parametreleri

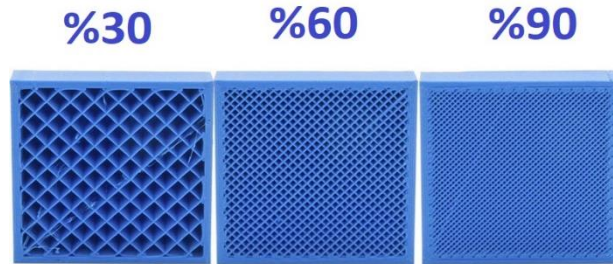
Isılar (°C)	Kafa Sıcaklığı	Isı 3	Isı 2	Isı 1
	190	195	185	175
Ektrüzyon Hızı hızı (rpm)	25			



Şekil 4. Tek vidalı ekstrüzyon makinesinde filament üretimi

Elektromanyetik dalga kılavuzu için üç boyutlu yazıcıda prototip malzeme üretimi

Üretilen filamentler elektromanyetik dalga ölçümleri için üç boyutlu yazıcı ile 9.68mm x 20.89mm x 7.25 mm ölçülerinde dikdörtgen prizma şeklinde %30, %60 ve %90 doluluk oranlarında, 210 °C sıcaklık ve 0.2mm katman kalınlığında üretim gerçekleştirilmiştir. Şekil 5’de doluluk oranlarının gösterimi mevcuttur. Kılavuz içine oturacak şekilde üretilen parça Şekil 6’da gösterilmektedir.



Şekil 5. Parça doluluk oranları



Şekil 6. Kılavuz içine oturacak şekilde üretilen parça

Karakterizasyon çalışmaları

Sentezlenen biyoseramiklerinin amorf-kristal yapıları, X-Pert Pro Philips PANalytical marka X-Ray difraksiyon cihazı kullanılarak, ortam şartları 25°C olarak belirlenen $\text{CuK}\alpha$ anot tüpünden 2 mA ve 30 kV değerlerinde X-ışınlarının üretilmesiyle ve dağılım açısı oranı (2θ) 10°C ve 90 °C arasında 2θ adımlarla 0.02 °s ilerleyerek işlem yapıldı.

Fazların identifikasyonu, XRD sonuçlarının toz dağılım standartları olan “Joint Committee on Powder Diffraction Standarts (JCPDS)” ile karşılaştırılarak yapıldı. XRD analizi ile elde edilmiş her bir örneğin Orijin 8 yazılım programı ile kristal yapıları belirlenmiş tozların XRD grafikleri çizilmiştir. Sentezlenen biyoseramik, farklı maddeler ve farklı madde takviyeli biyokompozitlerin FTIR analizleri Jasco 6600 model analiz cihazında 400 ile 4400 cm^{-1} dalga boyu aralıklarında yapılarak gerçekleştirildi. 400-4400 cm^{-1} dalga boyu aralığında belirlenen yüzde transmittans (%T) değerlerine bağlı olmakta ve numunelerin yapılarında bulunan bağlar tespit edildi. Tutuculara yerleştirilen biyoseramik ve biyokompozit numuneleri FEI QUNTA FEG 450 SEM mikroskop ile incelendikten sonra fotoğrafları çekildi. Sentezlenen biyoseramik ve üretilen biyokompozit nanoliflerin çap ve boyutlarının incelenmesi sırasında FEGSEM analizleri için X12000 ve X24000 kat oranlarında büyütülmüş görüntüler 7 kV potansiyelde incelendi. Sentezlenen biyoseramik ve üretilen biyokompozit yapıların yüzey morfolojileri FEI QUNTA FEG 450 SEM marka cihazında yapılan ölçümlerde tespit edildi. Zetasizer ölçümlerinde gerçekleştirilmiştir. Hitachi marka Termogravimetrik analiz cihazı ile azot gazı altında analiz işlemi yapılarak, kütlece içerik miktarı belirlendi. GAUSS/TESLA METRE marka 5180 cihaz modeline sahip elektromanyetik dalga iletim ölçümleri Yıldız Teknik Üniversitesinde yapıldı.

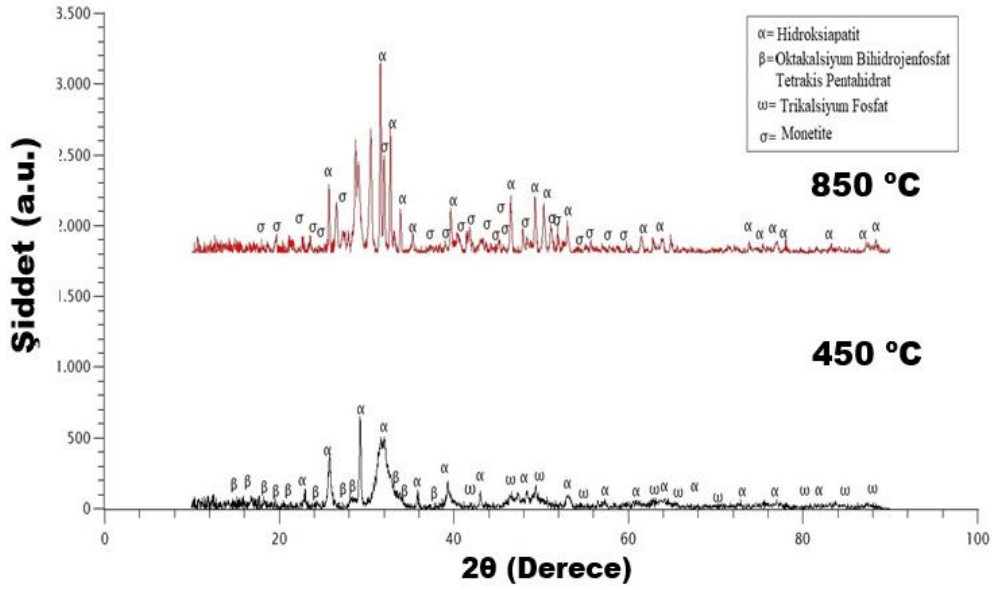
BULGULAR

Yapısal analiz XRD analiz sonuçları

Yumurta kabuklarından sentezlenen biyoseramiklerin XRD analizi ile faz identifikasyonları yapıldı (Hui vd. 2010). Farklı kristal yapı, formüller ve bileşimlerde, 4 adet CaP bileşikleri bulundu. Sentezlenen biyoseramiklerin XRD analiz sonuçları Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Sentezlenen biyoseramiklerin xrd analiz sonuçları

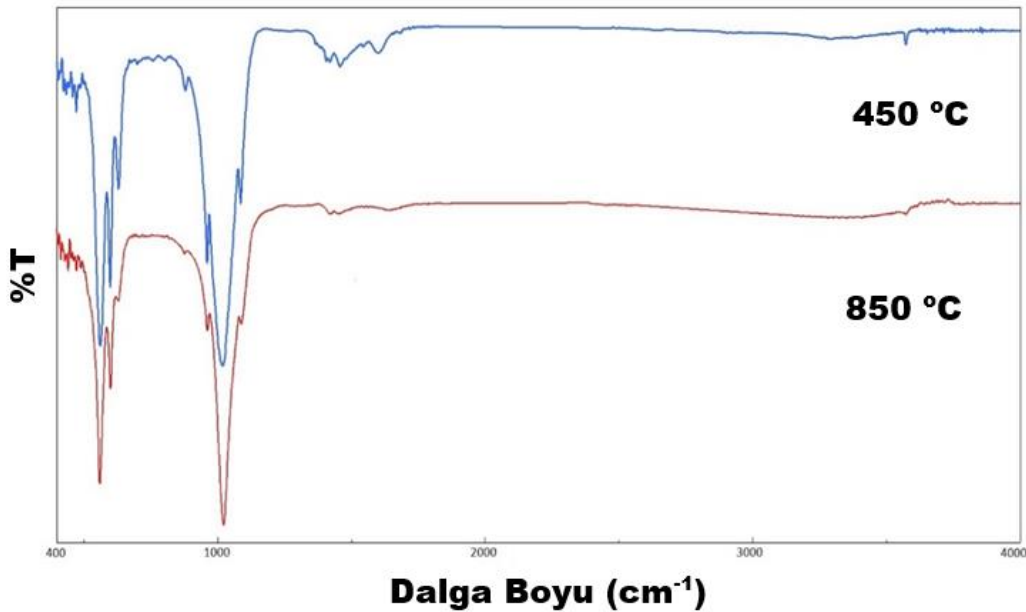
XRD Kristal yapıları	Yumurta kabuklarından sentezlenen		
	80°C	450°C	850°C
$\text{HCa}_5\text{O}_{13}\text{P}_3$	25,7	70,7	62,5
$\text{Ca}_3\text{O}_8\text{P}_2$	-	0,2	-
$\text{H}_{12}\text{Ca}_8\text{O}_{29}\text{P}_6$	72,8	29,1	-
HCaO_4P	1,4	-	37,5



Şekil 7. Yumurta kabuklarından sentezlenen biyoseramiklerin sinterleme öncesi ve sonrası kristal yapısı.

Yapısal analiz FTIR analiz sonuçları

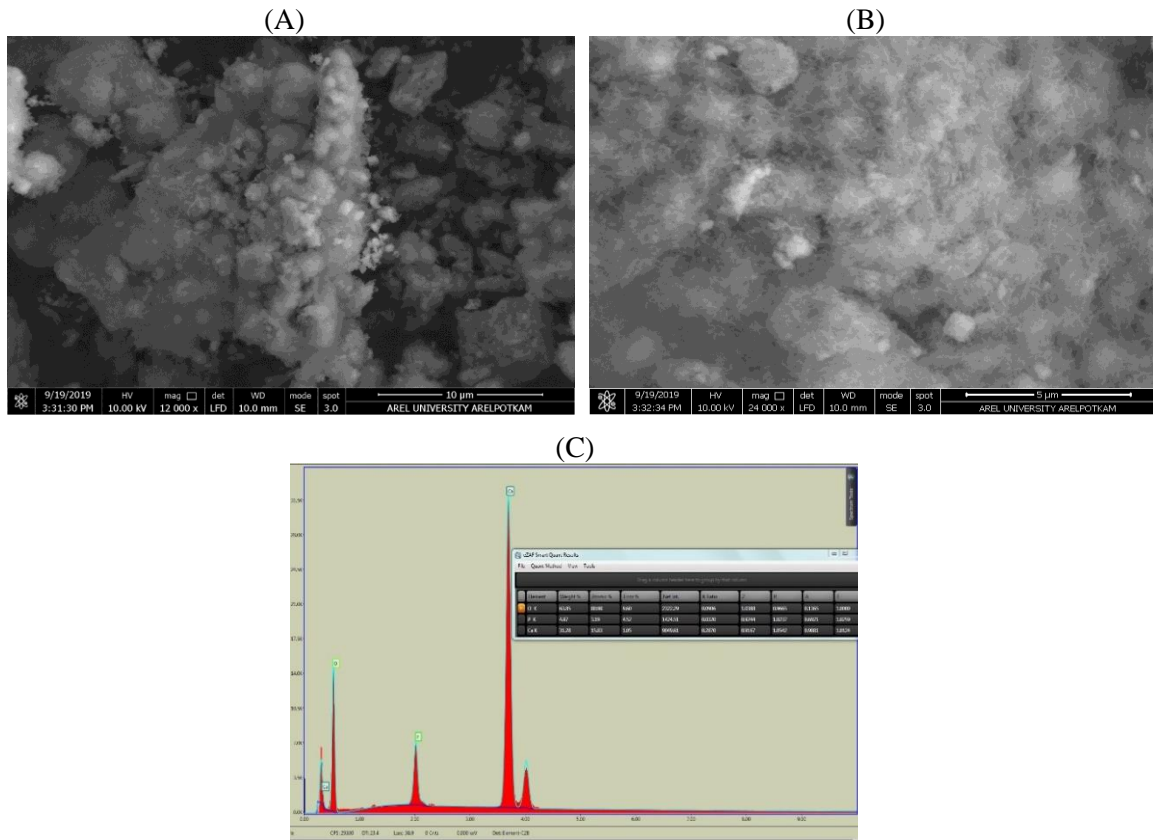
450°C ve 850°C’de sinterlenmiş yumurta kabuklarından elde edilen HA FTIR spektrumları Şekil 8’de yer almaktadır. HA yapısının PO_4^{3-} titreşimlerine karşılık gelen karakteristik piki 1027,78 cm^{-1} frekansında açıkça görülmektedir. Bunun yanı sıra PO_4^{3-} dalga boyundan kaynaklanan daha az belirgin karakteristik pikleri 1087,31 cm^{-1} ve 962,22 cm^{-1} dalgasayılarında ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak, sinterlenmiş HA yapısında 1405,81 cm^{-1} , 1458 cm^{-1} ve 875,81 cm^{-1} dalga boylarındaki CO_3^{2-} titreşim bantları gözlemlenmiştir (Kamalanathan vd. 2014).



Şekil 8. 450°C ve 850°C derecelerde sinterlenmiş HA FTIR spektrumları

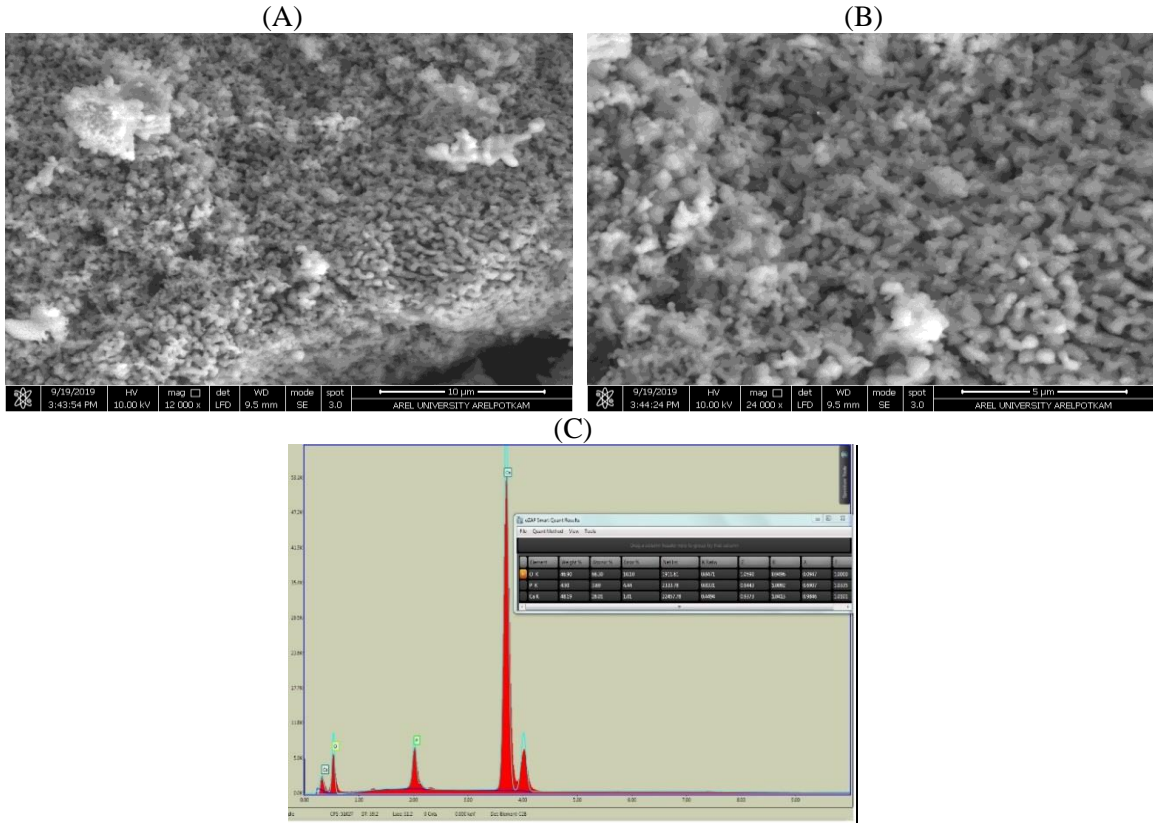
Morfolojik analiz FEGSEM analiz sonuçları

Yumurta kabuklarından sentezlenen biyoseramiklerin 450°C ve 850°C sıcaklıklarında sinterlenmiş X12000, X24000 büyütmedeki FEGSEM görüntüleri Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmektedir. 450°C'de sinterlenmiş biyoseramik yapısının kristal yapıların morfolojisini belirleyebilmek için FEGSEM analizi ile X12000, X24000 büyütmelerde görüntüler alınmıştır. X12000 ve X24000 büyütmeler incelendiğinde farklı allotropik yapılara ve boyutlara sahip kristal yapılar belirlenmiştir. İğnemsî (whisker), kübik, küresel kristal yapılar tespit edilmiştir (Hall 2009). Sinterleme öncesi biyoseramik yapısına göre sinterleme ile birlikte partikül boyutundaki küçülmelerin gözlemlendiği, yapılan zetasizer analizi sonuçları ile uyumludur. Ayrıca EDS sonuçları incelendiğinde 450°C'de sinterlenmiş biyoseramik tozlarında HA yapısı varlığı desteklenmiştir.



Şekil 9. 450°C sinterlenmiş biyoseramik yapısının; (A) X12000, (B) X24000 FEGSEM görüntüleri, (C) EDS spektrumu.

850°C'de sinterlenmiş biyoseramik yapısının X12000, X24000 büyütmelerdeki FEGSEM görüntüleri alınmıştır. X12000 ve X24000 büyütmelerdeki görüntülere göre sinterleme sıcaklığının artması ile iğnemsî (whisker) yapının kaybolmuştur. Buna ek olarak küresel ve kübik allotropik yapıların varlığı tespit edilmiş olup bu sonuçlar literatür ile uyumludur (Nersisyan vd. 2017). Morfolojik görüntülerdeki kristal yapıların tanecik boyutları ile zetasizer ölçümü sonuçları birbirini desteklemektedir. Ayrıca HA yapısının varlığı EDS analizi ile uyumludur.

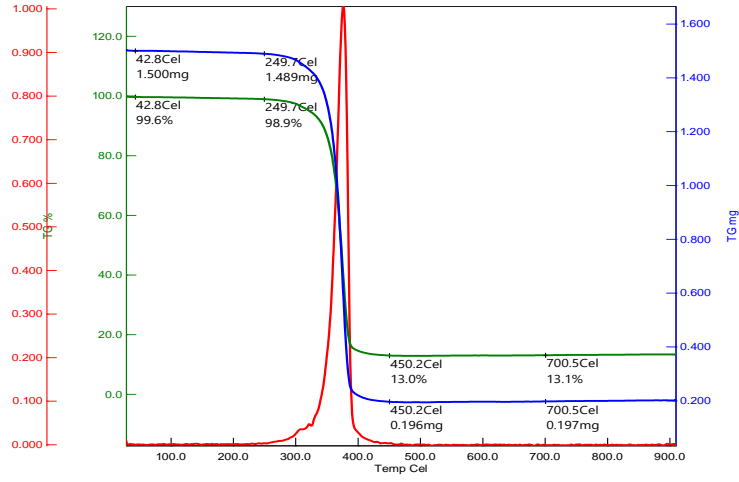


Şekil 10. 850°C sinterlenmiş biyoseramik yapısının; (A) X12000, (B) X24000 FEGSEM görüntüleri, (C) EDS spektrumu.

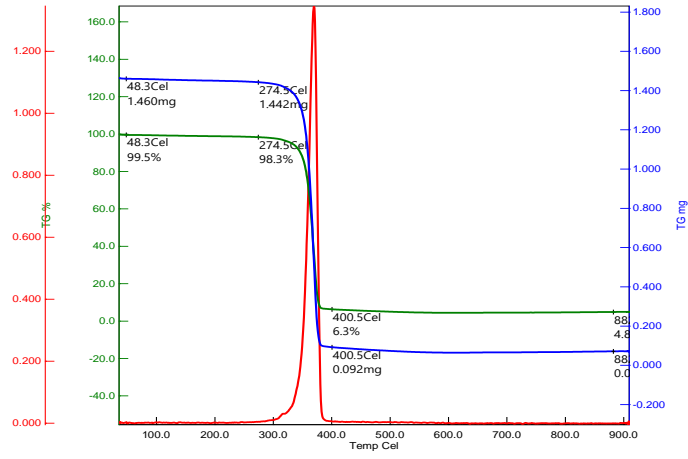
Termal analiz TGA analiz sonuçları

Üretilen malzemelerin termal dayanımının ölçülmesi için Termal Gravimetrik Analiz (TGA) cihazı ile malzemeler yavaş bir şekilde ısıtılarak 900 °C sıcaklığa kadar maruz bırakılmıştır. TGA sonuçlarına göre malzeme belli bir sıcaklıktan itibaren kütle kaybına uğramaktadır ve belli bir sıcaklıktan sonra tamamen kül olup, neredeyse hiç kalmamıştır.

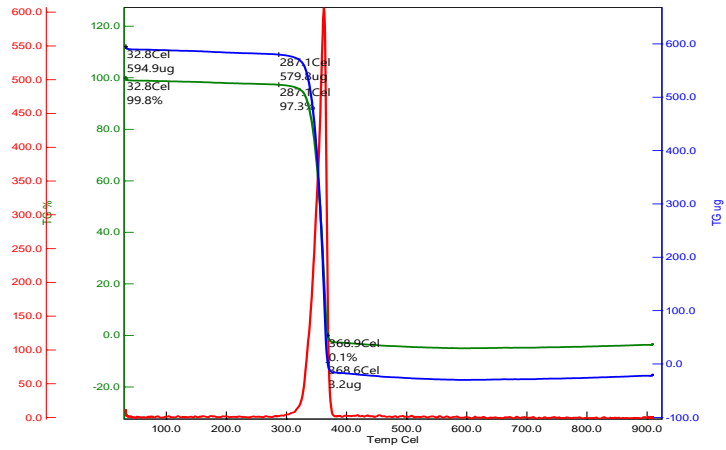
Şekil 11’de saf PLA malzemenin TGA analizi sonucu görülmektedir. Burada malzeme 249.7 °C sıcaklıkta bozunmaya başladığı görülmektedir ve 450.2 °C’de neredeyse tamamen yok olduğunu saptanmıştır. Şekil 12’de %8 HA katkılı PLA’nın TGA grafiğini yer almaktadır. Burada malzemenin 274.5 °C’de bozunmaya başladığını ve 400.5 °C’de tamamen yok olduğu tespit edilmiştir. Şekil 13’de ise %15HA katkılı PLA malzemesine uygulanan TGA testi sonucuna göre malzeme 287.1 °C’de bozunmaya başladığı ve 368.9 °C’de neredeyse yok olduğu saptanmıştır.



Şekil 11. Saf PLA'nın TGA analizi



Şekil 12. %8 HA katkıli PLA'nın TGA analizi



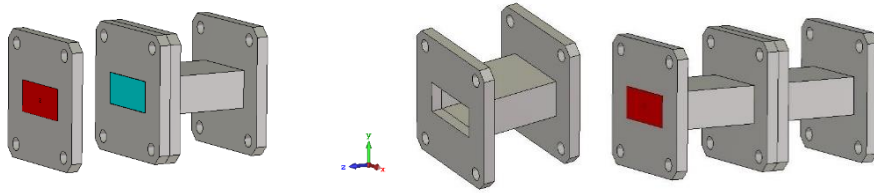
Şekil 13. %15 HA katkıli PLA'nın TGA analizi

Üç grafik incelendiğinde HA miktarı arttıkça bozunma sıcaklığının arttığı görülmektedir. Yani malzeme saf malzemeye göre termal etkilere daha dayanıklı hale gelmiştir (Doğan vd. 2018).

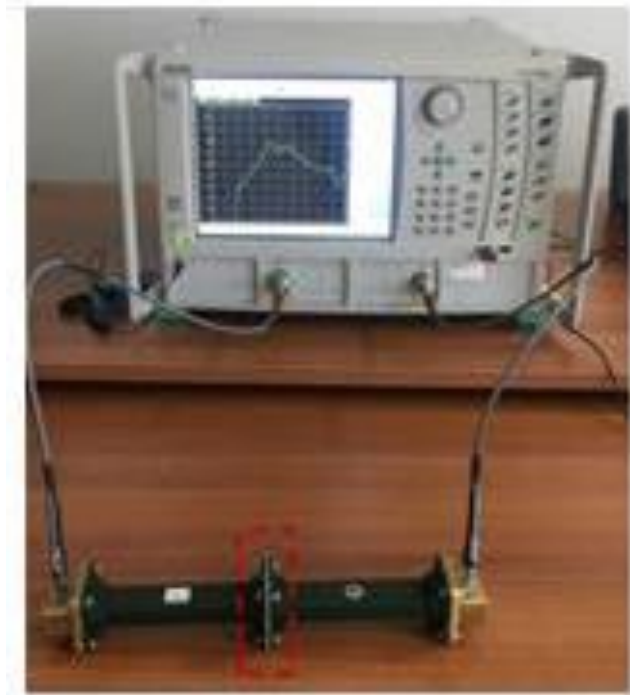
Manyetik analiz

Elektromanyetik dalga iletim ölçümleri analiz sonuçları

Şekil 14’de şematığı verilen düzenek yardımı ile üretilen numunelere ait saçılma parametrelerinin bir mikrodalga kılavuz yardımı ile ölçümü gerçekleştirilmiştir. Burada, dalga kılavuzlarının iç bölmelerine girecek şekilde üç boyutlu yazıcı ile üretilen numunelere elektromanyetik dalgalar uygulanarak iletim karakteristikleri incelenmiştir. GAUSS/TESLA METRE marka 5180 cihaz modeline ait ölçüm düzeneği görüntüsü Şekil 15’de verilmiştir.

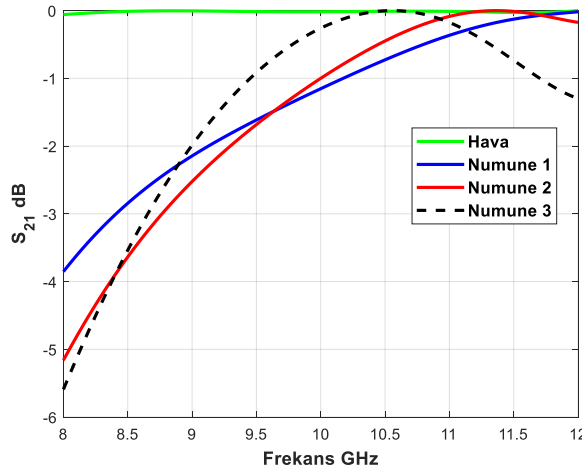


Şekil 14. Ölçüm düzeneğinin şematığı.



Şekil 15. GAUSS/TESLA METRE marka 5180 cihaz modeline ait ölçüm düzeneği görüntüsü.

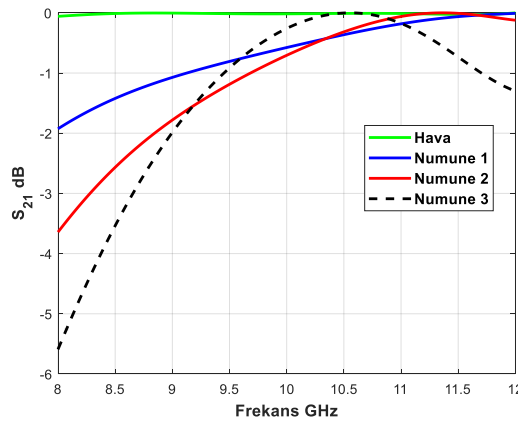
Burada saçılma parametrelerinden S_{21} (giriş portundan çıkış portuna iletilen) elektromanyetik güç değerlerinin incelenmesi ile önerilen numunelerin ne miktarda mikrodalga enerjinin emilimine ve istenen bölgeye girişini engellediği incelenmektedir.

Şekil 16. Malzeme oranına göre S₂₁ karakteristiği

Numune 1 saf PLA, Numune 2 PLA+%8HA, Numune 3 PLA+%15HA numuneleri %90 doluluk oranında üretilmiştir. Şekil 16'da numuneler X bandında (8-12 GHz) bulunan elektromanyetik sinyalleri -4 ila -6 dB değeri kadar iletimine engel olabilmektedir. Her -3 dB değerinde sinyalin %50 zayıfladığı düşünülür ise -6 dB bir zayıflamada gelen elektromanyetik sinyalin sadece %25 iletileceğini söylemek mümkündür. Bu oran doluluk miktarı ve numunelerin kalınlık miktarlarının değişimi ile de artırılabilir.

Buna göre Şekil 16 yorumlanacak olursa Saf PLA yaklaşık %55 engelleme ile elektromanyetik dalgaları en az engelleyen malzeme olarak görülmektedir. Ardından %65 engelleme ile %8HA içeren PLA daha sonra %73 ile %15 HA içeren PLA saptanmıştır. Böylelikle HA miktarı arttıkça radyasyon sönümlenme oranının da arttığı tespit edilmiştir (Boisson vd. 1999).

Doluluk oranının radyasyon sönümlenmeye etkisinin araştırılması için farklı doluluk oranına sahip %15 HA içeren PLA malzemeden üretilen numunelere elektromanyetik dalga iletim ölçümleri uygulandığında Şekil 17'deki grafik elde edilmektedir.

Şekil 17. Doluluk oranına göre S₂₁ karakteristiği

Numune 1 %30, Numune 2 %60, Numune 3 %90 Doluluk oranına sahiptir. Numunelerin hepsi %15 HA içeren PLA malzemeden üretilmiştir. Şekil 17. incelendiğinde %30 doluluk oranıyla üretilen numunenin yaklaşık %25 elektromanyetik dalga sönümlenmeyle en düşük kalkan malzemesi olduğu saptanmıştır. Yaklaşık %53

dalga sönümlenmesi ile %60 doluluğa sahip numune ve son olarak Şekil 17 de görüldüğü üzere %73 ile %90 doluluk oranına sahip numune en yüksek kalkan görevi gören malzeme olarak belirlenmiştir. Buna göre doluluk oranı arttıkça elektromanyetik kalkan özelliği artacağı sonucuna varılmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada yumurta kabuklarından biyoseramik malzemesi kimyasal çöktürme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Farklı oranlarda biyoseramik içeren kamping granül ve filament eldesi sağlanmıştır. Termal karakterizasyon ve elektromanyetik dalga iletim ölçümleri incelendiğinde HA oranı arttıkça malzemenin termal dayanımının yükseldiği ve elektromanyetik dalgaları sönümlenme özelliğinin arttığı tespit edilmiştir. Üretilen ürünler yüksek termal dayanıma ve elektromanyetik kalkan özelliği gösterdiğinden dolayı insan sağlığına zarar vermemesi açısından elektronik aletlerin dış yüzeylerini kapatmada kullanılabilir. Radyasyon emici özelliğinden dolayı uzay ve havacılık sektöründe makinelerin birbirinden etkilenmemesi önlenerek olası arızaların önüne geçilebilir.

KAYNAKÇA

- Altun, M., Karteri, İ., Güneş, M., & ALMA, M. H. (2017). Grafen Katkılı Odun-Plastik Nanokompozitlerinin Elektromanyetik Özellikleri Ve Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Karşılaştırmalı Çalışması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 38-47.
- Boisson, J., Ruttens, A., Mench, M., & Vangronsveld, J. (1999). Evaluation of hydroxyapatite as a metal immobilizing soil additive for the remediation of polluted soils. Part 1. Influence of hydroxyapatite on metal exchangeability in soil, plant growth and plant metal accumulation. *Environmental pollution*, 104(2), 225-233.
- Boyer, E., Gitzhofer, F., & Boulos, M. (1996). Parametric study of suspension plasma sprayed hydroxyapatite. In *ITSC 1996* (pp. 683-691). ASM International.
- Buluş, E., Mansıroğlu, D. S., İsmik, D., Şahin, Y. M., Oktar, F. N., Gündüz, O., & Gökçe, H. (2018, April). Bioceramic Synthesis And Characterization To Be Used In Major Tissue Engineering Applications. In *2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT)* (Pp. 1-4). IEEE.
- Çelen, R., & Ulcay, Y. (2018). Baryum Titanatın Tekstilde Elektromanyetik Kalkanlama Uygulamalarında Kullanımı.
- Doğan, S., Kayacan, O., & Gören, A. (2018). Elektromanyetik Kalkanlama Özellikli Polimer Kompozit Yapıların Geliştirilmesi. *Tekstil Ve Mühendis*, 25(109), 44-52.
- Dönmez, E. T., & Türker, E. (2017). Tekstil Atıkları İçeren Yüzeylerin Sahip Olduğu Elektromanyetik Kalkanlama, Ses Ve Isı İzolasyonu Özellikleri İlgili Literatür İncelemesi. *Tekstil Ve Mühendis*, 24(106), 124-135.
- Hall, S. R. (2009). *Biotemplating: complex structures from natural materials*. World Scientific.
- Hui, P., Meena, S. L., Singh, G., Agarawal, R. D., & Prakash, S. (2010). Synthesis of hydroxyapatite bio-ceramic powder by hydrothermal method. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 9(8), 683-692.

- Kamalanathan, P., Ramesh, S., Bang, L. T., Niakan, A., Tan, C. Y., Purbolaksono, J., ... & Teng, W. D. (2014). Synthesis and sintering of hydroxyapatite derived from eggshells as a calcium precursor. *Ceramics International*, 40(10), 16349-16359.
- Kaya, A. İ., & Çifci, A. (2017). Kaplama Yöntemi ile Ahşap Kompozit Malzemelerin Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 6(2), 180-185.
- Nersisyan, H. H., Lee, J. H., Ding, J. R., Kim, K. S., Manukyan, K. V., & Mukasyan, A. S. (2017). Combustion synthesis of zero-, one-, two-and three-dimensional nanostructures: current trends and future perspectives. *Progress in Energy and Combustion Science*, 63, 79-118.
- Şafak, İ., Altay, G. Ü. L., Akkaş, M., Portakal, S. Ü., Gediklili, M., & Kanat, Ş. M. (2013). Efficiency Determination Of The Forest Sub-Districts By Using Fuzzy Data Envelopment Analysis (Case Study: İzmir Forest Regional Directorate). *Eurasian Journal Of Forest Science*, 1(1), 1-19.
- Yılmaz, R. (2014). Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Olan Malzemeler. *Ejovoc (Electronic Journal Of Vocational Colleges)*, 4(1), 136-150.