



## KALÇA PROTEZİ İÇİN UHMWPE – HAp KOMPOZİTLERİNİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

<sup>1</sup>Gözde Fatma ÇELEBİ EFE , <sup>2</sup>Tuba YENER 

<sup>1</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE

<sup>1</sup>gcelebi@subu.edu.tr, <sup>2</sup>tcerezci@sakarya.edu.tr

(Geliş/Received: 25.04.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 13.10.2021)

**ÖZ:** Uzun süreli kullanım sonucunda kalça protezlerinde meydana gelen aşınma problemlerinin çoğu liner (yuva) kısmında gerçekleşmektedir. Bu çalışmada total kalça protez implantlarının asetabuler liner parçasının (kalça eklemi yuvası) geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla kalça protezi asetabuler liner olarak kullanılan Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilene (UHMWPE) ağırlıkça %1, 2 ve 3 oranında hidroksiapatit (HAp) tozları ilave edilerek UHMWPE-HAp toz karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan toz karışımları 200 °C'de 30 dakika boyunca 1 ton yük altında sıcak preslenerek UHMWPE-HAp kompozitleri üretilmiştir. Kompozit numunelerin morfolojisi SEM ile incelenmiş, elementel analiz için SEM-EDS kullanılmıştır. Faz analizi XRD ile gerçekleştirilmiştir. XRD analiz sonuçlarına göre takviye artışının %2'ye ulaşması ile HAp takviyesinin varlığı belirlenmiştir. Kompozitlerin kırık yüzey incelemelerinde HAp partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Sertlik analizleri Vickers indentasyon tekniği ile gerçekleştirilmiş olup; en yüksek sertlik değeri %2 HAp takviyeli UHMWPE-HAp kompozitinde 5,28HV olarak elde edilmiştir. Tüm katkı oranları, kompozitin sertlik değerlerinde artışa neden olmuştur. DSC analizi ile hem UHMWPE numunesinin hem de UHMWPE kompozitlerinin ergime sıcaklıkları yaklaşık 140 °C olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** UHMWPE – HAp Kompozitleri, Sertlik, DSC, Isıl Analiz, Total Kalça Protezi

### Production and Characterization of UHMWPE - HAp Composites for HIP Prosthesis

**ABSTRACT:** Most of the wear problems occur in hip prostheses because of long-term use in the liner (socket) part. In this study, the aim was to develop the acetabular liner part of total hip replacement implants. For this purpose, UHMWPE-HAp (hydroxyapatite) composites have been developed by reinforcing UHMWPE, which is used as hip prosthesis acetabular liner, by biomimetic HAp powders at a ratio of 1, 2, and 3% by weight. The morphology of the samples was examined by SEM. SEM-EDS was used for elemental analysis. Phase analysis was carried out by XRD technique. According to the experimental results, HAp addition was detected when the reinforcement level was at least 2%. Hardness analyses were performed by Vickers indentation technique, and the highest hardness value of 5.28HV was obtained at 2% HAp reinforcement. All additive levels contributed positively to hardness values. The melting temperatures of both the UHMWPE and the UHMWPE-HAp composites were determined to be approximately 140 °C by DSC analysis.

**Key Words:** UHMWPE - HAp Composites, Hardness, DSC, Thermal Analysis, Total Hip Prosthesis

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Total kalça eklem protezi (TKP) implantlarının, uzun ve devam eden bir inovasyon geçmişi vardır. İmplantın vücuda yerleştirilmesi, günümüzde yerleşik bir cerrahi prosedür olarak kabul edilmektedir. Bu işlemde hasarlı kalça başı, mekanik bir protezle değiştirilir (genellikle metal veya seramik bir femur (uyluk kemiği) başı ile birleştirilmiş plastik bir kaptan oluşur). Bu ortopedik implant, hastaların yaşam kalitesini artırır (Ruggiero ve diğ., 2020; Burn ve diğ., 2020). Her geçen gün total kalça protezine gereksinim duyan hasta sayısı artmakla birlikte, yaş sınırı da geriye doğru gelmektedir. TKP uygulaması artık işlevini yerine getiremeyen kısmın kalıcı olarak değiştirilmesidir (Yadav vd.).

TKP, ağrının giderilmesini ve uzwun rahat bir şekilde kullanılmasını amaçlar. Doğru bir tedavi ve uygun bir protez kullanılmasıyla işlem başarılı bir şekilde yapılabilir. Burada önemli olan nokta başarının artması için uygun bir tasarımın yapılması ve mümkün olduğunca uzun ömürlü bir malzeme seçilmesidir (Burn vd.). Yine ağrı ve acı gibi hastanın, hastanede kalma süresini azaltmaya yönelik talebi karşılanmalıdır (Ursavaş ve Yaradılmış, 2020). Günümüze kadar pek çok farklı grupta malzeme denenmiş ve inovasyon tekniği kullanılmıştır (Nadzadi vd.; Toh vd.). Geliştirilen bu protezlerin hepsinin temel çıkış amacı uzun ömürlü olması ve makul fiyatlara temin edilebilmesidir. Uygulamayı yapacak cerrah açısından tasarım çok önemlidir. Operasyon sırasında zorluk çıkarmamalı ve kalıcı bir çözüm olmalıdır.

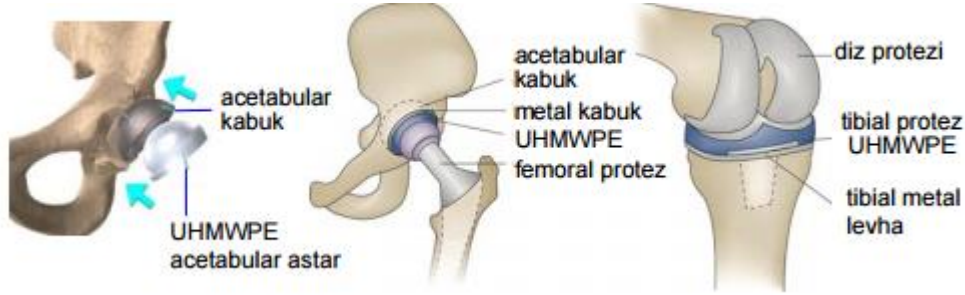
Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE), bir polietilen grubudur. Yoğunluğu 0.930–0.935 g/cm<sup>3</sup> arasında değişir ve molekül ağırlığı 2-6 milyon aralığındadır. UHMWPE, termoplastik polietilenin bir alt kümesidir. Yüksek modüllü polietilen (HMPE) olarak da bilinir, genellikle 3,5 ila 7,5 milyon amu arasında bir moleküler kütleyle sahip, son derece uzun zincirlere sahiptir. Uzun zincir, moleküller arası etkileşimleri güçlendirerek yükü daha fazla polimer omurgasına aktarmaya yarar. Uzun zincir yapısından dolayı UHMWPE, en yüksek darbe dayanımına ve sertliğe sahip termoplastikler arasındadır (He ve Benson, 2011).

UHMWPE; biyouyumluluk, düşük yoğunluk, düşük sürtünme katsayısı, üstün mekanik özellikler, kimyasal direnç, yüksek aşınma direnci, yüksek darbe dayanımı ve üretim kolaylığı gibi öne çıkan özellikleri nedeniyle total eklem protezlerinde çok sık kullanılan bir malzemedir (Balani vd.) 2014; (Hussain vd.) 2021; Kilgour ve Elfick, 2009). UHMWPE'nin tribolojik ve mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla karbon, karbon nanotüp, metal oksit partikülleri (bin Ali vd.), grafen ve hidroksiapatit (Macuvele vd.) gibi birçok takviye bileşenleri UHMWPE'ye ilave edilmiştir (Salari vd.) 2019; Mirsalehi ve diğ., 2015; Gong ve diğ., 2008).

Bunlar arasında hidroksiapatit (HAp) kalsiyum esaslı, biyouyumluluğu çok yüksek ve yüksek adsorbsiyona sahip bir seramik malzemedir (Dastjerdi ve Montazer, 2010). Diş ve ortopedik implantlar gibi biyomedikal uygulamalar için ilgi çekici malzemelerden biri olan hidroksiapatit (Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>), kemik matrisinin biyouyumlu, biyoaktif, emilebilir ve ana mineral bileşenidir. Hidroksiapatit canlı dokularla düz biyokimyasal bağlar oluşturur ve insan iskelet sisteminde doğal olarak var olan apatit ile benzer kimyasal bileşime ve kristal yapıya sahiptir (Pylypchuk ve diğ., 2016; Cruz ve diğ., 2016(Çelebi Efe vd.). Hidroksiapatit (HAp), vücut ile uyumlu biyomalzeme üretmek için laboratuvar ortamında biyolojik koşulları taklit eden (biyomimetik) yöntemlerin kullanımı son yıllarda ilgi odağı olmuştur. Böylece biyomimetik koşullarda üretilmiş kalsiyum fosfat biyomalzemelerinin, biyolojik koşulların kısmen de olsa oluşturulduğu ortamda üretildiği için hücreler tarafından kolaylıkla kabul edilebileceği düşünülmektedir. Nano boyutlu hidroksiapatit, mikron boyutundakilere göre çok daha yüksek biyoaktivite (Sadat-Shojai vd.) 2013(Balasundaram vd.) ve geliştirilmiş emilebilirlik (Balasundaram vd.) 2006(Sui vd.) göstermektedir. Nano boyutlu hidroksiapatitte kalsiyum iyonlarının salınımı aynı zamanda doğal hidroksiapatitten ve temelde büyük taneli kristallerden daha hızlıdır (Sadat-Shojai vd.).

Bu çalışmada UHMWPE'nin mekanik özelliklerini geliştirmek amacı ile matris malzemesi UHMWPE'ye ağırlık oranında HAp partikülleri ilave edilerek UHMWPE-HAp kompozitleri üretilmiştir. Takviye oranları kompozit üretimi takviye mukavemet sınırları göz önüne alınarak çok sayıda literatür incelemesi ve deney sonrası belirlenmiştir. Elde edilen kompozit malzemeler mikroyapısal ve mekanik olarak incelenmiştir. Bu iki önemli malzeme grubunun kompozit oluşumuyla, polietilen linere

bağlı olarak protezde meydana gelebilecek problemler ortadan kaldırılarak/ geciktirilerek; tüm yaş ve kilodaki hastalar için daha uzun ömürlü protezlerin elde edilmesi hedeflenmiştir.



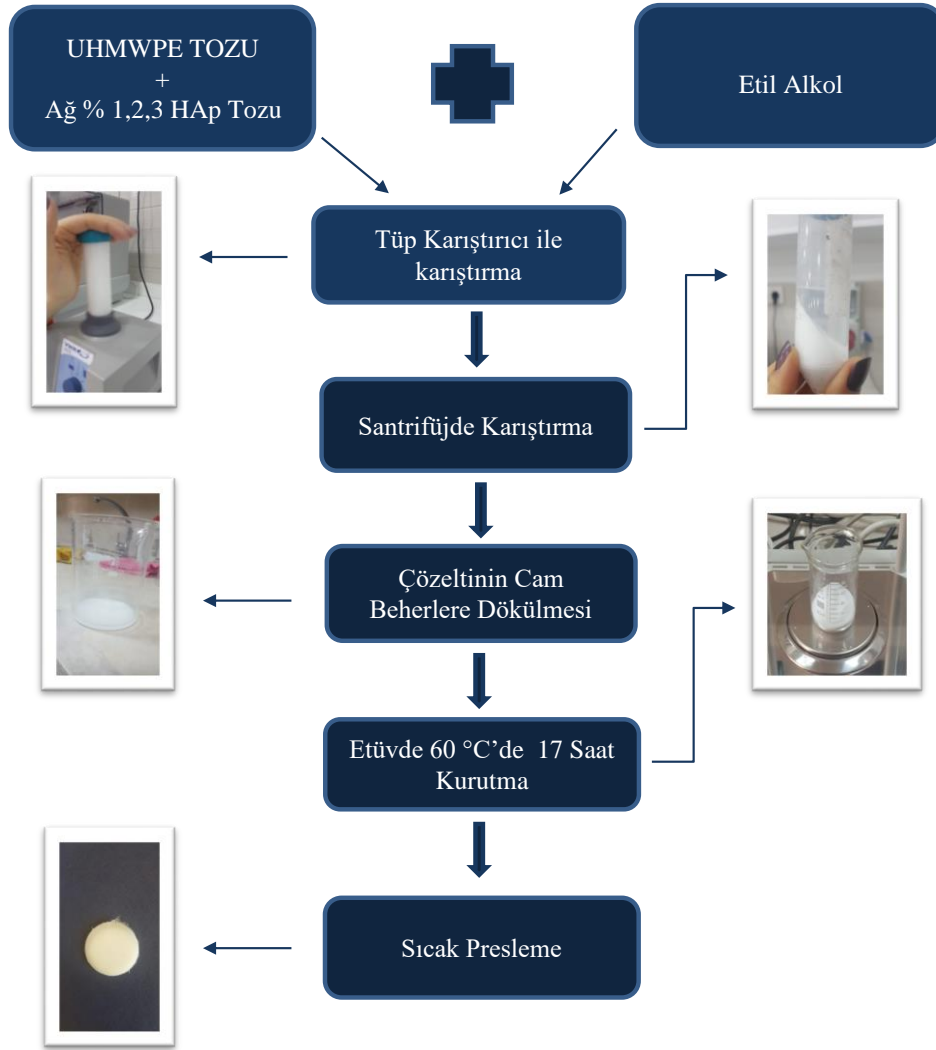
**Şekil 1.** Yapay kalça ve diz UHMWPE bağlantılarının şematik görünümü  
([http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page\\_719.html](http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_719.html))

*Figure 1. Schematic drawing of artificial hip and knee UHMWPE materials*

#### DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada matris malzemesi olarak ortalama UHMWPE tozu, takviye elemanı olarak da yaklaşık 50 nm boyutundaki HAp tozları kullanılmıştır. Ticari olarak Sigma Aldrich firmasından temin edilen UHMWPE tozu ve biyometik yöntemle biyomedikal laboratuvarında üretilmiş olan HAp tozu, sıvı ortamda alkol içerisinde homojen bir şekilde önce tüp karıştırıcıda sonrasında ise santrifüjde farklı sürelerde çevrimli olarak karıştırılmıştır. Ağırlıkça %1, %2 ve %3 HAp içeren UHMWPE-HAp toz karışımları yaklaşık olarak 60 °C’de 17 saat süresince açık atmosferli etüvde kurutulmuştur. Kurutulan tozlar 25 mm çapındaki silindirik bir kalıp içerisinde yaklaşık 200 °C’de, 1 ton yük altında, 30 dakika süre ile sıcak presleme ile pişirilmiştir. UHMWPE-HAp kompozitlerinin üretim prosesini gösteren akım şeması Şekil 2’de verilmiştir.

Çalışmada üretilen numunelerin mikroyapısı ve kimyasal kompozisyonu JEOL JSM-6060 LV model SEM ve EDS tekniği ile analiz edilmiştir. D/MAX-B/2200/PC, Rigaku Co., Japan X-Ray difraktometresinde Cu-K $\alpha$  radyasyonu kullanılarak faz analizi gerçekleştirilmiştir. UHMWPE-HAp kompozitlerinin sertlikleri Leica WMHT-Mod Vickers indantasyon tekniği ile, ergime sıcaklıkları NETZCH-2014 model termal analiz cihazı ile tespit edilmiştir.



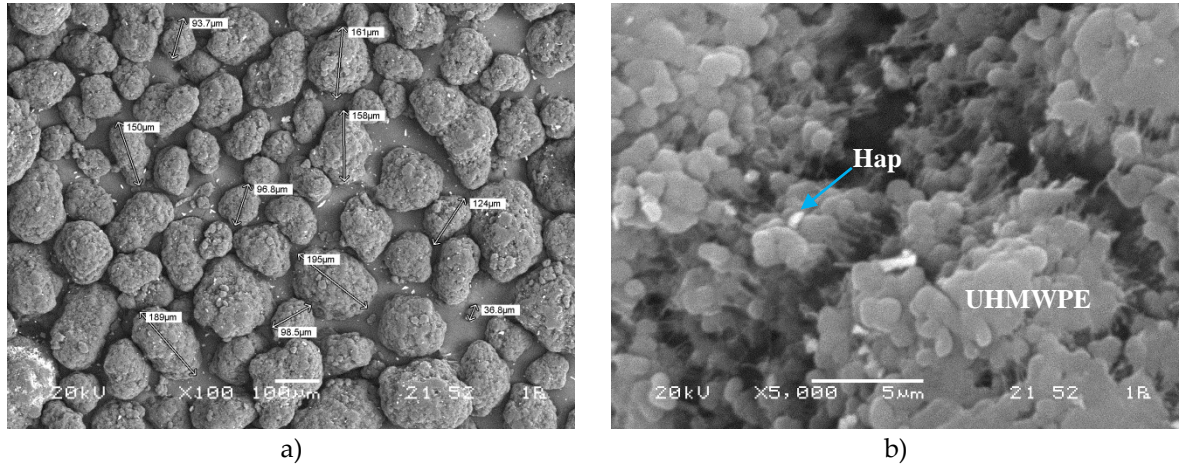
Şekil 2. UHMWPE-HAp kompozitlerinin üretim akım şeması

Figure 2. Flow chart of UHMWPE-HAp composites production

## DENEYSSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

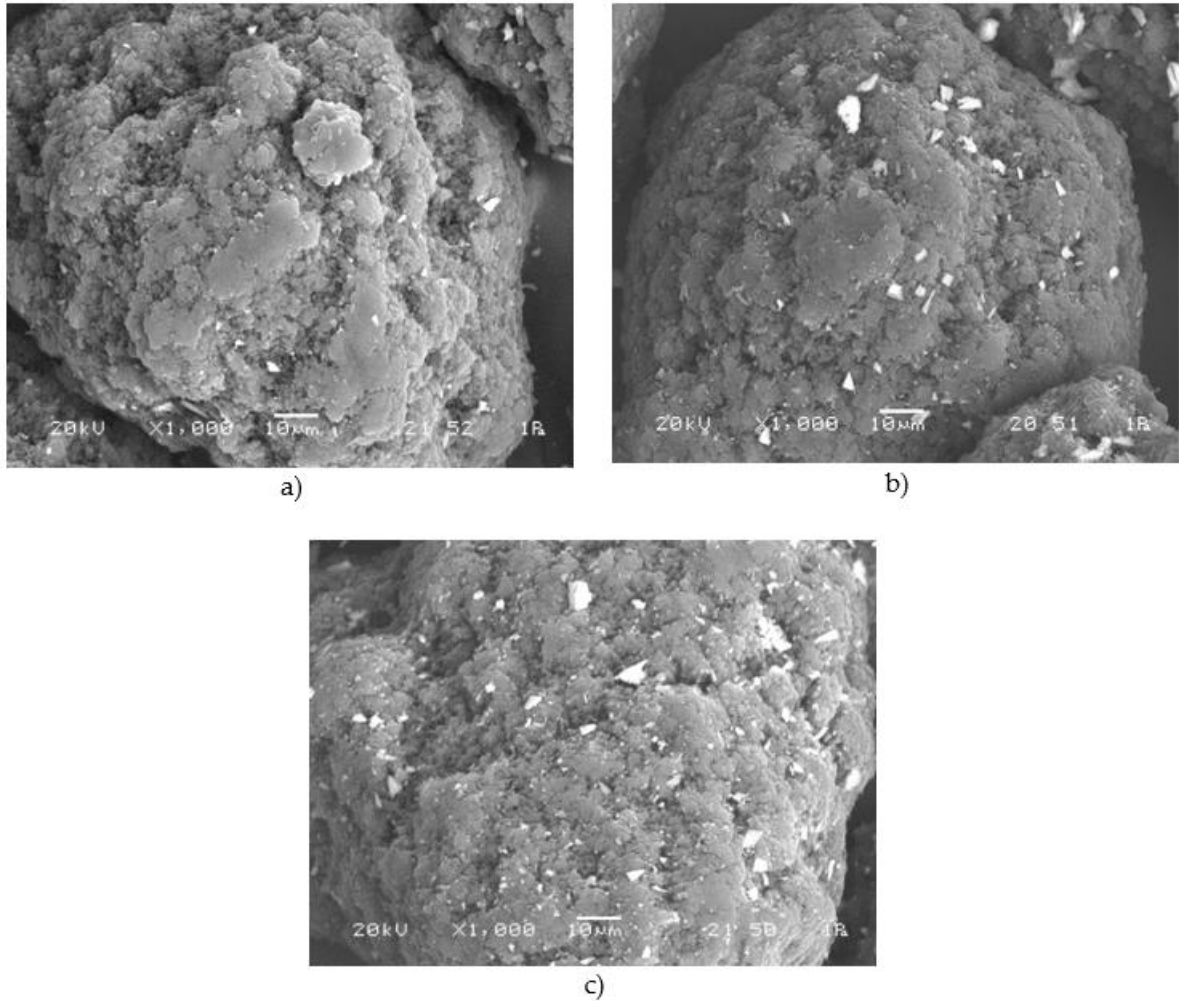
### SEM-EDS İncelemesi (SEM-EDS ANALYSIS)

UHMWPE ve ağırlıkça %1 HAp içeren toz karışımının SEM fotoğrafları Şekil (a-b)'de verilmiştir. Şekil 3a'dan UHMWPE tozlarının küresel şekilli olup; yaklaşık 100µm büyüklüğünde agregatlardan oluştuğu görülmektedir. Bu agregatlar yüksek büyütmede incelendiğinde UHMWPE tanelerinin yaklaşık 0,5-1 µm boyut aralığında olduğu gözlenmiştir. HAp taneleri beyaz renkte, UHMWPE taneleri gri renkte gözükmemektedir. (Şekil 3b).



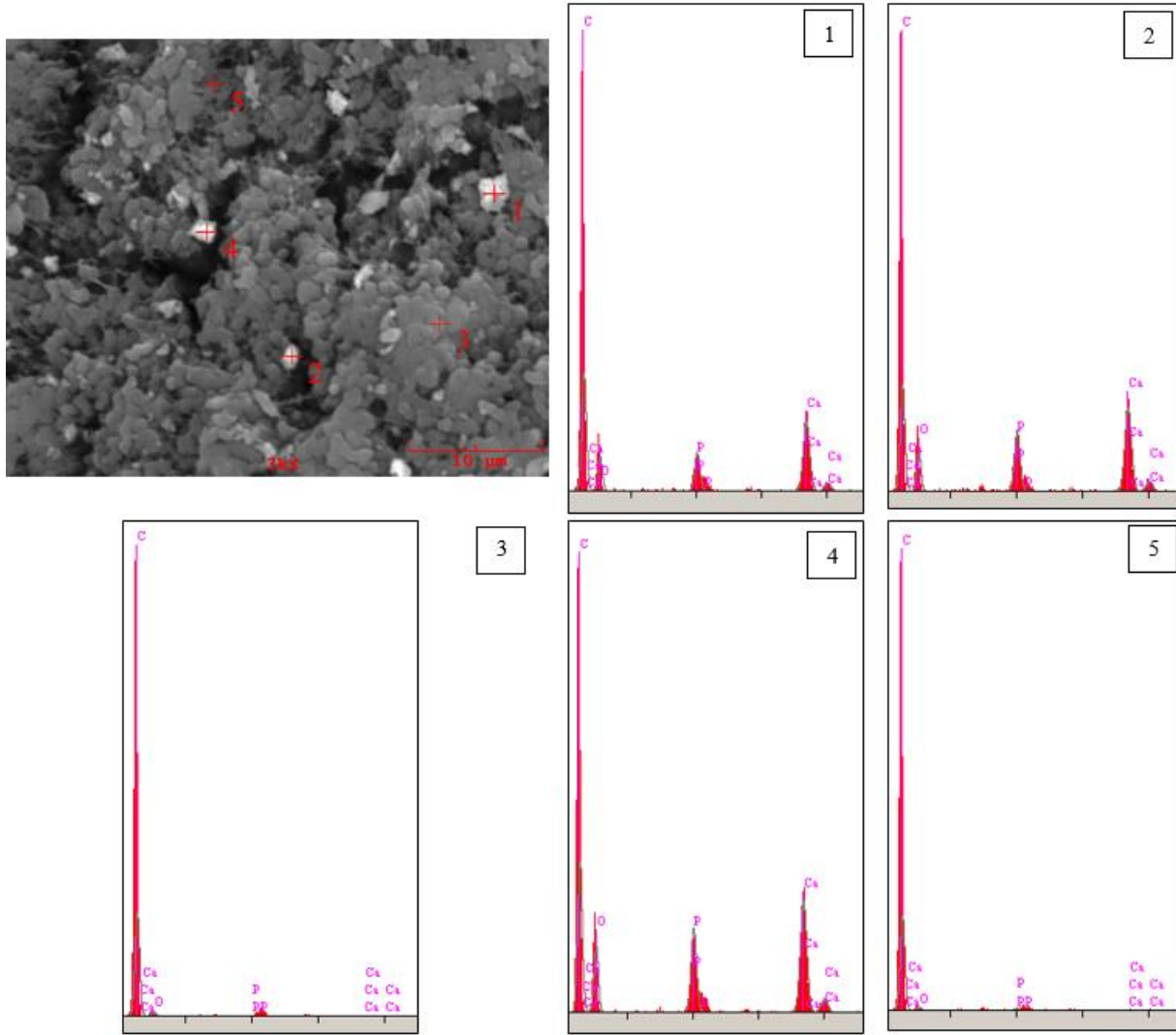
**Şekil 3.** (a,b) UHMWPE-ağ. %1 HAp toz karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri  
*Figure 3.* SEM images of UHMWPE-1 wt.% HAp powder mixture at different magnification.

Şekil 4'te UHMWPE-ağ. %1, 2 ve 3 HAp kompozitlerinin aynı büyütmedeki SEM mikrografları verilmiştir. SEM mikrograflarından küresel olarak agregelmiş UHMWPE tanelerinin üzerinde bulunan, beyaz renkte gözüken HAp tanelerinin, UHMWPE matris içerisinde homojen olarak dağıldığı ve miktarları arttıkça beyaz renkli kısımların arttığı gözükmektedir.



**Şekil 4.** (a-c) UHMWPE-ağ. %1-2-3 HAp toz karışımının SEM görüntüleri  
*Figure 4.* SEM images of UHMWPE-1-2-3wt.% HAp powder mixtures.

Şekil 5'te UHMWPE-HAp toz karışımlarının SEM-EDS analizinde, beyaz renkte gözükten partiküllerde Ca, P ve O tespit edilmiş olup; HAp'a ait olduğunu ispatlamaktadır. UHMWPE tanelerinin HAp tanelerini kuşatarak; aralarında mekanik bir bağlanma olduğu görülmektedir. HAp miktarındaki artışla beraber artan bağ sayıları ve homojen yapı, kompozitin yüksek mekanik özellik ve yüksek kristalinite özelliklerini sergileyeceğinin bir göstergesidir.



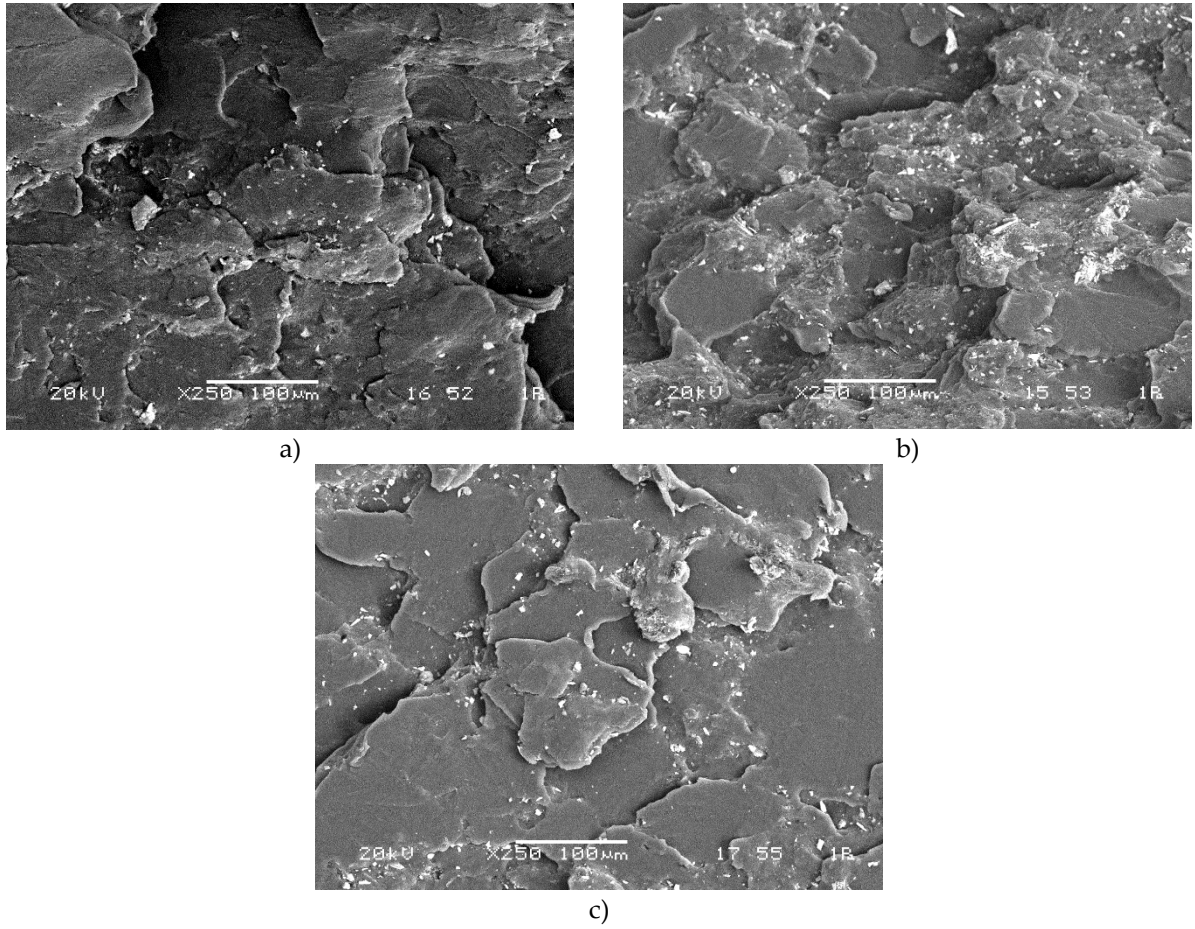
Şekil 5. UHMWPE-ağ. %2 HAp toz karışımının SEM-EDS analizi

Figure 5. SEM-EDS analysis of UHMWPE-2 wt.% HAp powder mixture.

#### UHMWPE – HAp Kompozit Kırık Yüzeylerinin SEM-EDS İncelemesi (SEM-EDS Observations of Fracture Surfaces of UHMWPE-Hap Composites)

Sıcak preslenmiş UHMWPE-HAp kompozitleri içerisindeki HAp partiküllerinin dağılımını ve matris ile ara yüzeyini görebilmek için kompozitler sıvı azot içerisinde bekletilerek kırılmıştır ve numunelerin kırık yüzeyleri SEM ile incelenmiştir. Kompozitlerin kırık yüzey mikroyapı görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Numunelerin kırık yüzey mikroyapı incelemeleri sonucunda kırılmaların agregat tane sınırları boyunca gevrek karakterde olduğu gözlemlenmiştir. Beyaz renkte gözükten HAp tanelerinin sadece UHMWPE agregat sınırlarında değil, UHMWPE tanelerinin içerisine de dağıldığı görülmektedir. HAp miktarı arttıkça kırık yüzeyleri daha pürüzlü hale gelmiştir. HAp taneleri matris içerisine gömülü

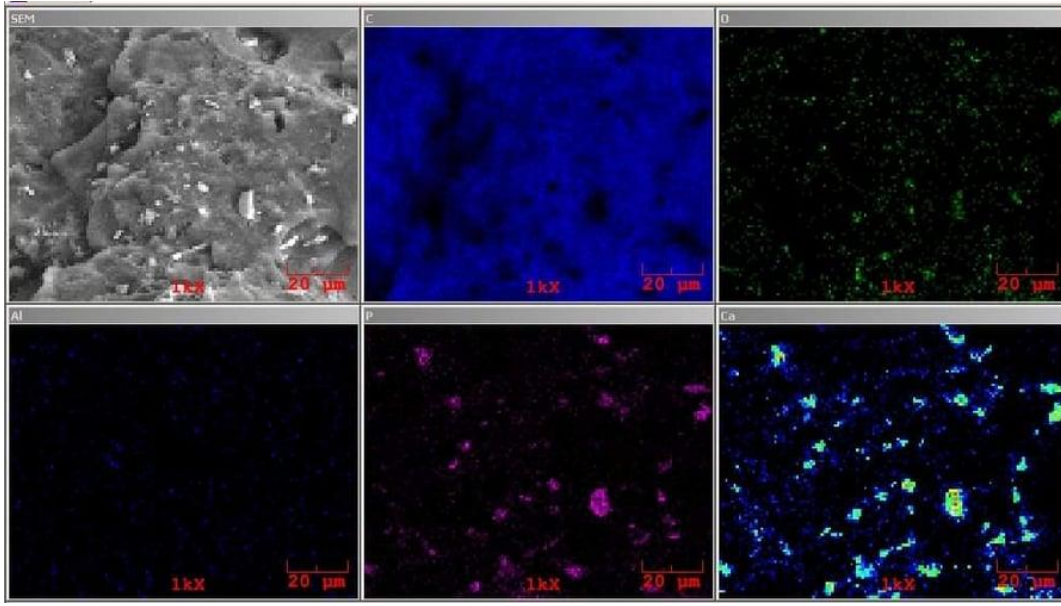
olup; UHMWPE ile aralarında iyi bir bağlanma olduğu söylenilebilir.



Şekil 6. (a-c) UHMWPE-ağ. %1-2-3 HAp kompozitlerinin kırık yüzey mikrografları

*Figure 6. Fracture surfaces of UHMWPE – 1-2- 3 wt.% HAp composites.*

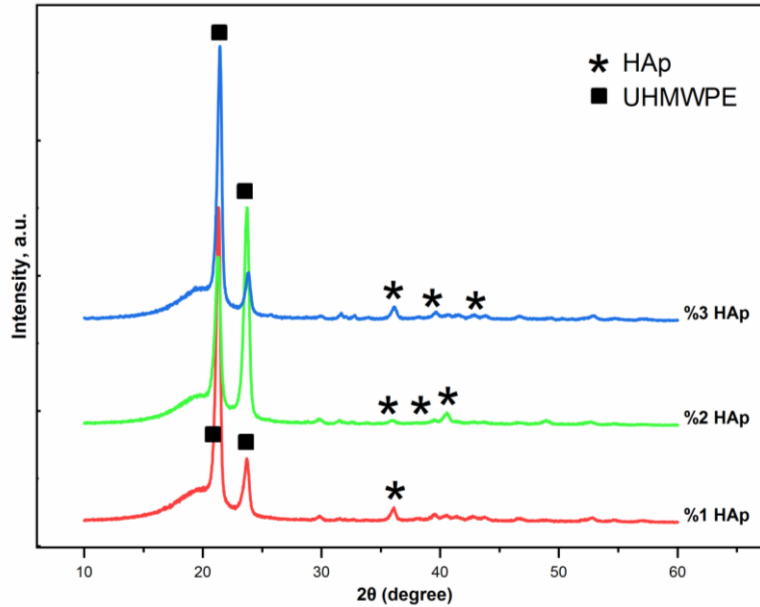
En yüksek takviye oranına sahip UHMWPE-ağ. %3 HAp kompozitin SEM-EDS haritalama analizi Şekil 7'de verilmiştir. SEM-EDS haritalama analizinde C, O, Al, P ve Ca taraması yapılmıştır. SEM resminde beyaz renkte gözükten kısımlarda Ca, P ve O'nun birlikte bulunduğu gözükmemektedir ve HAp varlığını ispat etmektedir.



Şekil 7. UHMWPE-ağ. %3 HAp takviyeli kompozitin kırık yüzeyinin SEM-EDS haritalama analizi  
 Figure 7. SEM-MAP analysis of fracture surfaces of UHMWPE – 3 wt.%HAp composite

#### XRD Analizi (XRD Analysis)

UHMWPE-HAp kompozitlerindeki kristalin ve hakim fazları görebilmek için XRD analizi yapılmıştır. UHMWPE-ağ. %1, 2 ve 3 HAp kompozitlerinin XRD analiz sonuçları Şekil 8.'de verilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen piklerin matris fazı UHMWPE ve takviye fazı HAp'a ait olduğu görülmektedir. UHMWPE'ye ait litaretürdeki mevcut piklerin hepsi tespit edilmiştir. XRD cihazı ağırlıkça %5'in altını belirleyemediğinden dolayı takviye fazı HAp'a ait pikler ağ. % 2 HAp ilavesinden sonra görünür hale gelmiştir.

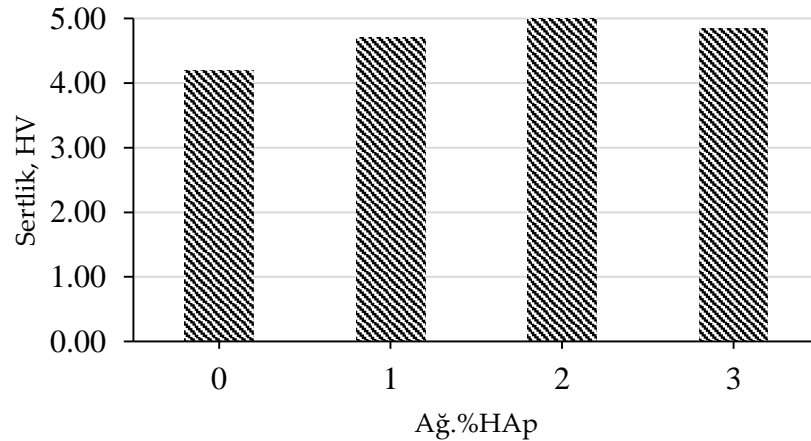


Şekil 8. Ağ. % 1-2-3 HAp içeren UHMWPE-HAp kompozitlerinin XRD paterni  
 Figure 8. XRD patterns of UHMWPE and UHMWPE – 1-2-3 wt.% HAp composites



### Sertlik Sonuçları (Hardness Results)

UHMWPE ve UHMWPE-HAp kompozitlerinin sertlik değerleri Vickers sertlik cihazında, Vickers indentasyon yöntemiyle en az beş farklı bölgeden ölçülmüştür. Ağ.%1, %2, %3 HAp içeren UHMWPE-HAp kompozitlerinin ve katkısız UHMWPE'nin ortalamaları alınan Vickers sertlik değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Grafikte UHMWPE matrise ilave edilen HAp miktarı ağırlıkça %3'e kadar arttıkça sertlik de artış göstermiş, ağ.%3 HAp ilavesinde ise sertlikte düşüş görülmüştür. Kang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada UHMWPE'ye ağ.%5, 10, 15 ve 20 oranında HAp ilave etmiş ve maksimum 2,21HV sertlik değerine ulaşmıştır (Kang vd.). Bu çalışmada saf UHMWPE için 4,20HV olarak tespit edilen sertlik değeri %2 HAp ilavesi ile 5,28HV'ye yükselmiş olup; literatürde elde edilen değerlerden oldukça yüksektir. Bu sertlik artışı üretim prosesine bağlı olarak gelişmiştir. HAp tanelerinin uzun polietilen zincirleri arasında çapraz bağlanmayı sağlayarak; kompozitin kristalinitesini ve buna bağlı olarak da sertliğini arttırmaktadır (Shahemi vd.). Ağ.%3 HAp ilavesinde zincirler arasındaki bağlanma artmamıştır. Tüm bu sonuçlar DSC analizleri ile desteklenmiştir. Ayrıca polimer matrise ilave edilen takviye tozlarının kompozit matris içerisinde homojen dağılımı kompozitin performansı açısından oldukça büyük öneme sahiptir (Pang vd.). UHMWPE'ye ilave edilen nano boyutta partiküllerin kompozitin tribolojik özelliklerini arttırdığı bilinmektedir (Gaot ve Mackley), 1992; (Slouf Miroslav) (Å ve Elfick). Galetz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada UHMWPE'ye karbon nanotüplerin ilavesi ile kompozitin sünekliğinden bir kayıp olmazken; sertlik, elastik modül, akma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin arttığını ve bunun da doğru orantılı olarak aşınma dayanımlarını arttığını tespit etmişlerdir (Norton vd.). Matrise ilave edilen nano partiküller, polimer içerisinde heterojen çekirdekleyici görevi görmekte ve kompozitin kristalinite değerini arttırmaktadır. Artan kristalinite değeri, kompozitin mekanik ve tribolojik özelliklerini geliştirmektedir (Sui vd.) 2009;(Balani vd.) 2014(Peng Chang vd.) 2015(Xie vd.).



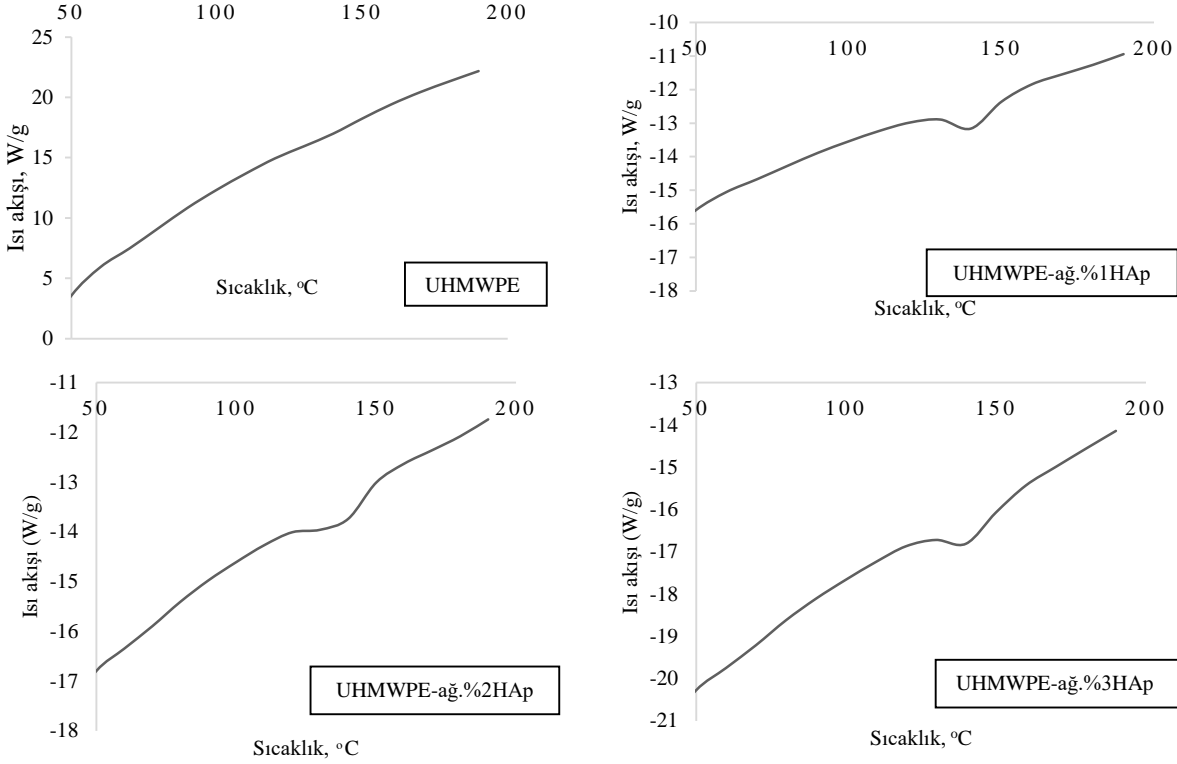
Şekil 9. Ağ. % 1-2-3 HAp içeren UHMWPE-HAp kompozitinin Vickers sertlik değerleri

Figure 9. Hardness results of UHMWPE and UHMWPE – 1-2-3 wt.% HAp composites

### DSC Analizi Sonuçları (Thermal Analysis (DSC) Results)

UHMWPE ve UHMWPE-HAp kompozitlerin, 10 °C/dk ısıtma oranında, oda sıcaklığından 200 °C'ye kadar olan DSC eğrileri Şekil 10'da verilmiştir. DSC eğrilerindeki endotermik pikler, numunenin ergime sıcaklığını ( $T_{erg}$ ) vermektedir ve tüm numuneler için 140 °C olarak tespit edilmiştir. Piklerin altındaki alan ergime entalpisini ( $\Delta H$ ) vermektedir (Wang vd.). Bu değer malzemenin kristalinitesiyle orantılıdır. Polimerlerin kristalinite oranı; akma gerilmesi, elastik modül, ve darbe direnci gibi mekanik özelliklerin

tespit edilebilmesinde önemli bir etkidir (Demirel ve diğ., 2011). DSC analizi ise kristalinite oranının hesaplanmasında tercih edilen bir yöntemdir (Kong ve Hay, 2002; (Bin vd.) 2001; Turell ve Bellare, 2004).



**Şekil 10.** UHMWPE ve UHMWPE – Ağ. %1-2-3 HAp kompozitinin DSC analizi  
*Figure 10.* DSC analysis of UHMWPE and UHMWPE – 1-2-3 wt.% HAp composites

## SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- 1- UHMWPE-HAp kompozitleri sıcak presleme yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- 2- SEM mikroyapılarında UHMWPE matris gri renkte gözükmektedir. Matris içerisine gömülmüş beyaz renkli bölgeler HAp partiküllerini göstermektedir. HAp partikülleri matris içerisinde homojen olarak dağılmıştır. Polimer matris ve HAp partikülleri arasında iyi bir bağlanma olduğunu söylemek mümkündür. SEM mikrograflarında yüksek büyütmelelerdeki incelemelerde ara yüzeylerde herhangi bir kusur olmadığı görülmüştür.
- 3- EDS analizlerinde beyaz renkte gözüken partiküllerin HAp'a, gri renkli bölgenin ise UHMWPE matrise ait olduğu tespit edilmiştir. Kompozit numunelerin yüzeylerinde beyaz renkte ve daha yüksekte gözüken bölgelerden alınan analiz sonuçlarında kalsiyum ve fosfora rastlanmıştır. Bu sonuç HAp varlığını doğrulamaktadır.
- 4- XRD analizi sonucunda elde edilen piklerin (kristal olmayan malzemede zaten pik olmaz, o nedenle "kristalin pik" ifadesi doğru bir kullanım değildir) matris fazı UHMWPE'ye ve takviye fazı HAp'a ait olduğu belirlenmiştir. HAp'a ait pikler HAp miktarı arttıkça daha şiddetli hale gelmiştir.
- 5- Katkısız UHMWPE'nin sertliği 4,2 HV olarak tespit edilmiş; HAp ilavesi ile birlikte UHMWPE-HAp kompozitlerinin sertliği 5,28 HV değerlerine yükselmiştir. Genel olarak, en fazla %2 HAp ilavesine kadar ilave ile sertlik değerleri artış göstermiştir.

- 6- UHMWPE-HAp kompozitlerinin ergime sıcaklıkları DSC analizi ile 140 °C olarak tespit edilmiştir.
- 7- Bütün deneysel çalışmalar sonucunda total kalça protezinin asetebular yuva ve liner kısımlarında kullanılacak malzeme seçiminde UHMWPE-ağ%2 HAp kompozitinin uygun olabileceği belirlenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Annas B., A., et al. 2018, "Tribological investigations of UHMWPE nanocomposites reinforced with three different organo-modified clays". *Polymer Composites*, Vol. 39, No: 7, pp. 2224–31.
- Antônio E., C., M., et al. 2016, "Calcium carbonate hybrid coating promotes the formation of biomimetic hydroxyapatite on titanium surfaces". *Applied Surface Science*, Vol. 370, pp. 459–68.
- Balani, K., et al. 2014, "Biosurfaces: Amaterials Science and Engineering Perspective", <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17343486>.
- Balasundaram, G., et al. 2006, "Using hydroxyapatite nanoparticles and decreased crystallinity to promote osteoblast adhesion similar to functionalizing with RGD". *Biomaterials*, Vol 27, No: 14, pp. 2798–805.
- Çelebi Efe, G., et al. 2021, "Characterization of UHMWPE- HAp coating produced by dip coating method on Ti6Al4V alloy". *Surface and Coatings Technology*, Vol. 418, pp. 127091.
- Dastjerdi, R., ve Montazer, M., 2010, "Colloids and Surfaces B : Biointerfaces A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles : Focus on anti-microbial properties". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 79, No: 1, pp. 5–18.
- Demirel, B., et al. 2011, "Crystallization Behavior of PET Materials". *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi Cilt*, Vol. 13, No:1, pp. 26–35.
- Edward, B., et al. 2020, "Threshold for Computer- and Robot-Assisted Knee and Hip Replacements in the English National Health Service". *Value in Health*, Vol. 23, No:6, pp. 719–26.
- Gaot, P., Mackley M. R., 1992, *Surface treatment of ultra high molecular weight polyethylene to enhance adhesion and conductivity properties\**. Vol. 33, No: 19, pp. 4075–80.
- Gong, S., et al., 2008, "Zirconium complexes with versatile b -diketiminat ligands : Synthesis , structure , and ethylene polymerization". *Journal of Organometallic Chemistry*, Vol. 693, No:23, pp. 3509–18.
- Hussain, O., 2021, "Tribological performance of biomedical grade UHMWPE/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Vitamin-C hybrid composite for cartilage replacements". *Materials Letters*, Vol. 291, Elsevier B.V., pp. 129515.
- Kang, X., 2016, "Mechanical properties study of micro- and nano-hydroxyapatite reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene composites". *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 133, No:3,
- Kilgour, A., Elfick, A., 2009, "Tribology International Influence of crosslinked polyethylene structure on wear of joint replacements". *Tribology International*, Vol. 42, No:11–12, Elsevier, pp. 1582–94.
- Kong, Y., Hay, J. N., 2002, *The measurement of the crystallinity of polymers by DSC*. Vol. 43, pp. 3873–78.
- Macuvele, D.L. P., et al. 2017, "Advances in ultra high molecular weight polyethylene/hydroxyapatite composites for biomedical applications: A brief review". *Materials Science and Engineering C*, Vol. 76, pp. 1248–62.
- Mirsalehi, S. A., et al. 2015 "Tensile and biocompatibility properties of synthesized nano-hydroxyapatite reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene nanocomposite". *Journal of Composite Materials*, Vol. 50, No:13, pp. 1725–37.
- Nadzadi, M.E., et al. 2002, "Effects of acetabular component orientation on dislocation propensity for small-head-size total hip arthroplasty". *Clinical Biomechanics*, Vol. 17, No:1, pp. 32–40.
- Norton, K.A., et al. 2015, "Heterogeneity of chemokine cell-surface receptor expression in triple-negative breast cancer". *American Journal of Cancer Research*, Vol. 5, No:4, pp. 1295–307.
- Pang, W., et al. 2015, "Mechanical and thermal properties of graphene oxide/ultrahigh molecular weight polyethylene nanocomposites". *RSC Advances*, Vol. 5, No:77, Royal Society of Chemistry, pp. 63063–72.
- Peng C.B., et al. 2015, "Optimization on wear performance of UHMWPE composites using response surface methodology". *Tribology International*, Vol. 88, pp. 252–62.

- Pylypchuk, I. V., et al. 2016, "Formation of biomimetic hydroxyapatite coatings on the surface of titanium and Ti-containing alloys". *Surface Chemistry of Nanobiomaterials*, pp. 193–229,
- Ruggiero, A., et al. 2020, "In silico total hip replacement wear testing in the framework of ISO 14242-3 accounting for mixed elasto-hydrodynamic lubrication effects". *Wear*, Vol. 460–461.
- Sadat-Shojai, M., et al. 2013, "Synthesis methods for nanosized hydroxyapatite indiverse structures". *Acta Biom aterialia*, Vol. 9, pp. 7591–621.
- Salari, M., et al. 2019, "Improved wear, mechanical, and biological behavior of UHMWPE-HAp-zirconia hybrid nanocomposites with a prospective application in total hip joint replacement". *Journal of Materials Science*, Vol. 54, No:5, pp. 4259–76.
- Shahemi, N., et al. 2018, "Long-term wear failure analysis of uhmwpe acetabular cup in total hip replacement". *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Vol. 87, pp. 1–9.
- Slouf M., 2012, *Monitoring and minimization of UHMWPE wear in total joint replacements*.
- Sui, G., et al., 2009, *Structure , mechanical properties and friction behavior of UHMWPE / HDPE / carbon nanofibers*. Vol. 115, pp. 404–12.
- Toh, S. M. S., et al. 2021, " Computational method for bearing surface wear prediction in total hip replacements". *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Vol. 119, pp. 104507.
- Turell, M. B, Anuj B., 2004, "A study of the nanostructure and tensile properties of ultra-high molecular weight polyethylene". *Biomaterials*, Vol. 25, No:17, pp. 3389–98.
- Ursavaş, F. ., Yaradılmış Y. U., 2020, "Relationship Between Pain Beliefs and Postoperative Pain Outcomes After Total Knee and Hip Replacement Surgery". *Journal of Perianesthesia Nursing*, W.B. Saunders
- Wang, H., et.al, 2016, "Improving the creep resistance and tensile property of UHMWPE sheet by radiation cross-linking and annealing". *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 125, pp. 41–49,
- Wei, He., Benson, R., 2011, "10 Polymeric Biomaterials". *Applied Plastics Engineering Handbook*,
- Xie, X. L., et al. 2003, *Wear performance of ultrahigh molecular weight polyethylene / quartz composites*. Vol. 24, pp. 1889–96.
- Yadav, A., et al., 2021, "YouTube – An unreliable source of information for Total hip replacement". *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, Vol. 13, pp. 82–84.
- Yuezhen, B., et al. 2001, "Ultra-drawing of low molecular weight polyethylene D ultra-high molecular weight polyethylene blend ® lms prepared by gelation / crystallization from semi-dilute solutions". Vol. 42, pp. 8125–35.