

AMETİSTLERİN TERMOLÜMINESANS YÖNTEMİYLE DOZİMETRİK KARAKTERİSTİĞİNİN ANALİZ EDİLMESİ *

*Analysing Dosimetric Characteristics of Amethysts Using Thermoluminescence
Technique*

Necmettin NUR
Fizik Anabilim Dalı

Zehra YEĞİNGİL
Fizik Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada Balıkesir-Dursunbey Güğü Köyü civarından alınmış doğal ametist örneklerinin dozimetrik malzeme olarak kullanımının araştırılması amacıyla dozimetrik karakteristikleri termolüminesans yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada ametistin dozimetrik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tekrar kullanılabilirlik, anormal sönüm ve doz cevabı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ametist örneklerinin tekrar kullanıldığında TL şiddetindeki hassasiyet değişiminin %4'ten az olduğunu, örneklerin oda sıcaklığında bekletilmeleri sonucu TL şiddetinde %14'lük azalma meydana geldiğini, örneklerin 10 Gy ile 1 kGy arasında lineer bir doz cevap eğrisine sahip olduğunu ve ametistlerin yüksek radyasyon dozu uygulamalarında dozimetrik malzeme olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ametist, Doz Cevabı, Gama Işını, Beta Işını, TLD Dozimetre.

ABSTRACT

In this study the dosimetric characteristics of some natural amethyst samples collected from Balıkesir-Dursunbey are investigated by using thermoluminescence technique for the purpose of determining the suitability of them as dosimetric materials. In this study, various experiments have been carried out for the investigation of the dosimetric properties of amethyst samples. Briefly, these experiments can be outlined as: reproducibility, fading and the dose response of the amethyst samples. The results obtained have shown that using the amethyst samples repeated times will change the TL sensitivity as an amount of less than 4%. The amethyst samples stored at the room temperature for the different time intervals and the reduction of 14% was recorded in TL intensity. The studied samples have linear dose responses for the absorbed doses ranging between 10 Gy and 1 kGy. Consequently, we investigated that amethyst samples can be used in high dose applications of radiation as dosimetric materials.

Keywords: Amethyst, Dose Response, Gamma Rays, Beta Rays, TLD Dosimeters.

* Doktora Tezi-Phd. Thesis

Giriş

Termolüminesans (TL) dozimetrisi günümüzde, soğurulan dozun ölçümünde kullanılan önemli bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Termolüminesansın çevresel, kişisel ve klinik uygulamalardaki öneminden dolayı şu anki çalışmalar daha çok yeni ve yüksek performanslı TL dozimetrelerinin üretilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Pasif dozimetrelerin küçük ve ucuz olmalarının yanı sıra bulundukları yerde herhangi bir elektronik güç kaynağına ihtiyaç duymamaları ve yüksek dozlar için de kullanılabilirlikleri gibi birçok avantajları vardır. Termolüminesans dozimetreleri (TLD) iyonize radyasyon dozunun ölçülmesinde kullanılan pasif dozimetre tiplerinden biridir (Rendell ve ark., 1993).

Bu çalışmada Balıkesir-Dursunbey Güğü Köyü civarından alınmış doğal ametist örneklerinin dozimetrik malzeme olarak kullanımının araştırılması amacıyla termolüminesans özellikleri incelenmiştir. Ametist örneklerinin TL özelliklerinin incelenmesi için hem $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı hem de ^{60}Co gama kaynağı kullanılmıştır. Böylece farklı enerjili radyasyon kaynaklarının kullanımıyla elde edilen TL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması da sağlanmıştır. Yapılan çalışmada ametistin dozimetrik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tekrar kullanılabilirlik, anormal sönüm ve doz cevabı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Materyal ve Metot

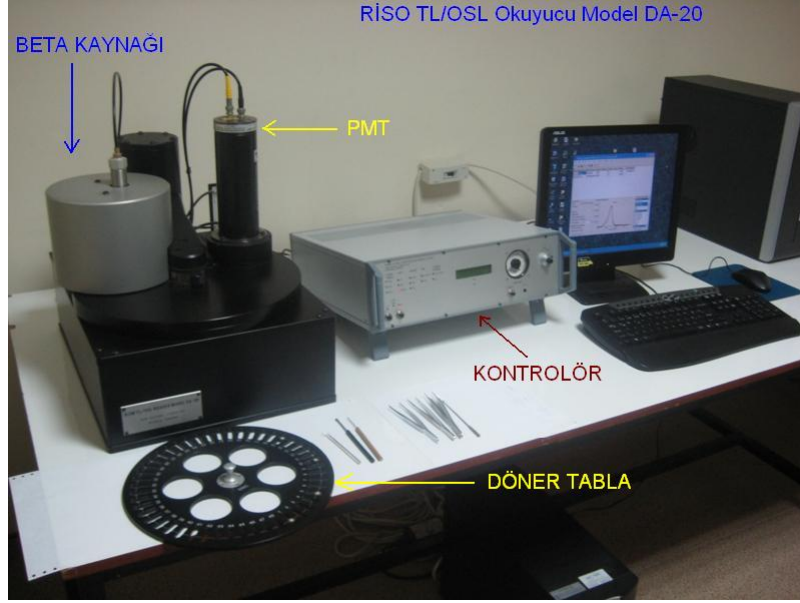
Materyal

Silis grubu mineraller doğada çok çeşitli formlarda bulunmaktadır. Ametist, Kuvars (SiO_2) mineralinin makrokristalin çeşididir. Makroskobik kristaller ve mikro kristaller olarak iç tarafı agat ile çevrilmiş boşluklarda ve sıkça jeod (volkanik kayadaki boşluk) şeklinde silikatlı volkanikler içinde bulunurlar. Ametist kristallerinin özgül ağırlığı 2.65 g/cm^3 iken iyi tanelenmiş çeşitlerde 2.60 g/cm^3 'tür. Ametist kristallerinin Türkiye'deki en büyük rezervinin Balıkesir-Dursunbey Güğü köyü civarında olduğu bilinmektedir (Gürbüz, 2007). Açık eflatun ile koyu mor arasında değişen renkleri ile bilinen ametistler silikat grubuna ait kuvars mineral türlerinden biridir. Renklenmenin sebebinin az miktardaki demirin yanı sıra manganiz ile antumuan varlığı ve doğada maruz kaldığı radyasyonun da etkili olduğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmektedir (Gürbüz, 2007). Ametistler α -kuvarsın ($\alpha\text{-SiO}_2$) mor türevleridir (Balitsky ve ark., 2000; Zhang ve ark., 1994). Literatürde doğal ametistlerin yayılım spektrumları ile ilgili fazla çalışma bulunmamasına rağmen sentetik ametistlerin yayılım spektrumları incelendiğinde 740-750 nm ile 350 nm civarında yayıma sahip oldukları bildirilmiştir (Zhang ve ark., 1994).

TL Ölçüm Sistemi

Bu çalışmada yapılan ölçümlerde Risø TL/OSL (model DA-20) cihazı kullanılmıştır. TL/OSL cihazı tamamen bilgisayar kontrollüdür. Bu kontrolün sağlanabilmesi ve elde edilen ölçüm sonuçlarının analiz edilebilmesi için sırasıyla "Sequence" ve "Analyst" adı verilen iki program kullanılmaktadır. Şekil 1'de cihazın bir görüntüsü verilmektedir. TL/OSL cihazının bir avantajı örneklerin OSL ve TL

ölçümleri sırasında ön ısıtma işlemine tabi tutulabilmeleridir. Ayrıca OSL ölçümü, belirlenen bir ön ısıtma sıcaklığında örnek sıcaklığının sabit tutularak gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede kuvars gibi dozimetrik malzemelerin tuzak parametreleri ve karakteristiği ile ilgili çalışmaların yapılması mümkün olmaktadır.



Şekil 1. RISO TL/OSL cihazının genel görünümü

Metot

Ametist örnekleri, Balıkesir ili Dursunbey ilçesi Güğü (Göğü) köyü yakınında yer alan Alaçam Madencilikten temin edilmiştir. Doğal ametist kristallerinin dozimetrik özelliklerinin incelenmesi çalışmaları ise Ç.Ü. Fizik Bölümü Termoluminesans Dozimetresi ve Medikal Fizik laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Ametist Örneklerinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan bu örnekler öncelikle saf su ile yıkanmış ve böylece farklı materyallerin örneğe bulaşma ihtimali önlenmiştir. Daha sonra örnekler etüvde 40 °C'de kurutulmuş ve agat havanda kırılarak 90-140 µ arasında elenmişlerdir. Örnekler bu şekilde hazırlandıktan sonra kenarlıklı disklerin içerisine homojen bir şekilde yerleştirilerek her biri ~30 mg olacak şekilde tartılmışlardır. Böylece örnekler ölçüm için hazır hale getirilmişlerdir.

Bu çalışmada ametistin iyi bir dozimetre malzemesi olarak kullanılıp kullanılamayacağını anlamak amacıyla çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sırasıyla şöyledir: Tekrar Kullanılabilirlik, Anormal Sönüm ve Doz cevabı.

Tekrar Kullanılabilirlik

Doğal ametist örneklerinin verilen radyasyon dozuna karşı her seferinde aynı hassasiyetle cevap vermesi önemlidir. Çünkü dozimetre uygulamalarında aynı dozimetrenin tekrar tekrar kullanılabilirliği aranılan bir özelliktir. Doğal ametist örneklerinin tekrarlanabilirlik testi için 90-140 µ arası elenmiş ve ~30 mg olacak şekilde tartılmış toz ametist örneklerinden 3 adet hazırlanmıştır. Bu örnekler deneyden önce 450 °C'de 90 dakika ve 80 °C'de 24 saat (standart tavlama işlemi) tavlansak barındırdıkları doğal radyasyon dozunun silinmesi sağlanmıştır. Ardından bu örnekler 100 Gy'lik beta dozu verilmiş ve TL ışıma eğrileri okunmuştur. Her TL okumasından sonra örnekler yeniden tavlansmıştır. Bu işlem aynı örnekler için 10 defa uygulanmıştır.

Anormal Sönüm

Anormal sönüm (başka bir deyişle ısısal olmayan sönüm), düşük sıcaklıklardaki saklama koşullarında bile TL sinyalinin görünür bir şekilde azalması ile kendini belli eden bir olaydır. Anormal sönümün sebebi olarak iki önemli faktör gösterilebilir. Bunlardan birincisi kuantum mekaniksel tünelleme yolu ile tuzaklanmış elektronların yeniden birleşme merkezlerine doğrudan geçmeleri olayıdır (Visocekas ve ark., 1976). İkincisi ise tuzakları oluşturan bazı iyonların kristalden difüzyon yolu ile uzaklaşmalarıdır (Templer, 1986).

Doğal ametist örneklerinin almış oldukları radyasyon dozundan ileri gelen TL sinyallerinin, düşük sıcaklıklardaki saklama koşullarında zaman geçtikçe azalıp azalmayacağını anlamak için 90-140 µ arası elenerek hazırlanmış ve 30 mg olarak tartılmış toz örnekler kullanılmıştır. Öncelikle örnekler aynı koşullarda belirlenen standart tavlama sıcaklığında tavlansak doğal radyasyon dozunun silinmesi sağlanmıştır. Daha sonra tüm örnekler 100 Gy'lik beta dozu verilmiştir. İlk örneğin TL okuması doz verilmesinin hemen ardından gerçekleştirilmiştir. Diğer örneklerin TL okumaları ise sırasıyla 1, 6, 24, 48 saat ile 7 ve 25 günlük beklemenin arkasından yapılmıştır.

Doz Cevabı

İyi bir dozimetrik malzemenin geniş bir doz aralığında lineer bir doz cevap eğrisine sahip olması beklenir. Bu yüzden ametist kristallerinin hangi doz aralığında lineer bir doz cevap eğrisine sahip olduğunu bulmak, ametistin dozimetrik malzeme olarak kullanımında çok önemli bir yer tutmaktadır.

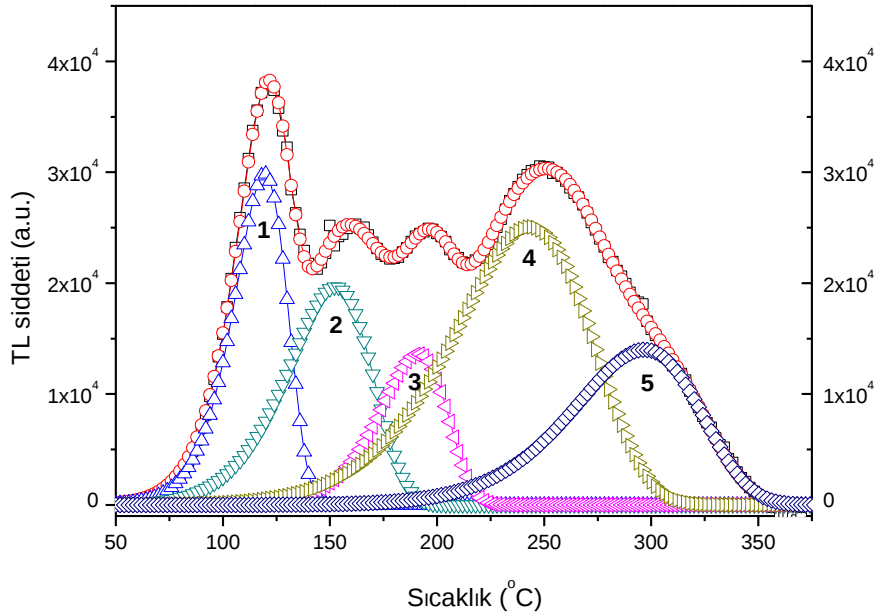
Doğal ametist kristalinin hangi bölgede lineer doz cevap eğrisine sahip olduğunun belirlenmesi amacıyla 90–140 µ arası elenmiş ve ~30 mg olacak şekilde tartılarak hazırlanmış örnekler kullanılmıştır. Bu örnekler kenarlıklı disklerin içerisine homojen bir şekilde yayılarak, ışınlama sırasında diskin her noktasındaki kristallerin aynı dozu almaları sağlanmıştır. Örneklerin homojen şekilde diskler üzerine yayılması aynı zamanda, TL okuması sırasında örneğin tamamının aynı miktarda ısınmasını sağlayarak daha hassas bir ölçüm alınmasını sağlamaktadır. Örnekler tavlama işleminden sonra kararlı tuzak dengesine ulaşmaları için 1 gün bekletilmişlerdir. Bu şekilde hazırlanan örnekler Risø TL/OSL cihazındaki standart

beta kaynağı kullanılarak sırasıyla 1, 2, 6, 10, 20, 40, 60, 100, 200, 400 ve 600 Gy ile 1, 2, 4, 6, 10, 15 ve 25 kGy'lik dozlar verilmiştir. Işınlama işleminden sonra örnekler 24 saat bekletilmiş ve ardından TL ve fon sinyalleri kaydedilmiştir.

Araştırma Bulguları

Tekrar Kullanılabilirlik

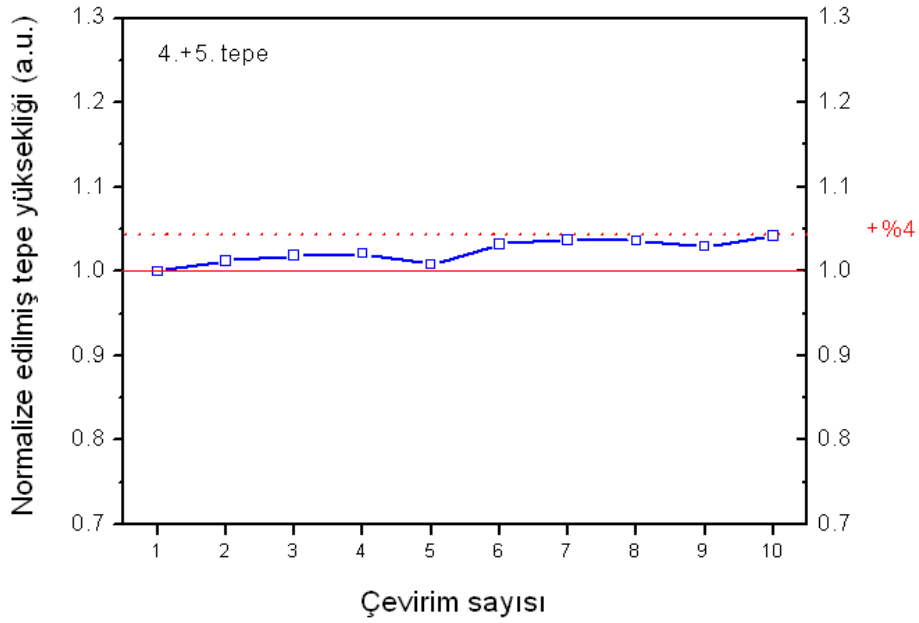
Ametist örneklerinin TL eğrisinin incelenmesi amacıyla 250 °C'de 0.5 h tavllanmış ve 200 Gy beta dozu verilerek elde edilmiş ve TL ışıma eğrisinin CGCD yöntemi ile alt tepelerine ayrılmış ve elde edilen sonuç Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tavlama sonrası beta dozu verilerek elde edilen TL ışıma eğrisi 5 alt tepeden oluşmaktadır.



Şekil 2. 250 °C'de 0.5 h tavllanmış ve 200 Gy beta dozu verilerek elde edilmiş ve TL ışıma eğrisinin CGCD yöntemi ile alt tepelerine ayrılması

Ametist örneklerinin tekrar kullanılabilirlik oranının incelenmesi amacıyla örnekler hazırlanmış ve yukarıda belirtilen deney protokolü uygulanmıştır. Örneklerin her tavlama + doz + TL okuması işlemleri kısaca “çevirim” olarak adlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar çevirim sayısı arttıkça düşük sıcaklık tepelerinin TL hassasiyetlerinde gözle görülür bir artış meydana geldiğini göstermiştir. Buna karşın dozimetrik tepe olan 4.+5. tepe için bu değişim daha

azdır. Şekil 3'te 4.+5. tepe için çevirim sayısına karşı normalize edilmiş TL hassasiyetinin grafiği yer almaktadır. Bu grafikte dozimetrik tepenin TL hassasiyetindeki değişimin 10 çevirim sonunda ilk değere göre maksimum + %4'lük sapmaya sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç ametist örneklerinin tekrar kullanılabilirlik oranının düşük denebilecek hata sınırları içerisinde olduğunu göstermiştir. Bu deneyden çıkarılacak bir diğer önemli sonuç da 4.+5. tepenin ametistin dozimetrik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılacak en uygun tepe olduğunu göstermesidir.



Şekil 3. 4.+5. tepe için elde edilen çevirim başına TL hassasiyetinin değişim grafiği

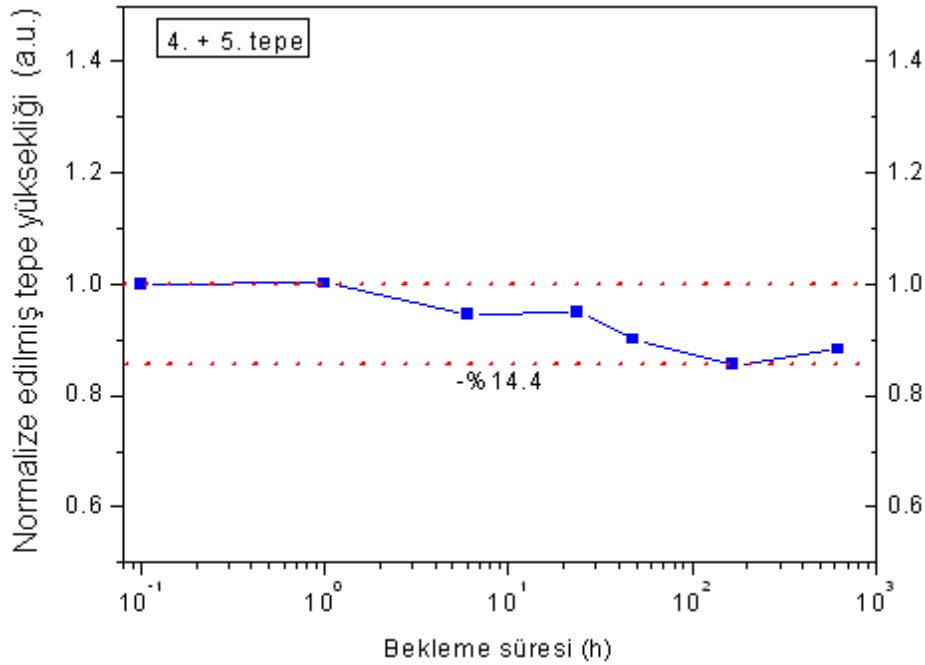
Anormal Sönüm

Ametist örneklerinin anormal sönüm özelliklerinin incelenmesi amacıyla yukarıda anlatıldığı şekilde örnekler hazırlanmış ve belirlenen deney protokolü uygulanmıştır. Elde edilen TL ışıma eğrileri, düşük sıcaklık tepelerinin TL şiddetlerinde bekleme zamanına bağlı olarak ciddi bir azalma meydana geldiğini göstermiştir. Şekil 4'te dozimetrik tepe olan 4.+5. tepe için, normalize edilmiş tepe yüksekliğinin bekleme süresine bağlı olarak değişim grafiği verilmektedir. Şekilde 4.+5. tepenin yüksekliğinin 7 gün sonra %14 civarında azaldığı fakat yaklaşık 25 gün beklenmesine rağmen bu azalmanın artmadığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ametist örneklerinin dozimetrik amaçla kullanımı sırasında ilk 3 tepenin kısa ömürlü olduğunu göstermiştir. Buna karşın 4. ve 5. tepenin toplamının oluşturduğu tepenin şiddetinde belirgin bir azalma olmasına rağmen bu azalmanın 7 günden sonra artmaya devam etmemesi, 4. ve 5. tepelerin dozimetrik tepeler

olarak oldukça kararlı olduklarını göstermektedir. Ayrıca bu sonuç ametistin dozimetrik malzeme olarak kullanımının uygun olabileceğini de göstermektedir.

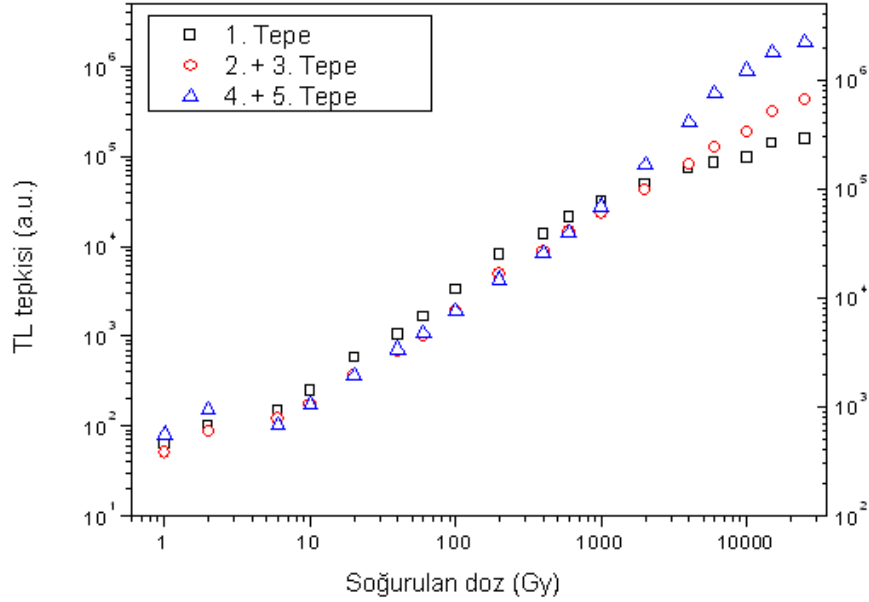
Doz Cevabı

Ametist kristallerinin değişik doz oranlarına karşı tepkisinin belirlenmesi amacıyla örnekler yukarıda bahsedildiği şekilde hazırlanmış ve deney protokolü uygulanmıştır. ~30 mg'lık toz ametist örneklerine 1 Gy ile 25 kGy arasında farklı beta dozları verilmiştir. Sonuçta elde edilen TL ışıma eğrileri ametist kristallerinin düşük dozlara karşı hassas olmadığını göstermiştir. Bu sebeple 1 ile 10 Gy arasında doz verilerek elde edilen TL eğrilerinin tepeleri çok belirgin değildir. Fakat yüksek dozlara çıkıldıkça TL tepelerinin belirginleştiği görülmüştür. Verilen dozun artırılmasıyla orantılı olarak TL şiddetlerinin de arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4. 4.+5. tepe için normalize edilmiş tepe yüksekliğinin bekleme süresine bağlı olarak değişim grafiği

Farklı beta dozları verilerek elde edilen verilen TL ışıma eğrileri kullanılarak 1. tepe, 2.+3. tepe ile 4.+5. tepeler için doz cevap eğrisi çizilmiş ve elde edilen sonuç Şekil 5'te verilmiştir. Ametist örneklerinin lineer olduğu doz cevap aralığının 10 Gy ile 1 kGy arasında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç ametist örneklerinin yüksek doz uygulamaları için kullanılabileceğini göstermiştir.



Şekil 5. 30 mg'lık toz ametist örneklerine 1 Gy ile 25 kGy arası beta dozu verilerek elde edilen 1. tepe, 2.+3. tepe ve 4.+5. tepe için elde edilen doz cevap eğrileri

Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada Balıkesir-Dursunbey Göğü Köyü civarından alınmış doğal ametist örneklerinin dozimetrik malzeme olarak kullanımının araştırılması amacıyla termoluminesans özellikleri incelenmiştir. Literatürde ametistin yapısıyla ilgili bazı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen (Zhang ve ark., 1994; Gürbüz, 2007; Schlesinger ve ark., 1966; Cohen 1974), ametistin dozimetrik özellikleriyle ilgili çalışmaların sayısının fazla olmadığı görülmüştür (Rocha ve ark., 2003).

Ametist örneklerinin tekrar kullanımlarının uygun olup olmadığının incelenmesi amacıyla örnekler tavlandıktan sonra 200 Gy'lik beta dozu verilmiş ve TL okuması kaydedilerek aynı işlem 10 defa tekrarlanmıştır. Sonuçta elde edilen TL ışımaya eğrileri kullanılarak 4.+5. için TL şiddetindeki değişim 10 çevirim sonunda bile %4'lük sapmaya sahip olduğu belirlenmiştir. Fakat diğer tepeler için tekrarlanabilirlik oranlarındaki sapma oldukça yüksektir. Burada 4.+5. tepenin dozimetrik tepe olarak kullanımının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca bu deney uygulanan standart tavlama sürecinin iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Bu çalışmada ayrıca ametist örneklerin anormal sönüm özellikleri incelenmiştir. 100 Gy'lik beta dozu verilmiş ametist örnekleri farklı süreler için bekletilerek TL okumaları gerçekleştirilmiştir. TL şiddetindeki azalmanın bekleme zamanına göre grafiği incelendiğinde düşük sıcaklık tepelerinin hızlı bir şekilde

sönüme uğradıkları gözlenmiştir. 4. ve 5. tepenin toplamından oluşan tepe ise 7 gün sonra %14 civarında azalmış fakat yaklaşık 25 gün beklenmesine rağmen bu azalmanın sürekli olmadığı gözlenmiştir (Şekil 4). Elde edilen bu sonuçlar ametist örneklerinin dozimetrik amaçla kullanımı sırasında ilk 3 tepenin kısa ömürlü olduğunu göstermektedir. Buna karşın 4. ve 5. tepenin toplamının oluşturduğu tepenin şiddetinde belirgin bir azalma olmasına rağmen bu azalmanın 7 gün sonunda sürmemesi ve azalmanın durması, 4. ve 5. tepelerin dozimetrik tepeler olarak oldukça kararlı olduklarını göstermektedir. Ayrıca bu sonuç ametistin dozimetrik malzeme olarak kullanımının uygun olabileceğini de göstermektedir.

Bu çalışmada son olarak ametist örneklerinin doz cevabı incelenmiştir. Bu amaçla ametist örneklerine 1 Gy ile 25 kGy arasında değişen çeşitli beta dozları verilmiştir. Sonuçta elde edilen TL ışıma eğrileri kullanılarak ametist örneklerinin doz cevap grafiği çizilmiştir (Şekil 5). 4.+5. tepe için lineer bölgenin belirlenmesi amacıyla yapılan hesaplamalar sonucunda ametist örneklerinin 10 Gy ile 1 kGy arasında lineer ve 2 kGy ile 15 kGy arasında supralineer bölgeye sahip oldukları gözlenmiştir. 25 kGy'de ise ametist örnekleri doyuma ulaşmaya başlamaktadırlar. Bu sonuç ametist örneklerinin yüksek doz uygulamaları için dozimetrik malzeme olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Yüksek doz uygulamalarında kullanılan doz miktarları 10^2 Gy ile 10^6 Gy arasındadır. Bu doz miktarlarına nükleer santrallerin içerisinde, gıdaların sterilizasyonunda veya malzeme testlerinde rastlamamız mümkündür.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmalara dayanarak doğal ametist örneklerinin yüksek doz uygulamalarında dozimetrik malzeme olarak kullanımının uygun olduğunu söyleyebiliriz. Ametistlerin özellikle yüksek doz uygulamalarında gereksinim duyulan doz oranlarının içerisinde yer alan bir lineer doz cevap bölgesine sahip olması oldukça umut vericidir. Çünkü birçok doğal malzeme 10-20 Gy civarında doyuma ulaşırken ametist örnekleri 10 Gy ile 1 kGy arasında lineer bir doz cevap eğrisine sahiptir ve ancak 25 kGy'de doyuma ulaşmaya başlamaktadır. Bu sebeple ametistler diğer birçok doğal malzemenin cevap veremeyeceği dozlarda kullanılabileceği için avantajlı bir konumdadır. Ayrıca ametist örneklerinin hem beta parçacıkları hem de gama ışınları için rahatlıkla kullanılabilecekleri bu çalışmada görülmüştür.

KAYNAKLAR

- BALITSKY, V.S., MACHINA, I.B., MAR'IN, A.A., SHIGLEY, J.E., ROSSMAN, G.R., LU, T., 2000. Industrial growth, morphology and some properties of Bi-colored amethyst-citrine quartz (ametrine). J. Crystal Growth 212, 255–260.
- COHEN, A.J., HASSAN F., 1974. Ferrous and Ferric Ions in Synthetic α -Quartz and Natural Amethyst. The American Mineralogist, Vol 59, Pages 719-728.
- GÜRBÜZ, M., 2007. Güğü (Dursunbey-Balıkesir) Civarındaki Ametistlerin Oluşumunun İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, s. 1-30, 2007.

- RENDELL, H., WORSLEY P., GREEN F., PARKS, D., 1991 Thermoluminescence dating of the Chelford Interstadial, Earth and Planetary Science Letters, Volume 103, Issues 1-4, Pages 182-189.
- ROCHA, F.D.G., MERCAIA, L.O., SONIA G.P.C., LINDA V.E.C., 2003 Properties of Sintered Amethyst Pellets as Thermoluminescent Dosimeters, Applied Radiation and Isotopes, 58, 2003, 85–88.
- SCHLESINGER, M., COHEN, A.J., 1966. Postulated structures causing the optical color center bands in amethyst quartz. J. Chem. Phys. 44, 3146-3147.
- TEMPLER, R., 1986. Radiat. Prot. Dosim., 17, 493.
- VISOCEKAS, R., CEVA, T., MARTI, C., LEFAUCHEUX, F., ROBERT, M.C., 1976. Phys. Status Solidi (a), 35, 315.
- ZHANG, Q., YANG, B., WOOD, R.A., WHITE, D.R.R., TOWNSEND, P.D., LUFF, B.J., 1994. Thermoluminescence spectra of amethyst. Radiat. Meas. 23, 423–431.