DOI: 10.25092/baunfbed.363775 *J. BAUN Inst. Sci. Technol., 19(3) Special Issue, 111-116, (2017)*

LiB_4O_7:Cu,In ve MgB_4O_7:Dy,Na yapay lüminesans malzemelerinde ışınlama sıcaklığının Termolüminesans ışımaya etkisi

Eren Cihan Karsu ASAL*

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Manisa

Geliş Tarihi (Recived Date): 20.08.2017
Kabul Tarihi (Accepted Date): 01.12.2017

Özet

Termolüminesans (TL) dozimetreler arasında LiB_4O_7: Cu, In ve MgB_4O_7: Dy, Na malzemeler; doku eşdeğerliği, yüksek hassasiyeti, doğrusal doz cevabı gibi özellikleri sayesinde son birkaç yıldır bilim insanlarının ilgisini çekmektedir. Bugüne dek malzemelerin bazı özellikleri incelenmiş olmasına rağmen henüz ışınlama sıcaklık değişimine verdikleri cevaplar detaylı olarak incelenmemiştir. Oysa ışınlama sıcaklığı tarihlendirmede, radyasyon doz ölçümlerinde, uzay, kutuplar, çöller gibi uç ortamlarda yapılacak dozimetri çalışmalarında büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca ışınlama sıcaklık değişimi malzemelerdeki TL süreçlerinin anlaşılmasına da imkân sağlama potansiyeli vardır. Bu çalışmada LBO ve MBO'da gözlenen TL ışıma eğrilerinin ışınlama sıcaklığına ve oda sıcaklığında ışınlama sonrası yüksek sıcaklıklarda tavlanmaya verdikleri cevaplar detaylı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Termolüminesans, dozimetre, ışınlama sıcaklığı, ön ısıtma.*

Irradiation temperature response on Thermoluminescence glow curves of LiB_4O_7: Cu, In and MgB_4O_7: Dy, Na artificial luminescence materials

Abstract

Both $Li_2B_4O_7$: Cu, In and MgB_4O_7: Dy, Na are well established thermoluminescence (TL) materials. Until now, many scientists focused on these materials by studying many properties of these luminescence materials but still the irradiation temperature response of either material hasn't been studied. Irradiation temperature response could be a crucial parameter in many applications, such as dating, reactor core dosimetry, space research, temperature exposure monitoring, high dose dosimetry, and in space, polar and hot desert region TL studies. Moreover, Irradiation temperature response enables us to better understand the TL phenomenon. In this study both the irradiation temperature and post irradiation annealing responses of the aforementioned artificial luminescence materials were investigated in detail.

Keywords: *Thermoluminescence, dosimeter, irradiation temperature, annealing.*

* Eren Cihan KARSU ASAL, eckarsu@hotmail.com, http://orcid.org/0000-0001-6392-2668

1. Giriş

Isısal uyarma sonucu atom veya moleküllerin düşük enerji seviyesinden yüksek enerji seviyesine geçmesine bağlı olarak ışık yayması olayına termolüminesans denir. Termolüminesans (TL) çalışmalarında 200 °C ve üzerinde oluşan yüksek sıcaklık pikleri; tarihlendirmede ve dozimetrik ölçümlerde kullanılmaktadır. Söz konusu piklerin ışınlama doz ölçüm çalışmaları da tarihlendirme, uzay çalışmaları ve kutuplar, çöller gibi uç ortamlardaki dozimetrik çalışmalar için oldukça önemlidir [1-3]. Bu çalışmada ilk kez LiB_4O_7: Cu, In ve MgB_4O_7: Dy, Na yapay lüminesans malzemelerinin ışıma eğrileri ve hassasiyetleri ışınlama sıcaklığına bağlı olarak incelenecektir.

Malzemenin TL özellikleri ışıma eğrisi, parçacık boyutu gibi özelliklerin yanında ışınlama sıcaklığına da oldukça bağlıdır. Malzeme aynı miktar ışınlamaya maruz bırakılsa da sıcaklık farkı malzemedeki tuzak yoğunluğunu ve uygun tuzak durumunu etkilemektedir [4]. Bu nedenle ışınlama sıcaklığı birçok tarihleme ve doz ölçüm çalışmalarında büyük öneme sahiptir [5]. Dolayısıyla doz ölçümlerinin tam doğrulukla gerçekleştirilebilmesi için malzemelerin ışınlama sıcaklığı çalışmalarının detaylı olarak incelenmesi önemlidir.

Kitis ve Charalambous, TL'de ışınlama sıcaklığının ışıma eğrileri üzerine etkisinin sebeplerini tuzak dolumu ve termal sönümlenme sonucu tuzak boşalımı, kristal dik kesitteki tuzak oluşumu ve farklı tuzak hareketliliği gibi çeşitli etkilere bağlı olduğunu belirtmiştir [6]. Söz konusu etkiler birden fazla tuzak olduğunda farklı ışınlama sıcaklıklarında oldukça karmaşık bir duruma dönüşmektedir [6].

Literatürde bu alanda yeteri kadar çalışma yoktur. Yapılan ilk çalışma 1967 yılında Gorbics vd. tarafından gerçekleştirilmiştir. Onu 1974 yılında Aiken [7], 1976 ve 1982 yıllarında Sunta vd. [8, 9] takip ederken, 1988 yılında Kitis ve Charalambous piyasada TLD-100 olarak adlandırılan LiF'ün ışınlama sıcaklığını ardından da 227 °C ye kadar TLD-200 ün ışınlama sıcaklığını rapor etmiştir [10]. 1990'larda bu alanda çalışmalar dururken 2004 yılında Martinez vd. demir tuzunda ışınlama sıcaklık değişimini düşük sıcaklıklarda incelemiş [11], Kulriya vd. çalışmayı ilerleterek yüksek sıcaklık ışınlamalarında demirin amorfizasyona uğradığını belirtmiştir [12]. Son olarak da 2016 da Mendoza vd. $CaCO_3$'ın düşük sıcaklıklardaki ışınlamalar için ışıma eğrisini incelemiştir [13]. Literatürdeki çalışmalara ek olarak tarafımızca gerçekleştirilen çalışmada yüksek ışınlama sıcaklıklarında ışıma eğrileri incelenerek yorumlanmıştır.

Işınlama sıcaklığının yanı sıra ön ısıtma işlemi de yapıda değişime sebep olan bir başka faktördür. Gao vd. [14] ön ısıtma esnasında yüksek sıcaklıklara çıkıldığında çizgisel kusur (dislokasyon) düğümlerinin boyutlarında ve yoğunluğunda değişim gözlemiş ve ön ısıtma sıcaklığı 500°C'nin üzerine çıktığında yapıdaki kusurların yok olduğunu rapor etmiştir.

LiB_4O_7: Cu, In ve MgB_4O_7: Dy, Na (bundan sonra sırasıyla LBO ve MBO olarak isimlendirilecek) yapay lüminesans malzemeleri sahip oldukları doku eşdeğerliği, yüksek hassasiyet, doğrusal doz cevabı, UV beta ve gama gibi ışınlamalara verdiği iyi performans nedeni ile bilim insanlarını ilgisini çekmektedir [8, 9]. Bu malzemeler düşük ışık hassasiyetleri nedeniyle termal sensör olarak kullanılabileceklerdir. Kitis ve grubu LBO'nun standart de-lokalize kinetik teoriye uyduğunu, bununla beraber MBO ise sıcaklık değişiminden LBO kadar etkilenmediğini belirtmişlerdir [15]. Bu çalışmaların farklı sıcaklıklarda yapılan ışınlamalar sonrası gözlenen TL sinyalinin incelenmesi ile tamamlanması önemlidir; Ayrıca yüksek sıcaklıklı ortamlarda kullanılabilirliği konusunda bilgi vermektedir. Bu nedenle çalışmamızda her iki malzemenin TL ışıma eğrilerinin gerek ışınlama sıcaklık değişimine gerekse ışınlama sonrası ön ısıtma sıcaklık değişimine verdikleri cevaplar incelenip yorumlanmıştır.

2. Deneysel çalışmalar

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan yukarıda belirtilen özellikleri incelenen LBO ve MBO malzemeleri daha önce Kitis vd. [15], Karsu vd. [16] ve Furetta vd. [17] tarafından araştırılmış benzer malzemelerdir. Tüm deneysel çalışmalar Aristotle Üniversitesi Fizik bölümünde gerçekleştirilmiştir. Denemeler öncesinde daha önceden malzemede birikmiş olan atık sinyali silmek için hava ortamında 350±1˚C'de 1 saat boyunca tavlama yapılmıştır. TL ölçümleri Harshaw 3500 TLD okuyucu ile azot ortamında düşük ısıtma hızlarında (2 °C /s) gerçekleştirilmiştir. Görünür bölgedeki ışığa duyarlı "Extended S-20" foto çoğaltıcı tüp kullanılmıştır. Ölçümler esnasında filtre kullanılmamıştır. Tüm ışınlamalar için doz hızı $1{,}2\pm4{,}5\times10^{-2}$ Gy/dak. olan $^{90}Sr/^{90}Y$ beta kaynağı kullanılmıştır. Test dozu olarak $0{,}4\pm1{,}5\times10^{-2}$ Gy verilmiştir. TL ölçümünde en fazla 350 °C'ye kadar çıkılmıştır.

Yüksek sıcaklıklarda ışınlama ELSEC TL okuyucunun ısıtma şeridi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde sıcaklık ±1 ^{o}C hassasiyetle kontrol edilebilmektedir. Oda sıcaklığında beta parçacıkları ile ışınlama işleminde laboratuvarda tasarlanmış bir sistem kullanılmıştır.

Bu sistem ile her ışınlama adımında malzemenin kaynağa göre pozisyonu sabit tutulmuştur.

2.2. Uygulanan işlemler

İki farklı deneysel işlem uygulanmıştır. İlk işlem "Artan Sıcaklıklarda Işınlama" dır. Bu işlemde amaç ışıma eğrilerinin artan ışınlama sıcaklığına verdikleri cevapların incelenmesidir. İkinci işlem "Işınlama Sonrası Ön Isıtma" dır. Bu aşamada ise amacımız TL ışıma eğrilerinin ışınlama sonrası sıcaklığa verdiği cevapların incelenmesidir. Her iki işlemin detaylı özellikleri Bölüm 2.2.1 ve Bölüm 2.2.2'de verilecektir. Herhangi bir ışık etkisinden kaçınmak için tüm deneyler karanlık ortamda gerçekleştirilmiştir.

Her bir ışıma eğrisinin ışıma yoğunluğu, pik maksimumlarından 10 °C aşağı ve yukarı değer aralığının integral alanı alınarak hesaplanmıştır. Deneyler tek tablet yöntemi kullanılarak tek bir LBO ve tek bir MBO örnek ile gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Artan sıcaklıklarda ışınlama işlemi algoritması

1. Adım: Malzeme içindeki tuzakları ve lüminesans merkezlerini etkinleştirecek miktarda test dozunun belirlenmesi.
2. Adım: Test doza bağlı TL ışıma eğrisinin incelenmesi (Isıtma hızı: 2°C/s)
3. Adım: Işınlama cihazında malzemenin 2 °C/s'lik ısıtma hızı ile ışınlama sıcaklığına (bundan sonra T_{irr} olarak belirtilecek) kadar ısıtılması.
4. Adım: T_{irr}'de test dozun uygulanması ve uyartımın ardından malzemenin tekrar oda sıcaklığına indirilmesi.
5. Adım: Harshaw TLD okuyucuda 2 °C/s ısıtma hızında 350 °C'ye kadar TL okuması ve ışıma eğrisinin elde edilmesi.
6. Adım: 3. ve 5. adımların yeni bir T_{irr} için tekrarlanması. (T_{irr} :30-40-50-…220)
7. Adım: Test doz uygulanıp TL ışıma eğrilerinin alınması ve hassasiyetin tekrar incelenmesi.

2.2.2. Işınlama sonrası ön ısıtma işlemi algoritması

1. Adım: Malzeme içindeki tuzakları ve lüminesans merkezlerini etkinleştirecek miktarda test dozun belirlenmesi.
2. Adım: 2 °C/s ısıtma hızıyla ön ısıtma sıcaklığına (bundan sonra T_{post} olarak belirtilecek) kadar çıkarılması ve bu sıcaklıkta T_{irr} uygulama süresi kadar tutulması ve oda sıcaklığa dönülmesi (T_{post}=T_{irr}).
3. Adım: Harshaw TLD okuyucuda 2 °C/s ısıtma hızında 350 °C'ye kadar TL okuması ve ışıma eğrisinin eldesi.
4. Adım: 2. Ve 3. Adımların yeni bir T_{post}=T_{irr} için tekrarlanması.
5. Adım: Test doz uygulanıp TL ışıma eğrilerinin alınması ve hassasiyetin tekrar incelenmesi.

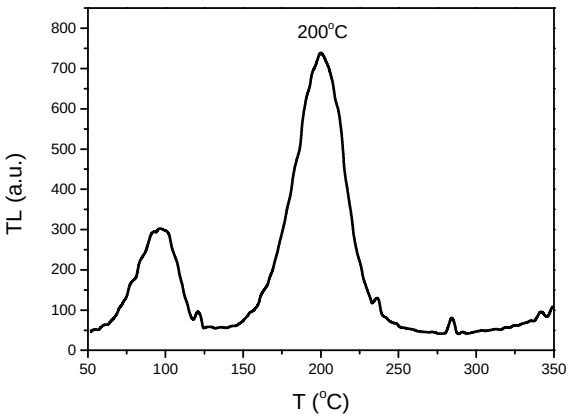
3. Deneysel sonuçlar

Malzemelerin ışıma eğrilerinin her iki işleme verdikleri cevaplar incelenirken ışıma şiddetlerindeki farklılıklar nedeni ile oda sıcaklığındaki ışıma sabit bir değere normaliz edilerek kıyaslanmıştır.

3.1. LBO

Oda sıcaklığında 0.4 Gy beta radyasyonunu soğuran LBO'nun 350 °C'ye kadar TL ışıma eğrilerinde iki ana pike rastlanmaktadır (Şekil 1). Söz konusu pikler ~95 °C ve 200 °C'de gözlenmektedir. Bu ilk gözlenen sonuç Kitis ve arkadaşlarının ölçüm sonuçları ile uyumludur [15]. Zamanla ışınlama sıcaklığını aşamalı olarak arttırdığımızda 95 °C civarındaki düşük sıcaklık pikinin kısa sürede sönümlendiği, ayrıca 200 °C civarındaki yüksek sıcaklık pikinin 120 °C'lik ışımaya kadar sabit kaldığı gözlenmektedir (Şekil 2). Burada önemli bir nokta, 120 °C'lik sıcaklığın oda sıcaklığında beta radyasyonu ile ışınlanan malzemenin ışıma eğrilerinde en yüksek pik sıcaklığına karşılık gelmesidir. Pik sıcaklığını aşan sıcaklıklardaki ışımaların ardından ise ışıma eğrilerinin sönümlenmeye başladığı ve kademeli sıcaklık artışı sonucu 160 °C'de hemen hemen yok olduğu gözlenmektedir.

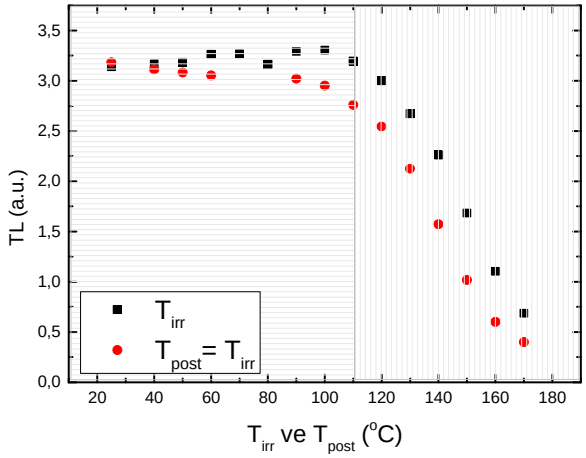
Işınlama sonrası ön ısıtmanın ardından alınan TL ışıma eğrilerinde de benzer durumla karşılaşılmıştır. Yüksek sıcaklık pikinin verdiği cevap 110 °C'ye kadar sabit gitmiş ardından sıcaklık artışı ile kademeli olarak azalmıştır (Şekil 2, Şekil 3(a)).



Şekil 1. LBO'nun TL ışıma eğrileri. Pikler ~95 °C ve 200 °C'de gözlenmektedir.

Şekil 2'de LBO 200 °C pikinin kademeli ışınlama sıcaklık artışına (siyah noktalar) ve oda sıcaklığında ışınlamanın ardından ön ısıtma sıcaklık artışına (kırmızı noktalar) bağımlılığı incelenmiştir. Grafiğin sol tarafı (110 °C'ye kadar) sıcaklıktan bağımsızken sağ tarafı (110 °C'den sonra) hem ışıma sıcaklığına hem de ışınlama sonrası ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. LBO'nun

her iki işlemde de verdiği cevap birbiri ile uyumludur. 110 °C - 170 °C aralığında ışınlama sıcaklığındaki artış %78 sönümlenme; ışınlama sonrası ön ısıtma sıcaklığındaki artış ise %87 sönümlenme yaratmıştır.

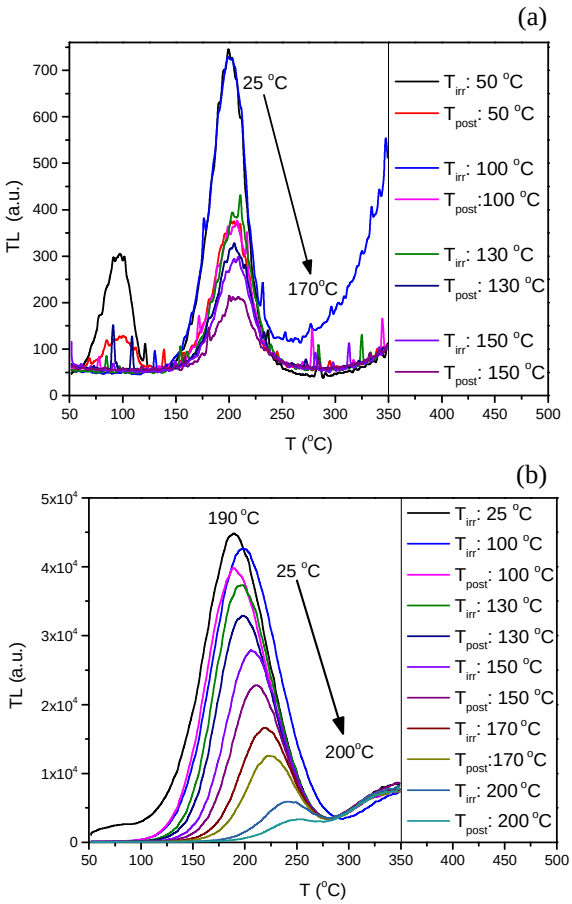


Şekil 2. LBO 200 °C pikinin kademeli ışınlama sıcaklık artışına (siyah noktalar) ve ön ısıtma sıcaklık artışına (kırmızı noktalar) verdiği cevap.

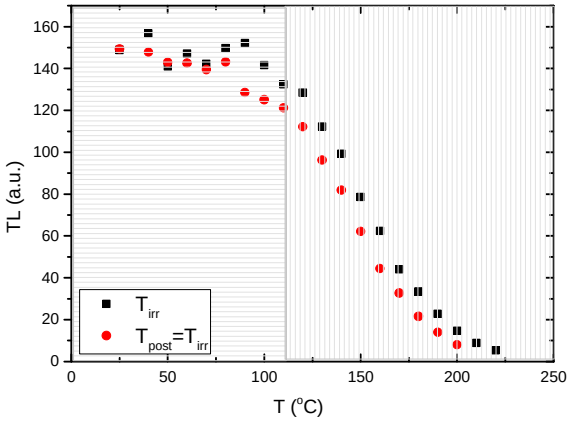
3.2. MBO

Oda sıcaklığında 0,4 Gy beta radyasyonu ile ışınlanan MBO, 190 °C'de geniş bir TL ışıma piki vermektedir. Bu sonuç Kitis ve arkadaşlarının belirttiği sonuçlar ile uyumludur [15]. Ayrıca Şekil 3(b)'de belirtildiği gibi MBO'nun, ışınlama sıcaklığına ve ön ısıtma sıcaklığına cevabı LBO'nun cevabıyla uyum içindedir. MBO'nun ışıma eğrileri oda sıcaklığı ile 200 °C aralığında incelenmiştir. İncelemeler 10 °C'lik adımlar ile gerçekleştirilmiştir. Eğrilerin değişimi net olarak görülmesi için bütün değerler belirtilmemiştir.

MBO ana TL ışıma pikinin alanının ışınlama sıcaklığına ve ön ısıtma sıcaklığına bağlılığı Şekil 4'de incelenmiştir. Tüm sonuçlar oda sıcaklığındaki ışınlamaya göre normalize edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda TL pikinin davranışı, ışınlama sıcaklığından bağımsızdır. Yani düşük sıcaklıklarda ışıma eğrisinin verdiği cevap gerek ışınlama sıcaklığından gerek ise ön ısıtma sıcaklığından etkilenmemektedir. Oda sıcaklığında malzeme uyartıldığında pik başlangıç sıcaklığı olan 100 °C civarında ışınlama sıcaklığından itibaren hem ışınlama sıcaklığının artışı hem de ön ısıtma sıcaklığının artışı ile pik değerinde azalış gözlenmektedir. Bu cevaptaki azalış genel olarak ışınlama sıcaklığına bağlı termal düşüştür. Şekil 4'ten net olarak görüldüğü gibi cevap sıcaklıktan bağımsız kısım ve sıcaklığa bağımlı sönümlenme kısmı olarak incelenebilir. Söz konusu termal sönümlenme, ışınlama sıcaklığı 110 °C ile 170 °C arasında ışınlama sıcaklığına bağlı olarak %67, ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak %73 oranındadır.



Şekil 3. (a) LBO (b) MBO ışıma eğrilerinin ışınlama sıcaklığına ve oda sıcaklığında ışınlama sonrası ön ısıtma sıcaklığına göre değişimi.



Şekil 4. MBO ana TL ışıma pikinin alanının ışınlama sıcaklığına ve ön ısıtma sıcaklığına verdiği cevaplar.

4. Tartışma

Denemeler sırasında termal solmanın önüne geçebilmek için malzemeler kap içinde tam temas sağlayacak şekilde yerleştirilip azot ortamında ölçümler alınmıştır. 0,4 Gy beta ışınlamasının ardından TL ışıma eğrileri üst üste binmiş piklerden

oluşmaktadır [15]. Bu nedenle malzemelerin ışınlama sıcaklıklarına göre değişimi incelenirken kıyaslamalar, pik maksimumları yerine pik alanları üzerinden yapılmıştır [10]. Her iki işlem sonrası hassasiyet testleri yapılmış ve bariz bir değişimin olmadığı, elde edilen sonuçların güvenilir değerler olduğu sonucuna varılmıştır. Işıma eğrisinin sıcaklık değişimine karşın kararlılığı ise bize TL oluşumunun yok oluştan daha fazla olduğunu göstermektedir [18].

Işınlama ve ön ısıtma sıcaklığının basamaklı artışını çeşitli mekanizmalar takip eder. Örneğin Frenkel ve Schoottky kusurları sıcaklık etkisi ile kristal içinde konumlanır ve oda sıcaklığının üzerinde gerçekleşen TL'de bu kusurlar etkilidir [1, 6]. Ayrıca 1971 yılında Christolues vd. ardından 1990'da Kitis vd. belirttiği gibi hiçbir zaman dolmayan ama dolum ve boşalım sırasında denge sağlayan termal kararsız tuzaklar söz konusudur. 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tuzaklar hareketlidir [1, 19]. Eğer bu tuzaklar kararlı halde kümelenirlerse veya bütünleyicileri ile birleşirlerse ışıma eğrisine katkı sağlamaz ve ışıma eğrisinde sönümlenme gözlenir [1, 6, 20, 21]. Dahası, gerek tuzak gerekse lüminesans merkezi olarak davranan yapı kusurları, ışınlama sıcaklığının artışı ile hareketlenir [6]. Söz konusu durumlara bağlı olarak, TL ışıma eğrilerinde sönümlenme gözlenebilir.

Bölüm 3.1. ve 3.2.'de belirtilen TL ışıma eğrilerinin cevapları, sert bir sönümlenme olmadığını, sıcaklık artışı ile yavaş bir sönümlenmenin gerçekleştiğini göstermektedir. 170 °C'lik ışınlama sıcaklığının sonunda MBO'nun ışıma şiddeti %33'e, LBO' nun ışıma şiddeti ise %22'ye düşmüştür. Bu düşüşe rağmen hala kayda değer TL sinyali gözlenmektedir. Oysa termal bozunumda hızlı bir düşüş gözlenir bu nedenle sonuçlar termal bozunumdan kaynaklanmamaktadır. Termal bozunumun yüksek sıcaklıkta uzun süreli ışınlama sonucu oluştuğu düşünülmektedir [6]. Oysa bu çalışmada sadece 20 saniyelik ışımalar gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle sonuçlar Randall-Wilkins termal sönümlenme prensibine uymamaktadır.

5. Sonuç

LBO ve MBO'nun incelenmesindeki amaç her bir fosfor malzemenin hatta her bir TL pikinin ışınlama sıcaklığına farklı davranışlar sergilediğini belirtmekti. Sonuçlar göstermektedir ki her iki malzemenin TL ışıma eğrileri ışınlama sıcaklığına bağlı davranış sergilemektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar göstermiştir ki kristal yapı, ışınlama ve ön ısıtma sıcaklığının artışı ile etkilenmiştir. Sıcaklık artışı ile pik sıcaklığında daha yüksek sıcaklıklara kayma ve ışıma şiddetinde azalma kaydedilmiştir. Bununla beraber tartışma bölümünde de belirtildiği gibi her bir kristal hatta her bir TL pikin kendine özel davranışı vardır. Elde edilen veriler ışığında her iki malzeme için ışınlama sıcaklığına kıyasla ışınlama sonrası ön ısıtma sıcaklığının sönümlenmede daha etkili olduğu gözlenmiştir. Bu da beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte söz konusu fark hata limitleri içindedir. Ayrıca LBO ve MBO malzemelerinin cevapları kendi içinde kıyaslandığında, kademeli ışınlama sıcaklık artışından LBO'nun daha fazla etkilendiği gözlenmektedir. Dolayısıyla elde ettiğimiz sonuçlara bağlı kalarak, ışınlama ve ışınlama sonrası ön ısıtma sıcaklık cevabı için genel geçer evrensel bir kural belirtemeyiz. Mevcut sonuçlar Kitis ve grubunun belirttiği sonuçlar ile uyum içindedir [15].

Gözlemlenen sıcaklığa bağlı değişimler Kitis ve Charambous'in belirttiği gibi termal bozunuma bağlı olarak tuzak dolumu ve boşalımı arasındaki rekabet, kesit boyunca değişik tuzaklanma, tuzak hareketliliği ve tuzak oluşumu gibi bazı içsel etkilerden kaynaklanabilir [6]. Ayrıca bunların dışında sıcaklık artışıyla hem tuzak hem de lüminesans merkezlerinin sayısında artış gözlenebilir ve elektronlar termal kararsız seviyeden daha kararlı olan derin tuzaklara yönelirler. Tuzakların deney boyunca parametre değişimine göre aktivasyon enerjileri hesaplanarak bahsedilen olgular incelenmelidir.

Dozimetrik karakterizasyon çalışmaları çerçevesinde ışınlama sıcaklığı ile TL ışıma eğrilerinin alanı arasındaki ilişki doğrusal olmasa bile farklı sıcaklıktaki ortamlarda lüminesans çalışmaları için kullanılabilir. Gözlemlediğimiz ışınlama sıcaklığına verilen sabit TL ışıma eğrisi cevapları, malzemenin söz konusu sıcaklık aralığında dozimetrik çalışmalarda kullanılabilirliğini göstermektedir.

Tuzakların termal yolla sönümlendiği ana kadar pikler sıcaklık artışından etkilenmemiştir. Tuzakların sönümlenmesi ile piklerde de sönümlenme gözlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar çerçevesinde malzemenin duyarlılaştırılması için ışıma öncesi veya sonrası termal iyileştirmenin önemli olduğu ve TL ışıma eğrilerinin sadece doza bağlı olmadığı aynı zamanda ışınlama sıcaklığı ile de ilişkili olduğu gözlenmiştir. Gerçekleştirdiğimiz çalışma ile ilk kez MBO ve LBO yapay lüminesans malzemelerinin TL ışıma eğrilerinin 220 °C'lik ışınlama sıcaklığına kadar verdikleri cevaplar incelenip yorumlanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Aristotle Üniversitesi Fizik Bölümü, Nükleer Fizik Laboratuvarında Profesör George Kitis'in öncülüğünde gerçekleştirilmiştir. Yazar, Profesör George Kitis, Dr. George Polymeris ve Aristotle Üniversitesi Fizik Bölümü'ne ev sahipliği

ve destekleri için, ayrıca başta Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı Profesör İsmail Maraş olmak üzere Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanlığı'na da destekleri için teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

[1] Kitis, G. ve Charalambous, S., Thermoluminescence of high temperature glow peaks of LiF at various irradiation temperatures, **Radiation Protection Dosimetry**, 33, 1–4, 259–262, (1990).

[2] Kitis, G. ve Charalambous, S., Relative thermoluminescence response of alpha to beta radiation as a function of irradiation temperature, **Nuclear Instruments Methods Physics B**, 58, 211–215, (1991).

[3] Charitidis, C., Thermoluminescence sensitization of LiF:Mg, Ti under heat treatment between 150 and 400 ^{o}C, **Nuclear Instruments Methods Physics B**, *51*, 263–268, (1990).

[4] Kitis, G. ve Charalambou, S., "Regenerated thermoluminescence as a function of irradiation temperature," **Physica Status Solidi** a, 175–179, (1988).

[5] Kitis G., Charalambous S., "Alpha to beta particle thermoluminescence as a function of irradiation temperature," **Nuclear Tracks Radiation Measurements**, 58, I, 211–215, (1991).

[6] Kitis, G., Kaldoudi, E. ve Charalambous, S., Thermoluminescence dose response of quartz as a function of irradiation temperature, **Journal of Physics D. Applied Physics**, 23, 7, 945–949, (1990).

[7] Aiken, R.C. ve Lapidus, L., An effective numerical integration method for typical stiff systems, **AIChE Journal**, 20, 2, 368–375, (1974).

[8] Sunta, C.M. ve Watanabe, S., Thermoluminescence of LiF TLD-100 by phototransfer, **Journal of Physics D Applied Physics**, 9, 8, 1271–1278, (1976).

[9] Sunta, C.M. ve Kathuria S. ,P., Order of kinetics for thermoluminescence in LiF (TLD-100), **Journal of Physics D Applied Physics**, 16, 163–164, (1983).

[10] Kitis, G. ve Charalambous, S., Behaviour of TL-dosimeters irradiated at various temperatures, **International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements**, 14, 1–2, 199–202, (1988).

[11] Martínez, T., Lartigue, J., Frias, D., Sanchez-Mejorada, G., Negrón-Mendoza, A. ve Ramos-Bernal, S., Dependence of irradiation temperature in the response of iron salts, **Radiation Measurements**, 38, 4–6, 455–458, (2004).

[12] Kulriya, P.K., Kumari, R., Kumar, R., Grover, V., Shukla, R., Tyagi, A.K. ve Avasthi, D.K., In-situ high temperature irradiation setup for temperature dependent structural studies of materials under swift heavy ion irradiation, **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, 342. 98–103, (2015).

[13] Negrón-Mendoza, A., Camargo-Raya, C., Gómez-Vidales, V.,. Uribe, R.M. ve Ramos-Bernal, S., Effects of temperature during the irradiation of calcium carbonate, **Applied Radiation and Isotopes**, 111. 26–30, (2016).

[14] Gao, J., Cui, L. ve Wan, F., Characterization of microstructure in hydrogen ion irradiated vanadium at room temperature and the microstructural evolution during post-irradiation annealing, **Materials Characterization**, 111, 1–7, (2016).

[15] Kitis, G., Polymeris, G.S., Sfampa, I.K., Prokic, M., Meriç, N. ve Pagonis, V., Prompt isothermal decay of thermoluminescence in MgB4O7:Dy, Na and LiB4O7:Cu, in dosimeters, **Radiation Measurements**, 84, 15–25, (2016).

[16] Karsu, E.C., Gökçe, M., Ege, A., Karali, T., Can, N. ve Prokic, M., Kinetic characterization of MgB4O7: Dy,Na thermoluminescent phosphor, **Journal of Physics D. Applied Physics**, 39, 8, 1485–1488, (2006).

[17] Furetta, C., Prokic, M., Salamon, R. ve Kitis, G., Dosimetric characterisation of a new production of MgB4O7:Dy,Na thermoluminescent material, **Applied Radiation and Isotopes**, 52, 2, 243–250, (2000).

[18] Kitis, G., Polymeris, G.S., Pagonis, V. ve Tsirliganis, N.C., Thermoluminescence response and apparent anomalous fading factor of Durango fluorapatite as a function of the heating rate, **Physica Status Solidi (A) - Applications and Materials Science**, 203, 15, 3816–3823, (2006).

[19] Christodoulides, C., Ettinger, K.V. ve Fremlin, J.H, The use of TL glow peaks at equilibrium in the examination of the therniial and radiation history of Imaterials, **Modeling Geology**, 2, 275–280, (1971).

[20] Hugens, A.E., Annealing of irradiated alkali halides, **Comments on Solid State Physics**, 8(4) 83-92, (1978).

[21] Itoh, N., Creation of lattice defects by electronic excitation in alkali halides," **Advanced Physics**, 31, 5, 491–551, (1982).