

AKÜ FEMÜBİD 18 (2018) 011103 (67-74)

AKU J. Sci. Eng. 18 (2018) 011103 (67-74)

DOI: 10.5578/fmbd.66679

**Disporsiyum Katkılı Çinko Borat Fosforların Dozimetrik Özellikleri****Nil Küçük, Damla Yaman***Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Bursa.**e-posta: nilkoc@uludag.edu.tr*

Geliş Tarihi:01.04.2017 ; Kabul Tarihi:19.03.2018

**Özet**

Disporsiyum katkılı çinko borat ( $ZnB_2O_4:Dy$ ) fosforlar, nitrik asit yöntemiyle sentezlenmiştir. Hazırlanan toz örnekler, X-ışını kırınım tekniği (XRD) ile karakterize edilmiştir. Toz örneklerin beta radyasyon dozuna bağlılığı termolüminesans (TL) tekniğiyle araştırılmıştır. Toz örneklerin doz-cevap eğrileri, 143 mGy-60 Gy beta doz aralığında incelenmiştir. Toz örneklerin beta radyasyon dozuna cevapları ve minimum dedekte edilebilir doz (MDD) değerleri belirlenmiştir. Beta radyasyonuna karşı  $ZnB_2O_4:Dy$  toz örneklerinin TL-doz cevapları, oldukça lineer bir cevap göstermiştir. %1, %2, %3, %4, %5 ve %10 Dy-katkılı  $ZnB_2O_4$  toz örneklerinin MDD değerleri ise, sırasıyla 77, 75, 41, 93, 74 ve 162 mGy olarak belirlenmiştir.  $ZnB_2O_4:0,05Dy$  fosforunun TL ısıma eğrileri, farklı ısıtma hızlarında elde edilmiş ve ısıtma hızının artmasıyla TL pik sıcaklığının yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı gözlenmiştir. Toz örneklerin lüminesans şiddetlerinin mGy mertebesindeki beta radyasyon dozları için kullanılabilme olasılığının olduğu gösterilmiştir. Deney sonuçları,  $ZnB_2O_4:Dy$  toz örneklerinin radyasyon dozimetrisinde beta radyasyonu için termolüminesans dozimetre malzemeleri olarak potansiyel bir kullanıma sahip olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler**

Termolüminesans;  
Disporsiyum; Çinko borat; Beta radyasyonu; Nadir toprak elementleri.

**Dosimetric Properties of Dysprosium Doped Zinc Borate Phosphors****Abstract**

Dysprosium doped zinc borate ( $ZnB_2O_4:Dy$ ) phosphors were synthesized by the nitric acid method. The prepared powder samples were characterized by X-ray diffraction technique (XRD). Dependence on the dose of beta radiation of the powder samples was investigated by thermoluminescence (TL) technique. The dose response curves of the powder samples were investigated in the beta dose range from 143 mGy to 60 Gy. Beta radiation dose responses and minimum detectable dose (MDD) values of the powder samples were determined. The TL-dose responses of the  $ZnB_2O_4:Dy$  powder samples to beta radiation have shown a quite linear response. MDD values for 1%, 2%, 3%, 4%, 5% and 10% Dy-doped  $ZnB_2O_4$  powder samples were also determined as 77, 75, 41, 93, 74 and 162 mGy, respectively. The TL glow curves of  $ZnB_2O_4:0,05Dy$  phosphors were obtained at different heating rates and the TL peak temperature was observed to be shifted to high temperatures by increasing the heating rate. Luminescence intensities of the powder samples were shown to be likely to be used for beta radiation doses in the mGy range. The experiment results showed that  $ZnB_2O_4:Dy$  powder samples have potential use as thermoluminescence dosimeter materials for beta radiation in the radiation dosimetry.

**Keywords**

Thermoluminescence;  
Dysprosium; Zinc borate, Beta radiation;  
Rare earths.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

**1. Giriş**

Radyasyonun kullanıldığı tüm alanlarda hangi miktarda radyasyona maruz kalındığının bilinmesi gereklidir. Sadece bu alanlarda çalışan kişilerin değil aynı zamanda ışınlanan her türlü malzemenin maruz kaldığı radyasyon dozu çeşitli dozimetreler ile düzenli olarak ölçülmelidir. Bunun yanı sıra nükleer bir kaza sonucunda kaza alanında bulunan kişilerin, kaza alanına bağlı olarak havanın, suyun, toprağın ve

tarım ürünlerinin, kaza sonucu hangi miktarlarda radyasyona maruz kaldığının bilinmesi gerekir. Dozimetri için birçok farklı yöntem ve materyal kullanılabilir. Lüminesans özelliği gösteren materyaller bu alanlarda oldukça sık kullanılan dozimetre çeşitlerindedir. Dozimetride, soğurulan radyasyon dozu tespiti ve ölçümü için termolüminesans (TL) materyalleri kullanılabilir. Temel prensip, bir TL dozimetresinin detektör

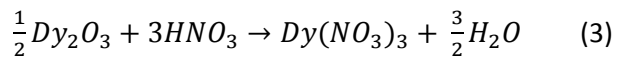
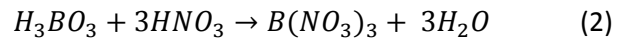
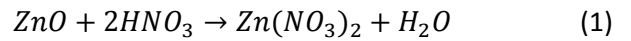
içindeki kristalden yayınlanan görünür ışık miktarını ölçerek radyasyon dozunun belirlenmesidir. Yayınlanan ışık miktarı, kristal materyali tarafından alınan radyasyon dozuna bağlıdır (Kucuk *et al.* 2013). Termolüminesans, nadir toprak elementi katkı fosforlarda gözlemlenmiştir (McKeever, 1988). Nadir toprak elementi katkı fosforlar, iyonlaştırıcı radyasyonun klinik, kişisel ve çevresel uygulama alanlarında radyasyon detektörü olarak önemli bir rol oynamaktadır. Buna ek olarak, ana materyal içerisine nadir toprak elementi ilave edilirse, bu durum materyalin radyasyon doz davranışını olduğu kadar TL özelliklerini de değiştirmek için fırsat sağlar. Radyasyon dozimetresindeki TL tekniğine olan ilgi, yeni ve yüksek performanslı TL materyallerin üretimine yönelik sayısız çabaya neden olmuştur (Prokic, 2001). Borat kristalleri doğal olarak ışıldardır ve ayrıca TL ve diğer ilginç optik özellikler gösterir. Katkılı borat bileşiklerinin TL çalışmaları, dokuya yakın absorpsiyon katsayıları, son derece düşük maliyetle ve kolay hazırlanmaları, düşük sentez sıcaklıkları gibi iyi özellikleri nedeniyle ilgi görmektedir. Bu yüzden, dozimetrik uygulamalar için göz önüne alınmaya değerdirler. Radyasyon dozunu ölçmek için kullanılan TL dozimetreler, bu sentetik boratlar için önemli bir yüksek teknoloji kullanım alanı olmuştur.

Çinko borat, bünyesinde bor ihtiva eden kimyasal bir maddedir ve çok geniş kullanım alanına sahiptir. Bu kullanım alanlarından bazıları polimerler, özellikle PVC, halojenli polyester, naylonlar ve kaplamalardır. En önemli avantajı, çinko boratların yanma işlemi sırasında toksin ve aşındırıcı maddeler üretmemesidir. Lüminesans malzemelerinin önemli bir ailesi olan çinko boratlara, mükemmel özellikleri nedeniyle yoğun ilgi gösterilmektedir. Bu çalışmada % 1 Dy- katkılı çinko borat ( $ZnB_2O_4:0,01Dy$ ), % 2 Dy- katkılı çinko borat ( $ZnB_2O_4:0,02Dy$ ), % 3 Dy- katkılı çinko borat ( $ZnB_2O_4:0,03Dy$ ), % 4 Dy- katkılı çinko borat ( $ZnB_2O_4:0,04Dy$ ), % 5 Dy- katkılı çinko borat ( $ZnB_2O_4:0,05Dy$ ) ve % 10 Dy- katkılı çinko borat ( $ZnB_2O_4:0,10Dy$ ) fosforlar, nitrik asit yöntemiyle üretilmiş ve dozimetrik özellikleri TL tekniğiyle araştırılmıştır (Yaman, 2017).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. $ZnB_2O_4:Dy$ Fosforların Üretimi

Dy katkılı çinko borat fosforları, nispeten kolay ve ucuz olan nitrik asit yöntemiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti içine, hassas terazi ile uygun miktarlarda tartılan toz halindeki çinko oksit ( $ZnO$ , Alfa Aesar; en az %99,9 saflıkta), borik asit ( $H_3BO_3$ , Alfa Aesar; %99,9 saflıkta) ve dispersiyum oksit ( $Dy_2O_3$ , Alfa Aesar; %99,9 saflıkta) konmuştur. Bu başlangıç materyalleri, içine 1 M nitrik asit ( $HNO_3$ , standart solüsyon) konan 250 mL'lik cam beher içinde ve manyetik karıştırıcı üzerinde 80 °C ısıtılarak karıştırılmıştır. Karıştırma işlemine, kuru malzeme oluşana kadar devam edilmiştir. Oluşan kuru malzeme, ince bir toz elde edilinceye kadar yaklaşık 15 dakika agat havanda öğütülmüştür. Bu kuru toz malzeme, porselen potalara konularak olası organik bileşenleri arındırmak amacıyla 5 saat yüksek sıcaklık fırını içinde 450 °C sıcaklıkta tavlansmıştır. Havada en bol bulunan azot oksitler (yani  $N_2O$ ,  $NO$  ve  $NO_2$ ) de bu sıcaklığa kadar serbest bırakılmış ve metalik nitratlar yeniden oksitlerine dönüştürülmüştür. Tavlanan toz örnekler, tekrar agat havanda ezilerek hidrolik preste 3 ton'luk basınç altında pellet haline getirilmiştir. Pelletler ayrı ayrı porselen potalara yerleştirilerek, önce 700 °C'de 2 saat sinterlenmiş ve sonra oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan pelletler fırından çıkarılıp agat havanda tekrar öğütülerek plastik tüplere yerleştirilmiştir. Aynı işlemler diğer potalara konan pelletler için sırasıyla 800 °C ve 900 °C'de tekrarlanmıştır. Deneysel süreçte tüm oksitler ve borik asit, aşağıda verilen kimyasal reaksiyonlarla metalik nitratlara [yani  $Zn(NO_3)_2$ ,  $B(NO_3)_3$  ve  $Dy(NO_3)_3$ ] dönüştürülmüştür:



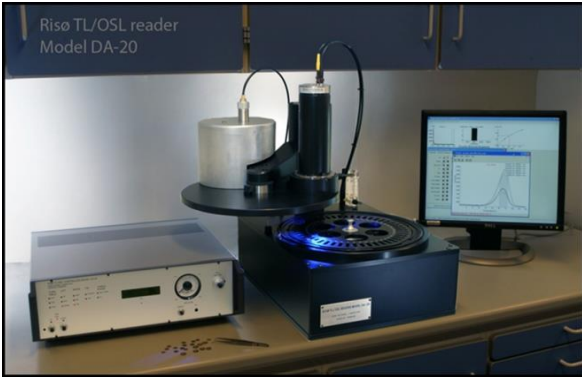
### 2.2. Deneysel Ölçümler

Nitrik asit yöntemiyle üretilen Dy katkılı çinko borat fosforların yapısal analizleri, Rigaku Ultima IV X-ışını Difraktometresiyle (Cu  $K_\alpha$  40 kV, 30mA,  $\lambda=1,54050$  Å) X-ışını toz kırınım (XRD) ölçümleri ile yapılmıştır.

Ölçümler,  $10^\circ < 2\theta < 90^\circ$  aralığında 0,02 derecelik adımlarla kaydedilmiştir.

TL ölçümler, Şekil 1'de gösterilen Risø termoluminesans cihazı (model TL/OSL-DA-20) kullanılarak yapılmıştır (Risø DTU, 2008). Bunun için Dy katkılı çinko borat fosforları, iri tanecik yöntemiyle TL ölçümlerine hazırlanmıştır. Toz örnekler, 10 mg olacak şekilde tartılmış ve 45  $\mu\text{m}$ –250  $\mu\text{m}$  boyutlarındaki test elekleri yardımıyla elenmiştir. Çalışmada 45  $\mu\text{m}$ 'den büyük olan toz örnekler kullanılmıştır. Elenen toz örnekler, ölçümde kullanılan paslanmaz çelikten yapılmış karusele uygun çelik kapların (planşet) üzerine yerleştirilmiştir. Kapların üzerindeki toz tanecikleri, homojen olarak dağıtılmıştır. Hazırlanan çelik kapların üzerindeki örnekler, ölçüm için 48 örnek alabilen karusele konulmuştur. TL ölçümlerinde kullanılan deneysel parametreler aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Kullanılan kaynaklara ait doz hızları: 143 mGy/s, 123 mGy/s
- Kullanılan optik filtreler: BG-39, CN 7-59
- Ön-ısıtma sıcaklığı, sabit ısıtma hızı: 140  $^\circ\text{C}$ , 2  $^\circ\text{C}/\text{s}$
- TL okuma için maksimum ısıtma sıcaklığı: 450  $^\circ\text{C}$
- Kullanılan farklı ısıtma hızları: 1, 3, 5 ve 10  $^\circ\text{C}/\text{s}$



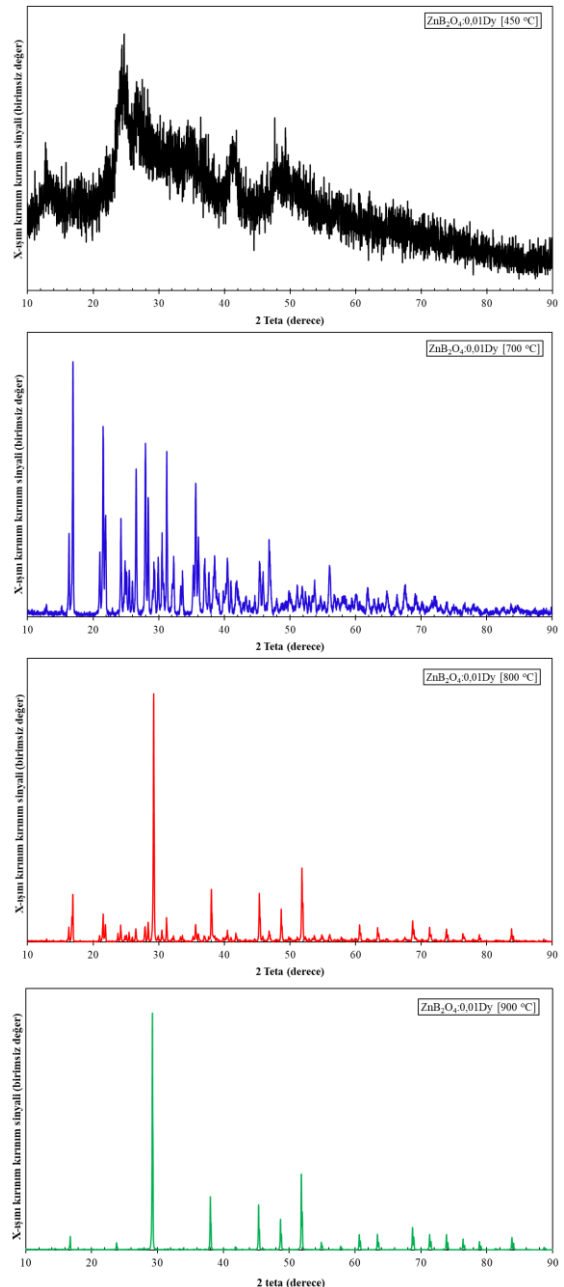
Şekil 1. Risø termoluminesans ölçüm sistemi.

### 3. Bulgular

#### 3.1. X-ışını Toz Difraksiyonu

450  $^\circ\text{C}$ , 700  $^\circ\text{C}$ , 800  $^\circ\text{C}$  ve 900  $^\circ\text{C}$  sıcaklıklarda nitrik asit yöntemiyle hazırlanan %1 Dy-katkılı çinko borat fosforlarının XRD desenleri, Şekil 2'de çizilmiştir (Yaman, 2017). XRD desenlerinden görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça kristal yapı yeniden düzenlenerek daha mükemmel bir yapıya dönüşmektedir. Bu bağlamda 900  $^\circ\text{C}$ 'de hazırlanmış tüm örneklerin neredeyse yüksek kristalli saf fazda olduğu

gözlenmiş ve ek bir sinyale rastlanmamıştır. Ayrıca XRD desenlerinin, JCPDS kart no. 39-1126'da rapor edilen standart verilerle tutarlı olduğu bulunmuştur. Bu verilerden yola çıkarak çinko borat içine Dy katkısı yapıldıktan sonra örneklerin yapısının değişmediği sonucuna varılabilir. Bilindiği gibi, dört koordinatlı  $\text{Zn}^{2+}$ 'nin iyonik yarıçapı 0,60 Å ve üç koordinatlı  $\text{B}^{3+}$ 'ün iyonik yarıçapı ise 0,21 Å'dür (Zou and Toratani 1995).  $\text{B}^{3+}$ 'ün küçük iyonik yarıçapından dolayı,  $\text{Dy}^{3+}$  iyonlarının çinko borat içinde  $\text{B}^{3+}$ 'ün yerini alamadığı düşünülebilir. Bundan dolayı,  $\text{Dy}^{3+}$  (iyonik yarıçapı 0,912 Å) iyonlarının örgü içinde  $\text{Zn}^{2+}$  iyonlarının yerini alma tercihinde bulunduğu öne sürülebilir.



Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda hazırlanan  $\text{ZnB}_2\text{O}_4:0,01\text{Dy}$  fosforunun X-ışını kırınım desenleri.

### 3.2. ZnB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Dy Fosforların Dozimetrik Özellikleri

900 °C’de nitrik asit yöntemiyle üretilmiş ZnB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Dy fosforlarının, TL yöntemi kullanılarak dozimetrik özellikleri (yani TL ışımaya eğrileri, doz-cevap eğrileri ve minimum dedekte edilebilir doz değerleri) aşağıda tanımlandığı gibi belirlenmiştir.

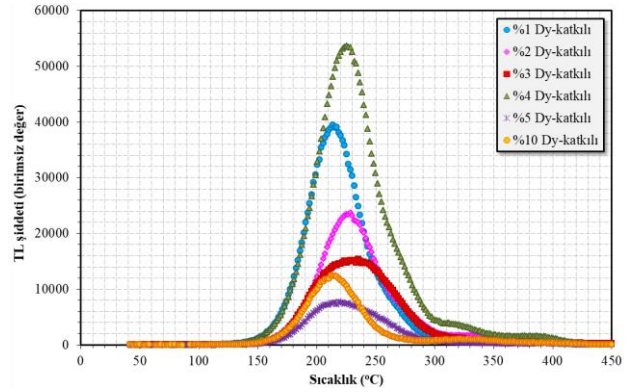
#### 3.2.1. Termoluminesans Işıma Eğrileri

Işıma eğrileri, bir materyalin TL dozimetre amaçlı olarak kullanılıp kullanılmayacağına ilişkin ana göstergeler olduğu için özellikle önemlidir. Genellikle, ışımaya eğrisinin, mümkünse basit, 200 °C’de zirveye ulaşması istenir (Pekpak, 2010). Işıma eğri şekilleri ve pik sıcaklıkları, sentez ve katkılama yöntemlerinden de etkilenir (Kayhan, 2009). Genellikle ışımaya eğrisindeki en yüksek pik, doz eşdeğerliğini hesaplamak için kullanılır. Eğrinin altında kalan alan TL dozimetride depolanan doz miktarını verir.

Dy katkılı çinko borat fosforlarının TL ışımaya eğrileri, <sup>90</sup>Sr beta kaynağı kullanılarak 143 mGy-60 Gy radyasyon doz aralığı için belirlenmiştir. Her bir örneğe 2 °C/s ısıtma hızı ile 140 °C’de ön-ısıtma işlemi yapılmış ve örneklerin ışımaya eğrileri, 5 °C/s sabit ısıtma hızıyla 40-450 °C sıcaklık aralığında elde edilmiştir. TL ışımaya eğrilerinde integral alan 40-400 °C aralığında alınmış ve doğal fon düzeltmeleri yapılmıştır. Herhangi bir termoluminesans materyalinin TL cevabı, doğrudan doğruya soğurulan iyonize radyasyon miktarı ile ilgilidir. Üretilen tüm fosforlar için TL ışımaya eğrileri incelendiğinde, beta radyasyon dozlarındaki değişimle maksimum sıcaklıkta önemli bir kayma gözlenmemiştir. Ayrıca beta radyasyon doz artışı, TL şiddetinin artmasına yol açar. Buradan beta ışınlama dozunun artmasıyla daha fazla sayıda yük taşıyıcısının tuzaklandığı düşünülebilir. Bu durum, TL şiddetinin artmasına neden olur. 0,143 Gy ile 0,715 Gy beta dozları için %1, %2, %4 ve %10 Dy-katkılı çinko borat fosforların ışımaya eğrilerinde birbirine yakın iki pik ve benzer ışımaya eğrisi yapısı gözlemlenmiştir. %3 ve %5 Dy-katkılı çinko borat fosforların ışımaya eğrilerinde ise tek bir pik ve benzer ışımaya eğrisi yapısı görülür. Bu durum tuzak yapısının farklı olduğu şeklinde açıklanabilir. 15-60 Gy beta radyasyon doz aralığında ise tek bir ışımaya piki ve benzer ışımaya eğrisi yapısı görülür. Işıma pikleri, çinko

boratın ev sahipliğinde Dy<sup>+3</sup> iyonu Zn<sup>+2</sup> iyonunun yerine geçerek oluşturulan sığ ve derin tuzaklara karşılık gelebilir. Ev sahibi örgüde oluşturulan kusurlar, deşik-elektron tuzakları olarak görev yapabilir.

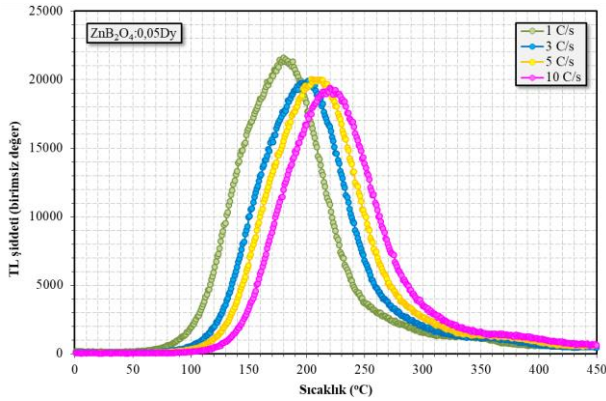
30 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan Dy katkılı çinko borat fosforlarının TL ışımaya eğrileri Şekil 3’de çizilmiştir (Yaman, 2017).



Şekil 3. ZnB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Dy fosforlarının 30 Gy beta radyasyon dozu için TL ışımaya eğrileri.

Şekil 3’den, üretilen tüm fosforların TL şiddetlerinin değiştiği ve pik yapılarında da farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. 350 °C’de gözlemlenen küçük pikin hem katkı konsantrasyonu hem de beta radyasyon dozu ile değişim gösterdiği söylenebilir (Haghiri *et al.* 2013, Annalakshmi *et al.* 2014, Annalakshmi *et al.* 2016). %4 Dy-katkılı çinko borat fosforunun ana TL pik şiddetinin, diğer Dy katkılı fosforlarından çok daha şiddetli olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca ışımaya pik şiddetleri ve pik sıcaklıklarının, Dy-konsantrasyon miktarına bağlı olduğu bulunmuştur. Dy-konsantrasyon söndürme etkisi nedeniyle TL şiddeti, önce Dy-konsantrasyon miktarının artmasıyla azalır, daha sonra optimum konsantrasyon seviyesinde maksimum değere ulaşır, sonra tekrar düşer ve daha sonra Dy-konsantrasyonunun artmasıyla hafifçe artar (Li *et al.* 2007). Diğer yandan ana ışımaya pikinin pik sıcaklığı, Dy-konsantrasyon seviyesinin artmasıyla hafifçe kayar. Böylece beta ışınlanmasıyla üretilen tuzakların dağılımlarının, çinko borata eklenen Dy iyonunun konsantrasyonlarının değişimi ile büyük oranda değiştirilebildiği sonucu çıkarılabilir. Artan dozla ışımaya eğrilerinin şiddetindeki artış, bu ışımaya pikleri için daha da fazla tuzakların artan ışınlama dozu ile dolduğu ve ardından bu tuzakların termal

uyarılmayla yük taşıyıcılarını serbest bıraktığı, böylece farklı ışımaya pik yüksekliği verdiği anlaşılabilir (Yaman, 2017). Yapılan ayrı bir deneysel çalışmayla hazırlanan örnekler içinden seçilen %5 Dy-katkılı çinko borat fosforu,  $^{90}\text{Sr}$  (Doz hızı: 123 mGy/s) beta kaynağıyla 230 saniye ışınlanmıştır. Bu örneğin farklı ısıtma hızlarında elde edilen TL ışımaya eğrileri ise Şekil 4'de çizilmiştir (Yaman, 2017).



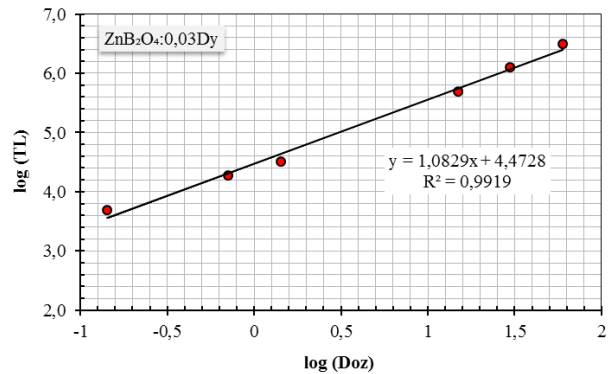
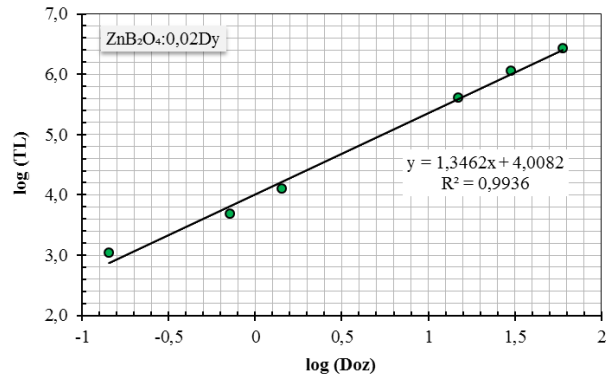
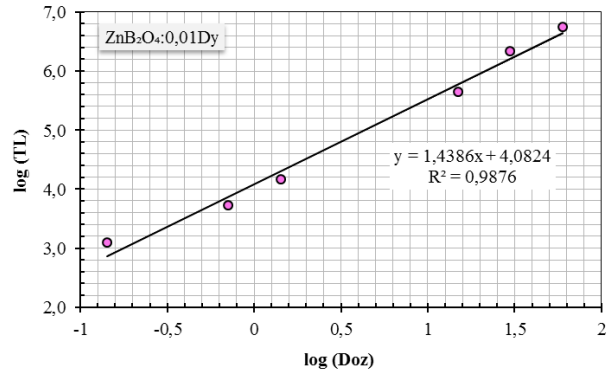
Şekil 4.  $\text{ZnB}_2\text{O}_4:0,05\text{Dy}$  fosforunun farklı ısıtma hızlarında ölçülen TL ışımaya eğrileri.

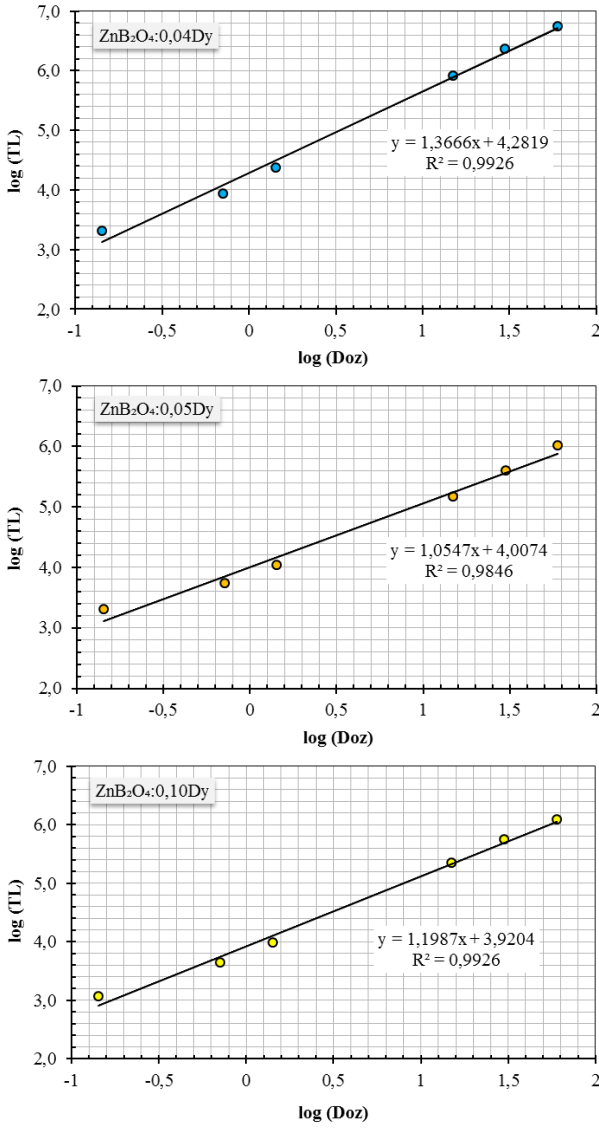
Şekil 4'de TL ışımaya pikinin, ısıtma hızının artmasıyla 180 °C'den 220 °C'ye doğru kaydığı görülmektedir. Bu durum sıcaklık gecikme etkisi olarak bilinir (Kitis *et al.* 1993). Dahası, ısıtma hızının artmasıyla ışımaya eğrisinin altında kalan alanlar azalmıştır. Bu da termal söndürme etkisinin varlığını gösterir. Termal söndürme, malzemenin sıcaklığı arttıkça lüminesans verimliliğinin azaldığı bir olaydır. Bu olay, nispeten yüksek sıcaklıklarda radyasyonsuz geçişlerin olasılığının artması nedeniyle gerçekleşir (Furetta and Weng 1998, Pradhan 2002, Kumar *et al.* 2010). 3 °C/s ve 5 °C/s'lik ısıtma hızlarında elde edilen ışımaya eğrilerinin altında kalan alanların yaklaşık aynı kaldığı görülmektedir.

### 3.2.2. Doz-Cevap Eğrisi

Doz-cevap, materyalin radyasyona karşı verdiği cevabın materyalin maruz kaldığı radyasyon dozu ile doğru orantılı olduğunu gösterir. Bu çalışmada TL doz-cevapları, şu formdaki bir denklemlerle ifade edilebilir:  $\text{TL} = a(\text{Doz})^b$ . Bu denklemin her iki tarafının logaritmasının alınması durumunda,  $[\log(\text{TL}) = \log(a) + b\log(\text{Doz})]$  denklemi elde edilir. Eğim ( $b$ =lineerlik faktörü),  $\log(\text{TL})$ 'nin  $\log(\text{Doz})$ 'a karşı grafiğine lineer fit denklemiyle bulunabilir. Eğer  $b=1$  ise doz-cevap lineer olacaktır. Eğer  $b < 1$  ise

alt-lineer,  $b > 1$  ise süper-lineer olacaktır (Kucuk *et al.* 2013). Bu çalışmada tüm Dy katkılı çinko borat fosforlarının doz-cevap eğrileri, 143 mGy-60 Gy beta radyasyon doz aralığında elde edilmiştir ve logaritmik olarak Şekil 5'de çizilmiştir (Yaman, 2017). Bu grafiklerden, çalışılan doz aralığında, tüm fosforların beta radyasyonuna oldukça lineer bir cevap sergilediği görülebilir. Ayrıca grafikler üzerinde lineer fit denklemleri ile  $R^2$  değerleri verilmiştir.  $R^2$  değeri deneysel verilerle fit fonksiyonu arasındaki uyumu göstermektedir. Grafikler üzerinde lineerlik faktörü olan  $b$  değerleri %1, %2, %3, %4, %5 ve %10 Dy-katkılı çinko borat fosforları için sırasıyla (1,4386), (1,3462), (1,0829), (1,3666), (1,0547) ve (1,1987) olarak bulunmuştur.





Şekil 5. ZnB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Dy fosforları için soğurulan beta radyasyon dozuna karşı TL cevap eğrileri.

### 3.2.3. Minimum Dedekte Edilebilir Doz

Bir TL dozimetride minimum dedekte edilebilir doz (MDD) sınırı, TL dozimetri sistemindeki okuyucu içinde herhangi bir TL örneği olmaksızın, TL dozimetresi ile kaydedilen TL sinyaline, detektör tipine ve kütlesine, foto-çoğaltıcı tüp gürültüsüne ve değerlendirme işlemine bağlıdır (Furetta and Weng 1998). MDD değerlerini hesaplamanın çeşitli yöntemleri literatürde verilmektedir (Piesch and Burgkhardt 1984; Harvey *et al.* 2015; Hirning, 1992). Bu çalışmada tüm Dy katkılı çinko borat fosforlarının MDD değerleri, doğal fon sayımının 3 katına denk gelen doz değeri olarak belirlenmiştir (McKeever, 1988; Furetta *et al.* 2000; Furetta, 2010). %1, %2, %3, %4, %5 ve %10 Dy-katkılı çinko borat fosforlarının MDD değerleri, hatalarıyla birlikte sırasıyla (0,077±0,001 Gy), (0,075±0,004 Gy),

(0,041±0,031 Gy), (0,093±0,009 Gy), (0,074±0,021 Gy) ve (0,162±0,001 Gy) değerlerinde hesaplanmıştır.

## 4. Tartışma ve Sonuç

Dy katkılı çinko borat fosforları nitrik asit yöntemiyle hazırlanmış ve XRD analizleriyle karakterize edilmiştir. 900 °C'de üretilen tüm fosforların faz oluşumu, XRD desenlerinin rapor edilen standart verilerle tutarlılığı ile kanıtlanmıştır. Dy katkısı yapıldıktan sonra üretilen örneklerin yapısında bir değişiklik olmamıştır. Çalışılan beta radyasyon doz bölgesinde, ışıma eğrileri üzerinde baskın piklerin 150 °C ile 300 °C sıcaklık aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Tüm fosforlara ait TL ışıma pik şiddetlerinin, uygulanan beta radyasyon dozuna bağlı oldukları ve artan doz seviyelerinin artmasıyla arttıkları belirlenmiştir. 30 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan fosforların TL ışıma eğrileri incelendiğinde, pik yapılarında farklılıklar olduğu, ışıma pik şiddetleri ve pik sıcaklıklarının ise Dy-konsantrasyon miktarıyla değiştiği gözlemlenmiştir. Diğer yandan ana TL pik sıcaklığı, Dy katkı miktarının artmasıyla hafifçe kayar. Böylece beta ışınlanmasıyla üretilen tuzakların dağılımlarının, çinko borata eklenen Dy katkı miktarının değişimi ile büyük oranda değiştirilebildiği sonucu çıkarılabilir. Artan dozla ışıma eğrilerinin şiddetlerindeki artış, bu ışıma pikleri için daha da fazla tuzakların artan beta radyasyon dozu ile dolduğu ve ardından bu tuzakların termal olarak uyarılmayla yük taşıyıcılarını serbest bıraktığı, böylece farklı ışıma pik yüksekliği verdiği anlaşılabilir. 30 Gy beta radyasyon dozu için %4 Dy-katkılı çinko borat fosforunun TL pik şiddeti, diğer Dy katkılı çinko borat fosforlarından çok daha şiddetli olduğu bulunmuştur. Ayrıca %1 Dy-katkılı çinko borat fosforunun, 30 Gy beta radyasyon dozu için ışıma pik şiddetinin 1,43 Gy beta dozu değerine göre yaklaşık 182 kat arttığı bulunmuştur. Bu artışın %2, %3, %4, %5 ve %10 Dy-katkılı çinko borat fosforları içinse sırasıyla yaklaşık 113, 32, 143, 30 ve 92 kat arttığı bulunmuştur. Tüm fosforların TL-doz cevap eğrilerinin, çalışılan doz aralığında beta radyasyonuna karşı neredeyse doğrusal olduğu gözlemlenmiş ve lineerlik faktörü olan b değerlerinin yaklaşık 1 değerine yakın olduğu bulunmuştur.

Ayrıca %1, %2, %3, %4, %5 ve %10 Dy-katkılı çinko borat fosforları için MDD değerleri sırasıyla 77, 75, 41, 93, 74 ve 162 mGy olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre Dy katkılı çinko borat fosforların TL şiddetlerinin ve MDD değerlerinin, mGy mertebesindeki beta radyasyon dozları için kullanılabilir olmasının olduğu gösterilmiştir. Rapor edilen sonuçlar bu fosforların, iyonlaştırıcı radyasyon dozimetresi için yeni umut verici TL dozimetre materyali olabileceğini gösterirken, somut ve anlamlı bir TL mekanizmasını tam olarak ortaya koymak için hazırlanan örneklerin diğer lüminesans özelliklerinin incelenmesi çalışmalarına devam edilmelidir.

### Teşekkür

Bu çalışma, Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonu tarafından OUAP(F)-2015/31 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

### Kaynaklar

- Annalakshmi, O., Jose, M.T., Madhusoodanan, U., Subramanian, J., Venkatraman, B., Amarendra, G., Mandal, A.B., 2014. Thermoluminescence dosimetric characteristics of thulium doped ZnB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> phosphor. *Journal of Luminescence*, **146**, 295–301.
- Annalakshmi, O., Jose, M.T., Venkatraman, B., 2016. Dosimetric characteristics of manganese doped lithium triborate thermoluminescent material. *Journal of Luminescence*, **179**, 241–247.
- Furetta, C. and Weng, P.S., 1998. Operational Thermoluminescence Dosimetry. World Scientific, Singapore, 252.
- Furetta, C., Prokic, M., Salamona, R. and Kitis, G., 2000. Dosimetric characterisation of a new production of MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>: Dy, Na thermoluminescent material. *Applied Radiation and Isotopes*, **52**, 243–250.
- Furetta, C., 2010. Handbook of Thermoluminescence World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 229.
- Haghiri, M.E., Saion, E., Abdullah, W.S.W., Soltani, N., Hashim, M., Navasery, M., Shafaei, M.A., 2013. Thermoluminescence studies of manganese doped calcium tetraborate (CaB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Mn) nanocrystal synthesized by co-precipitation method. *Radiation Physics and Chemistry*, **90**, 1–5.

- Harvey, J.A., Kearfott, K.J. and Rafique, M., 2015. Dose response linearity and practical factors influencing minimum detectable dose for various thermoluminescent detector types. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **303**, 3, 1711–1718.
- Hirning, C.R., 1992. Detection and determination limits for thermoluminescence dosimetry. *Health Physics*, **62**, 223–227.
- Kayhan, M., 2009. Effect of synthesis and doping methods on thermoluminescence glow curves of manganese doped lithium tetraborate. M.S. Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Chemistry, Ankara, 59.
- Kitis, G., Spiropulu, M., Papadopoulos, J., Charalambous, S., 1993. Heating rate effects on the TL glow-peaks of three thermoluminescent phosphors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, **73**, 367–372.
- Kucuk, N., Manohara, S.R., Hanagodimath, S.M. and Gerward, L., 2013. Modeling of gamma ray energy-absorption buildup factors for thermoluminescent dosimetric materials using multilayer perceptron neural network: A comparative study. *Radiation Physics and Chemistry*, **86**, 10–22.
- Kucuk, N., Kucuk, I., Cakir, M. and Keles, S.K., 2013. Synthesis, thermoluminescence and dosimetric properties of La-doped zinc borates. *Journal of Luminescence*, **139**, 84–90.
- Kumar, M., Chourasiya, G., Bhatt, B.C., Sunta, C.M., 2010. Dependence of peak height of glow curves on heating rate in thermoluminescence. *Journal of Luminescence*, **130**, 1216–1220.
- Li, J., Zhang, C.X., Tang, Q., Zhang, Y.L., Hao, J.Q., Su, Q., Wang, S.B., 2007. Synthesis, photoluminescence, thermoluminescence and dosimetry properties of novel phosphor Zn(BO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>:Tb. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **68**, 143–147.
- McKeever, S.W.S., 1988. Thermoluminescence of Solids. Cambridge University Press, 376.
- Pekpak, E., Yılmaz, A. and Özbayoglu, G., 2010. An Overview on preparation and TL characterization of lithium borates for dosimetric use. *The Open Mineral Processing Journal*, **3**, 14–24.
- Piesch, E. and Burgkhardt, B., 1984. Environmental monitoring European interlaboratory test programme for integrating dosimeter systems. Commission of the European Communities, Luxemburg, EUR 8932.

- Pradhan, A.S., 2002. Effect of heating rate on the responses of CaF<sub>2</sub>:Cu, CaF<sub>2</sub>:Tm, CaF<sub>2</sub>:Dy and CaF<sub>2</sub>:Mn. *Radiation Protection Dosimetry*, **100**, 1–4, 289–292.
- Prokic, M., 2001. Lithium borate solid TL detectors. *Radiation Measurements*, **33**, 4, 393–396.
- Risø DTU, 2008. Guide to “The Risø TL/OSL Reader”, Risø National Laboratory for Sustainable Energy, Technical University of Denmark.
- Yaman, D., 2017. Disporsiyum katkılı çinko borat fosforların termoluminesans yöntemi kullanılarak dozimetrik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 72.
- Zou, X. and Toratani, H., 1995. Evaluation of spectroscopic properties of Yb<sup>3+</sup>-doped glasses. *Physical Review B*, **52**, 15889–15897.