



## Doz Hızı ve Radyasyon Cinsinin Bazı Ticari TL Kristalleri Üzerine Etkisi

Erdem UZUN\*<sup>1</sup>, Yasemin YILDIZ YARAR<sup>2</sup>, Esra ÖZTÜRK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Karaman

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Esenler-İstanbul

<sup>3</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fak., Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karaman

(Alınış Tarihi: 15.09.2013, Kabul Tarihi: 15.11.2013)

### Anahtar Kelimeler

Termoluminesans  
Dozimetre, Feding  
Beta-alfa radyasyonu

**Özet:** Bu çalışmada MCP-100, MCP-N, MTS-7, MTS-100 ve MTS-N ticari termoluminesans (TL) dozimetrik kristallerinin düşük ve yüksek radyasyon doz hızlarındaki TL davranışları ve farklı cins radyasyonun TL ışıldama eğrisinde meydana getirdiği etkiler incelenmiştir. Düşük radyasyon doz hızında ışınlanan örneklerden elde edilen ışıldama eğrilerindeki pik şiddetlerinin, yüksek doz hızında elde edilen pik şiddetlerinden az oldukları gözlemlenmiştir. Bu sonucun feding deneylerinden elde edilen sonuçlar ile birlikte değerlendirildiğinde normal olduğu görülmüştür. Diğer taraftan alfa radyasyonuna maruz bırakılan örneklerin ışıldama eğrilerinde bazı yeni piklerin ortaya çıktığı ve pik şiddetlerinin de değiştiği gözlemlenmiştir.

## The Effect of Dose Rate and Radiation Type on Some Commercial TL Crystals

### Keywords

Thermoluminescence  
dosimetry  
Fading  
Beta-alpha radiation

**Abstract:** In this study, thermoluminescence (TL) behaviors of some commercial TL dosimetric crystals (MCP-100, MCP-N, MTS-7, MTS-100 and MTS-N) under low and high radiation dose rates are investigated. In addition to this, the effects of different radiation types on the glow curve are also investigated. The peak intensities obtained from samples irradiated at low radiation doses are weaker than samples irradiated at high radiation doses. These results are normal evaluated together with fading experiments. On the other hand, some new glow peaks are observed and changes in peaks intensities are also observed in glow curves of samples exposed to alpha radiation.

### 1. Giriş

Termoluminesans (TL) olay radyasyon dozlarının ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntem ile radyasyon dozlarının ölçülmesinde dikkat edilmesi gereken önemli noktalar kullanılan TL kristalinin karakterini ve TL ışımayı belirleyen temel tuzak parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesidir. Bu parametrelerin belirlenmesi ve TL ışıma mekanizmasının açıklanması için bugüne kadar birçok model ileri sürülmüştür (Chen ve McKeever, 1997; Furetta, 2003; McKeever, 1985; Chen, ve Pagonis, 2011). Diğer taraftan, LiF matris malzeme üzerine geliştirilen TL kristallerin karakteristikleri iyi bilinmekte ve doku eşdeğeri olmaları nedeni ile radyasyon doz ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada etkileşimli çoklu tuzak modeli temel alınarak, MCP-100, MCP-N, MTS-7, MTS-100 ve MTS-

N ticari dozimetrik TL kristallerinin enerji bant yapısı fiziksel olarak modellenmiştir. Modeller tarafından ileri sürülen yük taşıyıcı trafiğini kontrol eden diferansiyel denklemler türetilmiş ve sayısal yöntemler ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar deneysel ışıldama eğrileri ile kıyaslanmıştır.

Diğer taraftan radyasyon doz hızının ve farklı cins radyasyonun TL ışıldama eğrilerinde değişiklik meydana getirebildiği literatürde birçok çalışmada tartışılmıştır (Yang vd., 2001; Bilski vd., 2004; Yang vd., 2006; Salah vd., 2007; Mandowska vd., 2010; Miljanić vd., 2011; Obryk vd., 2013). Bu çalışmada kullanılan malzemeler farklı doz hızlarındaki beta radyasyonu ile ışınlanmış ve ışıldama eğrileri incelenmiştir. Buna ilave olarak alfa radyasyonu ile ışınlanan örneklerin ışıldama eğrileri incelenmiş ve ortaya çıkan değişikliklerin sebepleri araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada bazı özellikleri Tablo 1'de sunulan TL detektör kristalleri ticari olarak temin edilmiş ve kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Deney kristallerinin bazı özellikleri

Ticari İsim	Kimyasal Komp.	Boyutlar (mm)	Biçim
MCP - 100	(LiF:Mg,Cu,P) doğalLi	3,2x3,2x0,4	Kare
MTS - 7	(LiF:Mg,Ti), <sup>7</sup> Li	4,5x0,9	Disk
MTS - 100	(LiF:Mg,Ti) doğalLi	3,2x3,2x0,4	Kare
MCP - N	(LiF:Mg,Cu,P) doğalLi	4,5x0,9	Disk
MTS - N	(LiF:Mg,Ti) doğalLi	4,9 x0,9	Disk

TL kristallerin ışınlanması için 3 farklı ışınlama sistemi kullanılmıştır. Düşük doz şiddetli ışınlamalar için aktivitesi 33MBq olan <sup>90</sup>Sr-Y beta radyasyon kaynağı ve yüksek doz şiddetli ışınlamalarda ise aktivitesi 7.4GBq olan <sup>90</sup>Sr-Y beta radyasyon kaynağı kullanılmıştır. Beta ışınlamaları hava atmosferinde ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Alfa radyasyonu ışınlamalarında kaynak aktivitesi 4MBq olan <sup>241</sup>Am kullanılmıştır. Alfa ışınlamaları vakum ortamında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. TL ölçüm işlemleri için RA-04 model manuel TLD Reader kullanılmıştır. Söz konusu cihaz 40-400°C aralığında ölçüm yapabilmektedir. OSL çalışmalarında numunelerin uyarma ve ışınma spektrumlarının kaydedilmesi için PTI marka QM 30 model fotoluminesansspektrofotometresi kullanılmıştır. Ksenon kaynaklı cihaz 200-800nm dalgaboyuaralığında çalışmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazların tamamı Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi laboratuvarlarında mevcuttur.

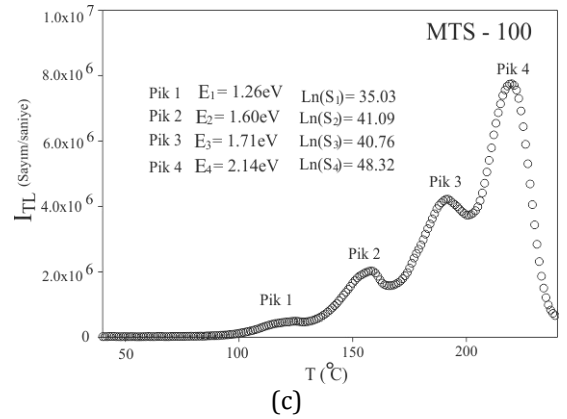
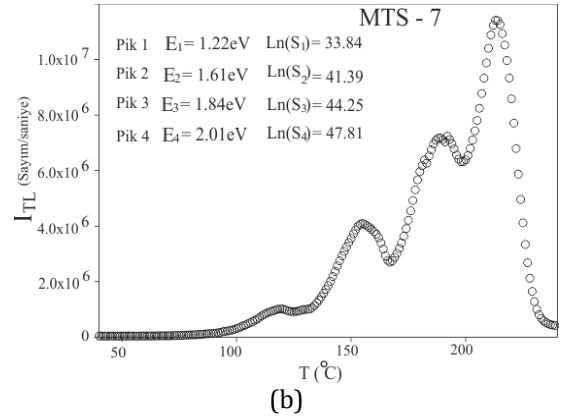
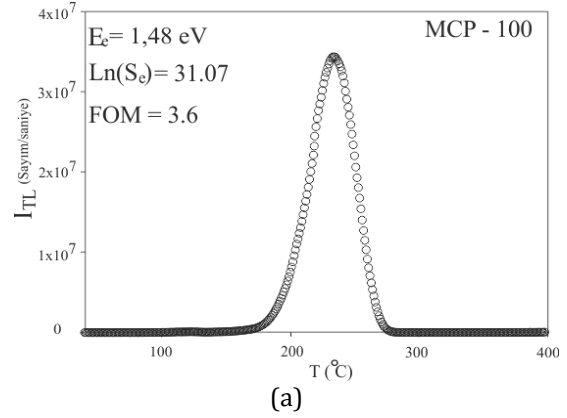
Öneklerin radyasyon ile ışınlanması ve TL okuma işleminin başlaması arasında sabit 20s süre geçmesi beklenerek radyasyon güvenliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Tüm ölçümler sırasında ısıtma hızı 1°C/s olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. TL ölçümler sırasında örnek ile foto çoğaltıcı tüp arasında azot gazı uygulanmıştır. OSL çalışmaları oda sıcaklığında ve hava atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

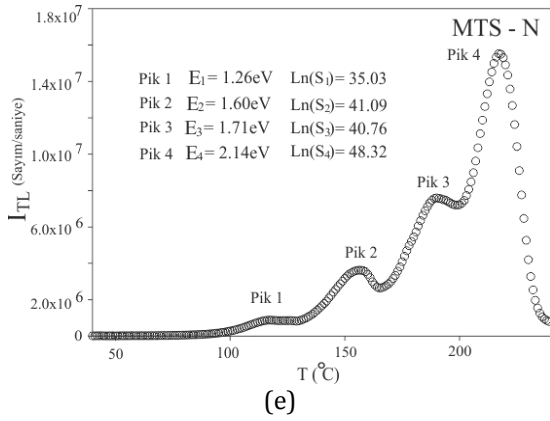
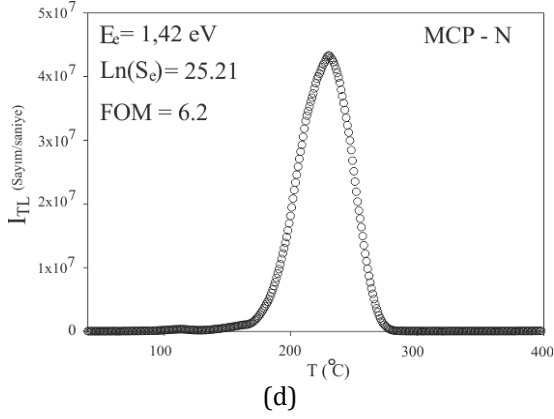
Deneysel olarak elde edilen ışıltama eğrileri yardımı ile örneklerin enerji bant diyagramları fiziksel olarak modellenmiş ve yük taşıyıcı trafiğini belirleyen temel diferansiyel denklem sistemleri türetilmiştir. Bir sonraki adımda bu diferansiyel denklem sistemleri bilgisayar kodları haline dönüştürülmüştür. Söz

konusu bilgisayar kodları Mathematica9.0 bilgisayar programı üzerinde çalıştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar bilgisayara başlangıç şartları olarak verilmiş, diferansiyel denklem sistemleri sayısal olarak çözümlenmiş ve ışıltama eğrileri sayısal olarak elde edilmiştir.

## 3. Sonuçlar

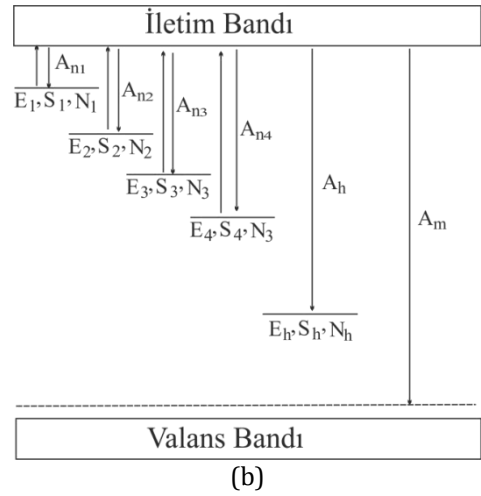
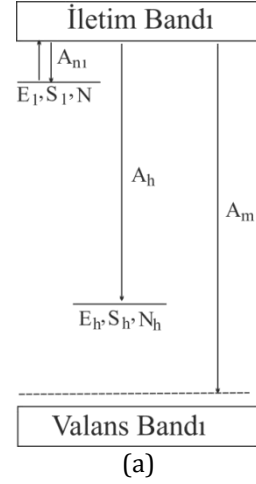
Şekil 1a-e'de yüksek doz şiddetindeki beta radyasyon kaynağı ile 3s ışınlanmış ve 1°C/s'lik ısıtma hızında elde edilmiş ışıltama eğrileri görülmektedir.





**Şekil 1.** Yüksek doz şiddetindeki beta radyasyon kaynağı ile ışınlanmış numunelerin ışıltama eğrileri

Şekil 1 incelendiğinde MCP-100 ve MCP-N örneklerinin 40-400°C sıcaklık aralığında 232.5±2°C'de 1 adet ışıltama pikini sahip oldukları görülmüş, ilk artış (initialrise), pik şekli (peakshape, Chen), farklı ısıtma hızı (various heating rate) ve bilgisayarlı ışıltama eğrisi açma (CGCD) yöntemleri ile tuzak parametreleri belirlenmiştir. Buna ilave olarak, 180-285°C sıcaklık aralığında 5°C aralıklar ile T<sub>m</sub>-T<sub>stop</sub> deneyi yapılmış ve bu aralıkta başka bir pikin var olmadığı deneysel olarak da yeniden teyit edilmiştir. Diğer taraftan MTS-7, MTS-100 ve MTS-N örneklerinin 40-400°C sıcaklık aralığında birbirinden bağımsız 4 adet ışıltama pikine (118±2°C, 162±2°C, 196±2°C ve 233.7±2°C) sahip oldukları görülmektedir. Yanı sıra bu malzemelerin ışıltama eğrileri CGCD yöntemi ile analiz edilmiş ve tuzak parametreleri belirlenmiştir. Bu deneysel veriler ışığında örneklerin enerji-bant diyagramları modellenmiş ve şekil 2a ve b'de sunulmuştur.



**Şekil 2.** (a) MCP-100 ve MCP-N için, (b) MTS-7, MTS-100 ve MTS-N için önerilen enerji bant modeli

Bu modeller tarafından ileri sürülen ve yük taşıyıcı trafiğini kontrol eden diferansiyel denklemler ise Eşitlik 1-3'de sunulmuştur.

$$\frac{dn_i}{dt} = -n_i \cdot s_i \cdot \exp\left(-\frac{E_i}{k \cdot T}\right) + n_c \cdot (N_i - n_i) \cdot A_{ni} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

$$\frac{dn_c}{dt} = -\sum_{i=1}^4 \frac{dn_i}{dt} - n_c \cdot (N_h - n_h) \cdot A_h - n_c \cdot (n_h + n_c + \sum_{i=1}^4 n_i) \cdot A_m \quad (2)$$

$$I_{TL} = n_c \cdot (n_h + n_c + \sum_{i=1}^4 n_i) \cdot A_m \quad (3)$$

Eşitlik 1-3'de sunulan diferansiyel denklem sistemi bilgisayar kodlarına dönüştürülmüştür.

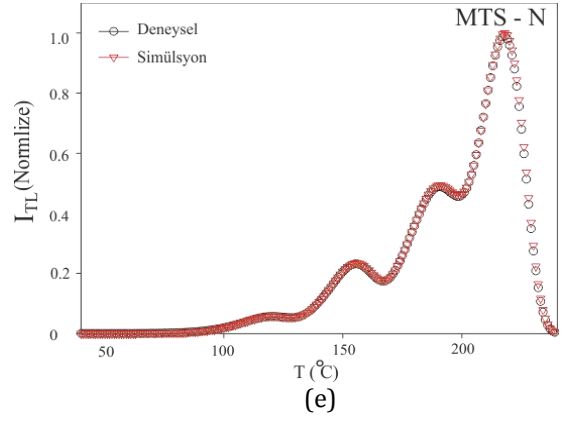
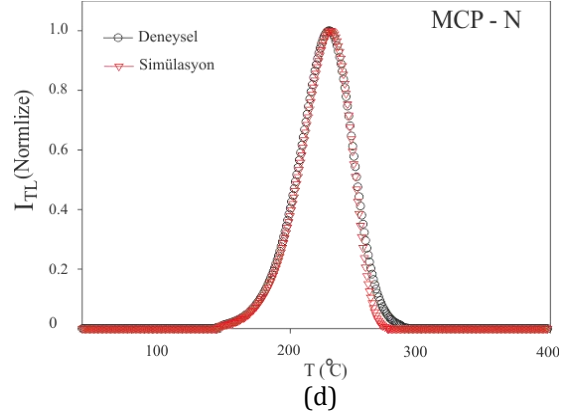
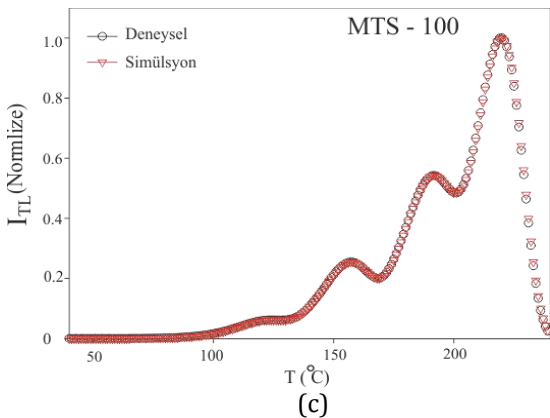
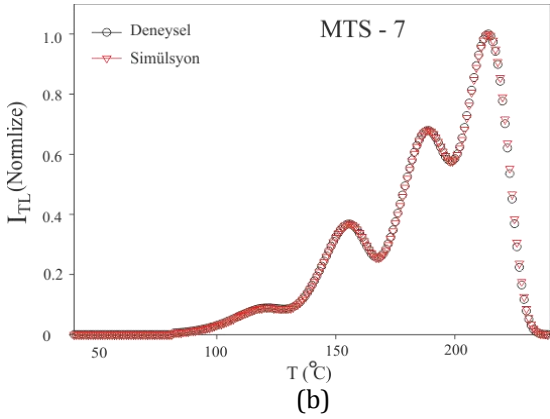
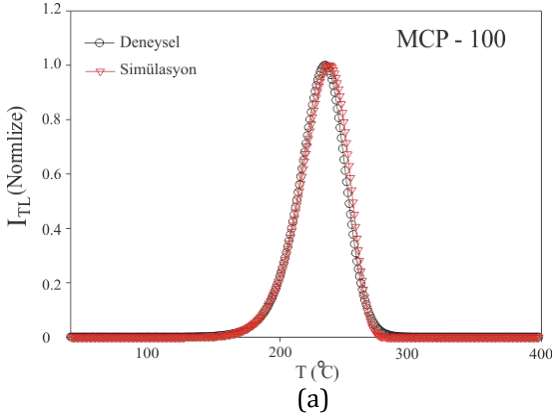
Burada;

N, n, E ve s sırasıyla ilgili seviyedeki toplam tuzak konsantrasyonu, dolu tuzakların anlık konsantrasyonu, tuzak derinliği ve tuzak seviyesinin frekans faktörüdür. i ve h alt indisleri ise sırasıyla elektron ve boşluk tuzak seviyelerini temsil etmektedir.

A<sub>ni</sub>, serbest elektronların ilgili tuzak seviyesi tarafından yakalanma olasılığı,

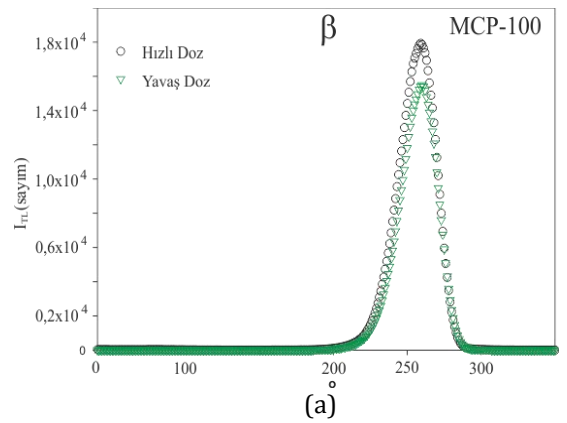
$A_h$ , serbest elektronların derin tuzaklar tarafından yakalanma olasılığı,  
 $A_m$ , serbest elektronların rekombinasyon yapma olasılığıdır.  
 $n_c$ , iletim bandındaki anlık elektron konsantrasyonudur.

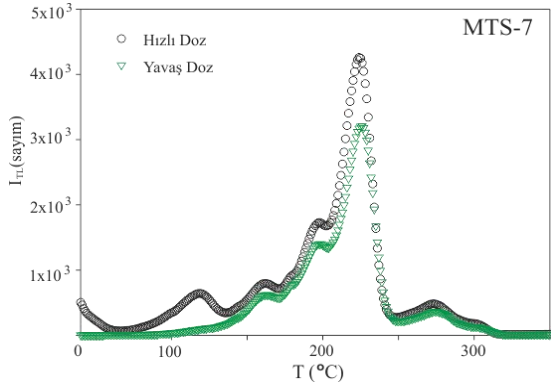
Şekil 1'de sunulan deneysel veriler ise bu kodlara başlangıç şartları olarak verilmiş ve denklem sistemi sayısal olarak çözülmüştür. Elde edilen sayısal ışıltama eğrileri ise Şekil 3'de sunulmuştur.



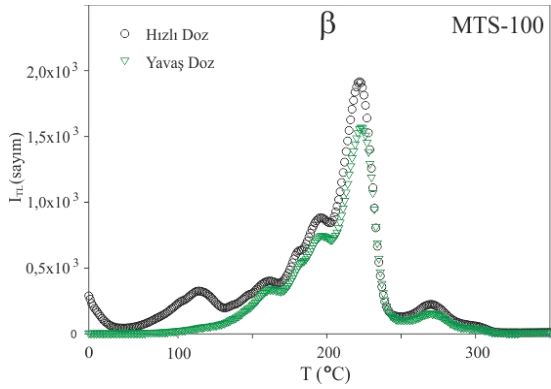
Şekil 3. (a)MCP-100, (b) MTS-7, (c) MTS-100, (d) MCP-N ve (e) MTS-N için elde edilen sayısal ve deneysel ışıltama eğrileri

Diğer taraftan numuneler düşük doz şiddetindeki beta radyasyon kaynağı ile aynı dozda ışıltanmış ve aynı şartlarda ışıltama eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen ışıltama eğrileri Şekil 4'de sunulmuştur.

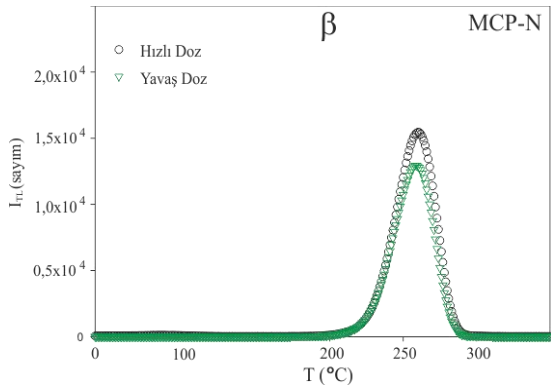




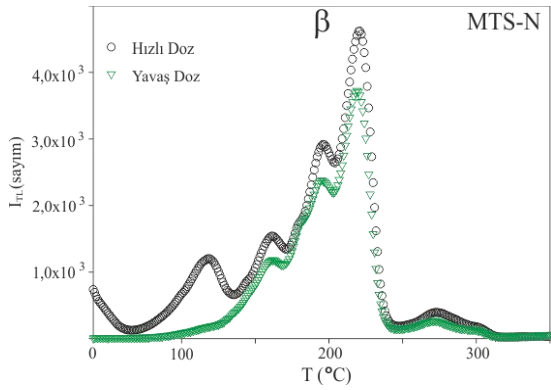
(b)



(c)



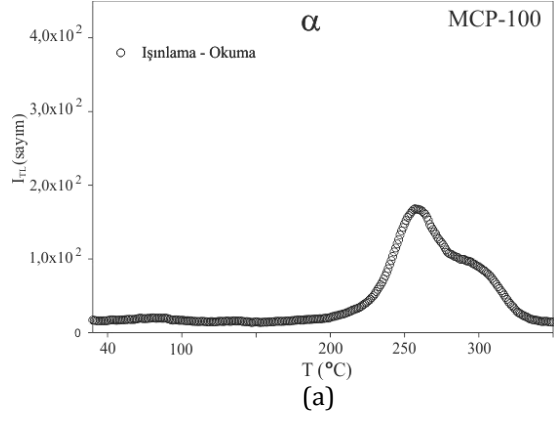
(d)



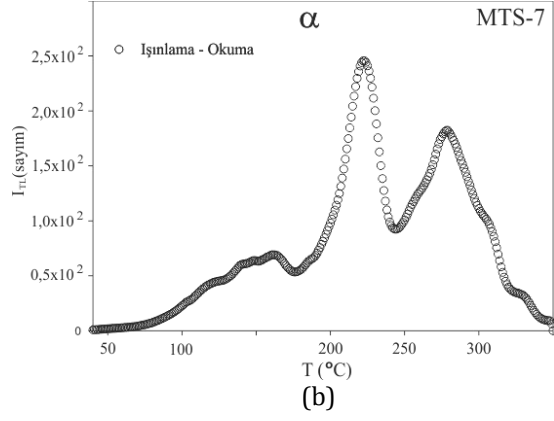
(e)

dozda ışınlanması sonucunda elde edilen ışıldama eğrileri

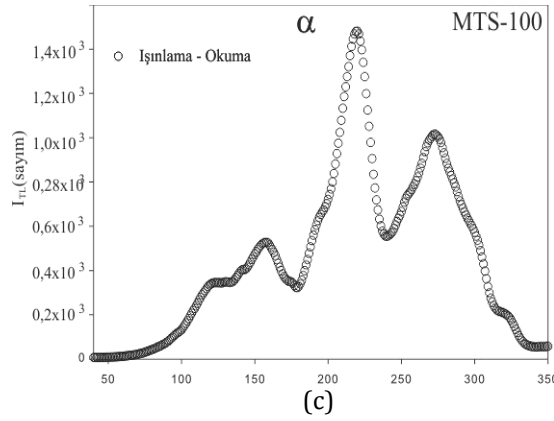
Örnekler alfa radyasyonu ile ışınlanmış ve ışıldama eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen ışıldama eğrileri Şekil 5'de sunulmuştur.



(a)

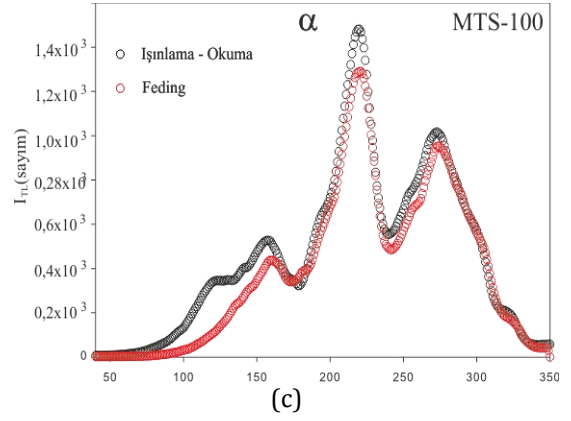
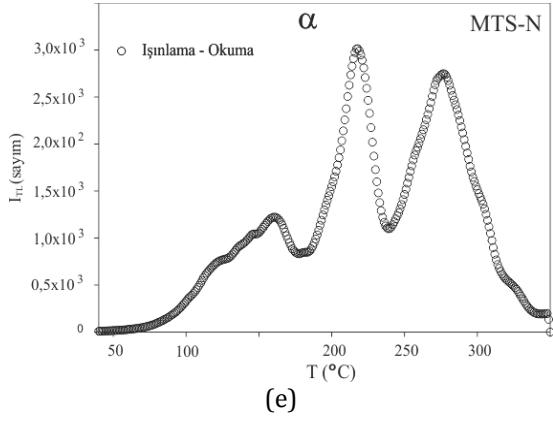
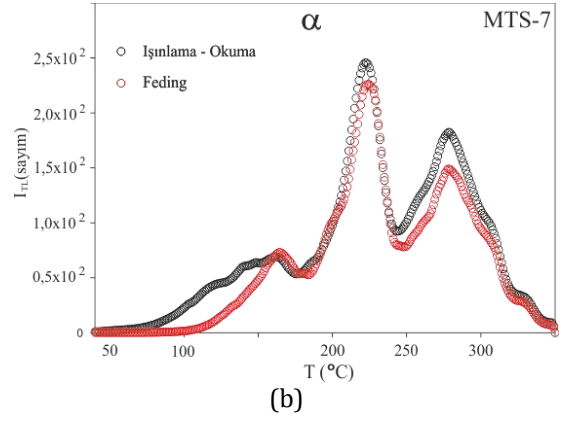
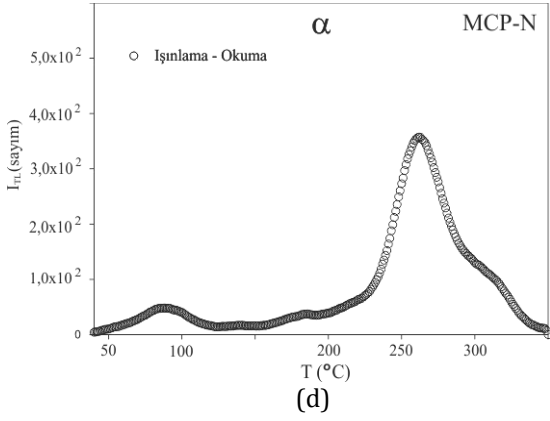


(b)



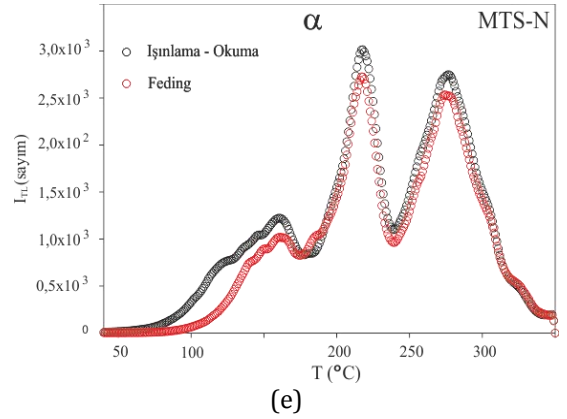
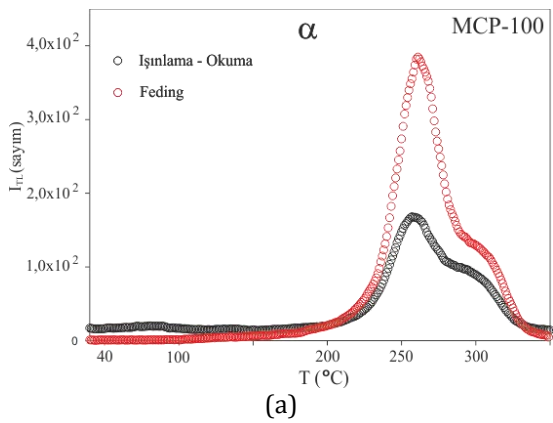
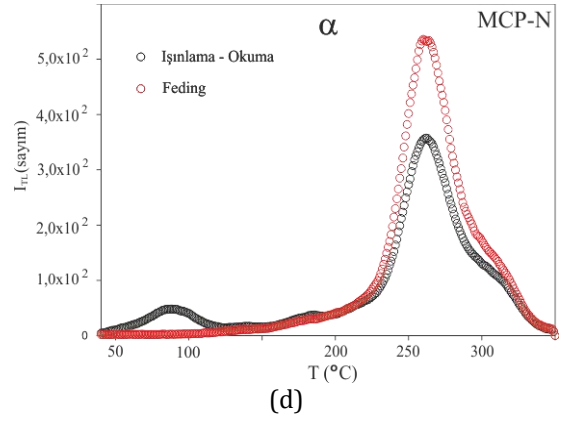
(c)

Şekil 4. (a)MCP-100, (b) MTS-7, (c) MTS-100, (d) MCP-N ve (e) MTS-N için yüksek ve düşük doz şiddetindeki beta radyasyon kaynakları ile aynı



Şekil 5. (a)MCP-100, (b) MTS-7, (c) MTS-100, (d) MCP-N ve (e) MTS-N için alfa radyasyonu ile ışınlama sonucu elde edilen ışıltama eğrileri

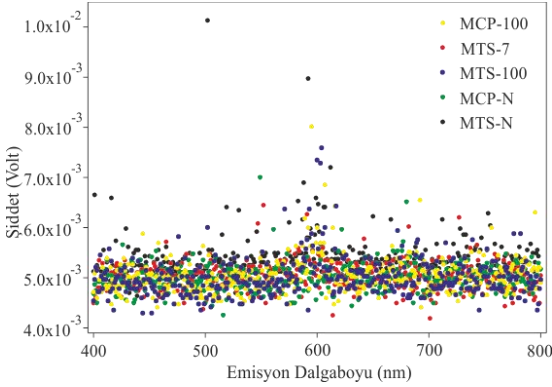
Alfa radyasyonu ile ışınlanmış numunelerin fading karakteristiklerinin araştırılması için numuneler belirli bir süre alfa radyasyonu ile ışınlanmış ve ışıltama eğrileri elde edilmiştir. TL okuma işleminden sonra numuneler tavlama işlemine tabi tutularak kalıntı radyasyon temizlenmiştir. Aynı doz ile ışınlanan numuneler oda sıcaklığında ve karanlık bir ortamda 3 gün süre ile bekletilmiştir. Bu sürenin ardından yeniden okunan numunelerin ışıltama eğrileri Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. (a)MCP-100, (b) MTS-7, (c) MTS-100, (d) MCP-N ve (e) MTS-N için alfa radyasyonu ile ışınlanan

örneklerin 3 günlük feding deneyi sonrası elde edilen ışıldama eğrileri

Numunelerin yayınlanma bantlarının ortaya çıkartılabilmesi amacıyla OSL deneyleri yapılmıştır. OSL çalışmalarındanumuneler cihazın katı aparatları ile fotoluminesansspektrofotometreye yerleştirilerek, 200 nm ile 800 nm arasında değişen dalga boyu aralığında taranmıştır.Taramanın 200-400 nm aralığı uyarma bandı olarak seçilmiştir. Numuneler bu aralıkta2'şer nm aralıklar ile uyarılmış ve 400-800 nm aralığında emisyon spektrumu kaydedilerek Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. MCP-100, MTS-7, MTS-100, MCP-N ve MTS-N için oda sıcaklığında elde edilmiş OSL spektrumları

### Tartışmalar ve Öneriler

MCP-100 ve MCP-N aynı malzemeden üretilmiş ve fakat farklı geometriye sahip olduğundan ışıldama eğri karakteristikleri aynıdır. Beta radyasyonu için  $232.5 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de ana pike sahiptirler.

MTS-100 ve MTS-N aynı malzemeden üretilmiş ve fakat farklı geometriye sahip olduğundan ışıldama eğri karakteristikleri aynıdır. Beta radyasyonu için  $233.7 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de ana pike sahiptirler. Daha düşük ve yüksek sıcaklıklarda birçok uydu pike sahiptirler.

MTS-7 üretiminde  $^7\text{Li}$  kullanılmıştır ve ışıldama pikleri diğer MTS'ler ile aynı karakteristiğe sahiptir. Diğer MTS'lerden farklı olarak aynı radyasyon dozunda pik şiddetleri daha güçlüdür.

MCP-100 ve MCP-N  $300^\circ\text{C}$ 'de tavlandığında  $232.5 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de bulunan ana pik  $259 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de ortaya çıkmaktadır. Bu malzemeler için benzer sonuç Obryk vd., (2013) tarafından da rapor edilmiştir.

Alfa radyasyonuna maruz kalan MCP-100 ve MCP-N numunelerinin feding deneyleri sonrasında pik şiddetlerinin arttığı anormal bir durum gözlemlenmiştir. Bu anormal durumun açıklanabilmesi için yapılan TL ve OSL

çalışmaların neticesinde LiF konut kristali içindeki katkı atomlarının (Mg, Cu, P ve Ti) oda sıcaklığında morötesi ışınım ile uyarıldığında ışımaya başlamasına rağmen, OSL spektrumunda herhangi kayda değer bir ışımaya rastlanmamıştır. Termoluminesans ve fotoluminesans spektrumları birlikte değerlendirildiğinde; LiF konut kristali içindeki bu katkı atomlarının ancak yüksek sıcaklıklarda uyarılabileceği sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde bu anormal durumun ortaya çıkmasına neden olabilecek bir mekanizma henüz tespit edilememiştir. OSL çalışmalarının yüksek sıcaklıklarda tekrar edilmesi ile birlikte mekanizmanın anlaşılabilmesi düşünülmektedir. Bu nedenle bu mekanizmanın ortaya çıkartılabilmesi için detaylı çalışmalar devam etmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından BAP-15-M-13 projesi kapsamında desteklenmiştir.

### Kaynaklar

Chen R., ve McKeever, S. W. S., 1997. Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena. World Scientific, Singapore.

Furetta, C., 2003. Handbook of Thermoluminescence. World Scientific, New Jersey.

McKeever, S. W. S., 1985. Thermoluminescence of Solids. Cambridge University Press, London.

Chen, R., ve Pagonis, V., 2011. Thermally and Optically Stimulated Luminescence. A Simulation Approach.

Yang, B., Gao, H., Townsend, P.D., 2006. Low temperature thermoluminescence of annealed LiF:Mg, Cu, P. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 247, 324-330.

Yang, B., Xie, L., Xu, Y., Townsend, P.D., 2001. Studies on the 30-300 C thermoluminescence spectra of 3.1 MeV ion beam bombarded LiF:Mg, Cu, P. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 187, 408-418.

Mandowska, E., Bilski, P., Obryk, B., Mandowski, A., Olko, P., Kim, J., 2010. Spectrally resolved Thermoluminescence of highly irradiated LiF:Mg, Cu, P detectors. Radiation Measurements 45, 579-582.

Bilski, P., Budzanowski, M., Olko, P., Mandowska, E., 2004. LiF:Mg,Ti (MTT) TL Detector optimized for high-LET radiation dosimetry. Radiation Measurements 38, 427-430.

Miljanić, J., Bibić, S., Blagus, S., Mihaljević, B., Vekić, B., Dose reassessment of LiF:Mg,Ti detectors in the mixed fields. *Radiation Measurements* 46, 1586-1589.

Salah, N., Lochab, S.P., Kanjilal, D., Sahare, P.D., Aleynikov, V.E., 2007. Effect of high-energy  ${}^7\text{Li}^{2+}$  ions on the TL behavior of LiF:Mg,Cu,P detectors. *Radiation Measurements* 42, 1294 – 1300.

Obryk, B., Skowrońska, K., Sas-Bieniarz, A., Stolarczyk, L., Bilski, P., 2013. High-dose high-temperature emission of LiF:Mg,Cu,P: Thermally and radiation induced loss & recovery of its sensitivity. *Radiation Measurements* 56, 171-178.