

(19)



(10) TR 2015 15339 B

## NCELEMES Z PATENT

(21) Ba vuru Numarası  
a 2015/15339

(51) Bulu un tasnif sınıfı  
C01F 5/00

(22) Ba vuru Tarihi  
2015/12/03

(43) Ba vuru Yayın Tarihi  
2017/06/21

(11) Ba vuru Yayın No.  
TR 2015 15339 A1

(45) Patent Belgesinin Verili Tarihi  
2018/02/21

(30) Rüçhan Bilgileri (32) (33) (31) (74) Vekil

EM N KORHAN DER C O LU (ANKARA PATENT BÜROSU LTD.  
T .)

Bestekar Sok. No:10/12 Kavaklıdere- ÇankayaANKARA

(71) Patent Sahibi

**ULUSAL BOR ARA TIRMA ENST TÜSÜ**

Dumlupınar Bulvarı No : 166, Kat: 10 06520 Ankara TÜRK YE

(72) Bulu u Yapanlar

**PROF. DR. ZEHRA YE NG L**

Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü 01330 Sarıçam Adana TÜRK YE

**DR. MEHMET YÜKSEL**

Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü 01330 Sarıçam Adana TÜRK YE

**PROF. DR. KASIM KURT**

Mersin Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü 33343 Mersin TÜRK YE

**VOLKAN ALTUNAL**

Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü 01330 Sarıçam Adana TÜRK YE

**ADNAN ÖZDEM R**

Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü 01330 Sarıçam Adana TÜRK YE

**PROF. DR. OSMAN SER NDA**

Kanuni Üniversitesi Turhan Cemal Beriker Bl. Emek Mahallesi 41007 Sokak No:2 Seyhan Adana TÜRK YE

**PROF. DR. KASIM OCAKO LU**

Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji E itim, Ara tırma Ve Uygulama Merkezi, Çiftlikköy Kampüsü 33343 Mersin TÜRK YE

**DR. TAMER DO AN**

Çukurova Üniversitesi mamolu Meslek Yüksek Okulu 01700 mamolu Adana TÜRK YE

**PROF. DR. MUSTAFA TOPAKSU**

Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü 01330 Sarıçam Adana TÜRK YE

(54) Bulu Ba lı 1

**DOZ METR K ÖZELL K GÖSTEREN MANGAN (Mn) VEYA NEOD MYUM (Nd) KATKILI  
MAGNEZYUM BORAT (MgB4O7:Mn VEYA MgB4O7:Nd) VE ÜRET M YÖNTEM**

(57) Özet

Bu bulu , mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılanarak dozimetrik özellik kazandırılan magnezyum boratın (MgB4O7) üretimi ve üretilen MgB4O7:Mn ve MgB4O7:Nd nin dozimetrik özelliklerinin Termolüminesans yöntemi kullanılarak incelenmesine dayandırılan mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkıli magnezyum borat (MgB4O7) üretim yöntemi ilgilidir.

## ÖZET

### DOZİMETRİK ÖZELLİK GÖSTEREN MANGAN (Mn) VEYA NEODİMYUM (Nd) KATKILI MAGNEZYUM BORAT ( $MgB_4O_7:Mn$ VEYA $MgB_4O_7:Mn$ ) VE ÜRETİM YÖNTEMİ

5

Bu buluş, mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılanarak dozimetrik özellik kazandırılan magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) üretimi ve üretilen  $MgB_4O_7:Mn$  ve  $MgB_4O_7:Nd$ 'nin dozimetrik özelliklerinin Termolüminesans yöntemi kullanılarak incelenmesine dayandırılan mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkı

10

magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi ilgilidir.

## İSTEMLER

1. Radyoterapi, diyagnostik radyoloji ve nükleer tıp gibi medikal alanlarda kullanılmak üzere geliştirilen ve belirgin, düşük dozlara duyarlı ve yüksek şiddetli termolüminesans (TL) ışımaya tepesinin elde edilmesini sağlayan ve;
  - 5 – bir beher içindeki saf su içerisine borik asit ilave edilmesi,
  - karışımın bulunduğu beherin ısıtıcı ve manyetik karıştırıcı bir tabla üzerine yerleştirilmesi,
  - karışımın sabit sıcaklıkta karıştırılması ile borik asit çözeltisinin elde edilmesi,
  - 10 – farklı bir beher içerisinde, magnezyum nitrat, üre ve mangan nitratın saf su içerisinde çözündürülmesi,
  - oluşturulan bu çözelti içerisine borik asit çözeltisinin ilave edilmesi,
  - karışımın tabla üzerine yerleştirilerek reaksiyon sıcaklığına kadar ısıtılması ve tepkimelerin tamamlanması için reaksiyon sıcaklığında tutulması,
  - 15 – karışım sıcaklığı yükseltilerek karışım içerisindeki suyun tümüyle buharlaştırılması,
  - suyun uzaklaştırılması sonucunda elde edilen hafif strafor görünümlü yapı ile Mangan katkılı  $MgB_4O_7$  olan beyaz tozun agat havanda öğütülerek birbirine karıştırılması,
  - 20 – karışımın porselen krozeler içerisine boşaltılarak, krozelerin oda sıcaklığındaki yüksek tavlama fırınına yerleştirilmesi,
  - fırın sıcaklığının  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklığa yükseltilerek bu sıcaklıkta tutulması,
  - 25 – fırın sıcaklığının düşmesinin beklenmesi,
  - nihai ürün olan Mangan katkılı  $MgB_4O_7$  toz dozimetrik malzemesi üretilmesi adımları **ile karakterize edilen** mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.
  - 30

2. Mangan (Mn) katkılama işleminin gerçekleştirilmesi için %99.999 saflıkta magnezyum nitrattan ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) 2.6164-7.8491 gram aralığında, %99.999 saflıkta borik asitten ( $H_3BO_3$ ) 3.3558-10.0673 gram aralığında, üreden ( $CH_4N_2O$ ) 1.0214-3.0642 gram aralığında ve %99 saflıkta mangan nitrattan ( $Mn(NO_3)_2 \cdot xH_2O$ ) 0.0090-0.0269 gram aralığında kullanılması **ile karakterize edilen** İstem 1'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.
3. Radyoterapi, diyagnostik radyoloji ve nükleer tıp gibi medikal alanlarda kullanılmak üzere geliştirilen ve belirgin, düşük dozlara duyarlı ve yüksek şiddetli termoluminesans (TL) ışın tepesinin elde edilmesini sağlayan ve;
- bir beher içindeki saf su içerisine borik asit ilave edilmesi,
  - karışımın bulunduğu beherin ısıtıcı ve manyetik karıştırıcı bir tabla üzerine yerleştirilmesi,
  - karışımın sabit sıcaklıkta karıştırılması ile borik asit çözeltisinin elde edilmesi,
  - farklı bir beher içerisinde, magnezyum nitrat, üre ve neodimyum nitratin saf su içerisinde çözündürülmesi,
  - oluşturulan bu çözelti içerisine borik asit çözeltisinin ilave edilmesi,
  - karışımın tabla üzerine yerleştirilerek reaksiyon sıcaklığına kadar ısıtılması ve tepkimelerin tamamlanması için reaksiyon sıcaklığında tutulması,
  - karışım sıcaklığı yükselttilerek karışım içerisindeki suyun tümüyle buharlaştırılması,
  - suyun uzaklaştırılması sonucunda elde edilen hafif strafor görümlü yapı ile Neodimyum katkılı  $MgB_4O_7$  olan beyaz toz agat havanda öğütülerek birbirine karıştırılması,
  - karışımın porselen krozeler içerisine boşaltılarak, krozelerin oda sıcaklığındaki yüksek tavlama fırınına yerleştirilmesi,
  - fırın sıcaklığının 900 °C'lik sıcaklığa yükselttilerek bu sıcaklıkta tutulması,

- fırın sıcaklığının düşmesinin beklenmesi,
- nihai ürün olan Neodimyum katkılı  $MgB_4O_7$  toz dozimetrik malzemesi üretilmesi adımları **ile karakterize edilen** mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

5

4. Neodimyum (Nd) katkılama işleminin gerçekleştirilmesi için %99.999 saflıkta magnezyum nitrattan ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) 2.6164-7.8491 gram aralığında, %99.999 saflıkta borik asitten ( $H_3BO_3$ ) 3.3558-10.0673 gram aralığında, üreden ( $CH_4N_2O$ ) 1.0214-3.0642 gram aralığında ve %99 saflıkta neodimyum nitrattan ( $Nd(NO_3)_3$ ) 0.0219-0.0658 gram aralığında kullanılması **ile karakterize edilen** İstem 3'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

10

5. 45-55 ml aralığındaki saf su içerisine borik asit ilave edilerek borik asit çözeltisi oluşturulması **ile karakterize edilen** İstem 2 veya 4'teki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

15

6. Saf su ve borik asit karışımının 90-110 °C aralığındaki sıcaklıkta tutulan ısıtıcılı ve manyetik karıştırıcılı tabla üzerine yerleştirilerek karıştırılması **ile karakterize edilen** İstem 5'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

20

7. Magnezyum nitrat, üre ve mangan nitratın 45-55 ml aralığındaki saf su içerisinde çözündürülmesi **ile karakterize edilen** İstem 2'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

25

8. Magnezyum nitrat, üre ve neodimyum nitratın 45-55 ml aralığındaki saf su içerisinde çözündürülmesi **ile karakterize edilen** İstem 4'deki gibi

30

mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

- 5 9. Magnezyum nitrat, üre ve mangan nitrati içeren çözeltinin borik asit çözeltisi ile karıştırılarak tabla sıcaklığının 345-375 °C aralığında bir sıcaklığa çıkarılması **ile karakterize edilen** İstem 7'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.
- 10 10. Magnezyum nitrat, üre ve neodimyum nitrati içeren çözeltinin borik asit çözeltisi ile karıştırılarak tabla sıcaklığının 345-375 °C aralığında bir sıcaklığa çıkarılması **ile karakterize edilen** İstem 8'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.
- 15 11. Hazırlanan çözeltinin, tepkimelerin gerçekleşeceği 345-375 °C sıcaklık aralığına çıkartılarak, çözelti yanma sentezi (Solution Combustion Synthesis, SCS) kimyasal tepkimelerinin tamamlanması için 35-45 dakika aralığında bir süreyle bu sıcaklık aralığında tutulması **ile karakterize edilen** İstem 9 veya 10'daki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.
- 20 12. Çözelti içerisindeki suyun tamamen buharlaşması amacıyla, çözeltinin 480-520 °C sıcaklık aralığına ısıtılarak bu sıcaklıkta çözeltinin suyu tamamen buharlaşmaya kadar (beher içerisinde tamamen kuru bir malzeme gözlenmeli) bekletilmesi **ile karakterize edilen** İstem 11'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.
- 25 13. Porselen krezeler içerisinde yüksek sıcaklık tavlama fırını içerisine yerleştirilen toz karışımın 3 saat içerisinde 850-950 °C sıcaklık aralığına
- 30

çıkarılması **ile karakterize edilen** İstem 1 veya 3'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

5 **14.** Porselen krozeler içerisinde yüksek sıcaklık tavlama fırını içerisine yerleştirilen toz karışımın 850-950 °C sıcaklık aralığında 1-3 saat aralığında süreyle bekletilmesi **ile karakterize edilen** İstem 13'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

10

**15.** Fırın iç sıcaklığının 45-55 °C sıcaklık aralığına düşmesi için porselen krozelerin fırın içerisinde bekletilmesi **ile karakterize edilen** İstem 1 veya 3'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

15

**16.** Toz formunda üretilen Neodimyum veya Mangan katkılı magnezyum boratın daha ergonomik olması amacıyla tablet formuna getirilmesi amacıyla,

20

- toz formunda üretilen dozimetrik malzemeye ağırlıkça eşit miktarda potasyum bromür ilave edilmesi,
- karışımın agat havanda öğütülerek karıştırılması,
- oluşturulan homojen karışımın kalıplar içerisine boşaltılması,
- kalıpların üzerinde basınç uygulanması adımlarının uygulanması **ile karakterize edilen** İstem 1 veya 3'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

25

**17.** 10 miligram toz formunda üretilen dozimetrik malzemeye, 10 miligram potasyum bromürün ilave edilmesi **ile karakterize edilen** İstem 16'daki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.

30

- 5
18. Dozimetrik malzeme ve potasyum bromürden elde edilen karışımın 3 mm yarıçapındaki kalıplara, 0.25 mm derinlikte dökülmesi **ile karakterize edilen** İstem 17'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.
- 10
19. Kalıplar içerisine yerleştirilen dozimetrik malzeme ve potasyum bromür karışımı üzerine, 2 dakika süreyle 500 kg basınç uygulanması **ile karakterize edilen** İstem 18'deki gibi mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi.
- 15
20. İstem 1'deki gibi bir mangan (Mn) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi ile üretilen ve 0.1 Gy ile 10 Gy arasındaki bir radyasyon altında doğrusal doz yanıtına, 10 Gy ile 100 Gy arasındaki bir radyasyon altında süperlineer doz yanıtına ve 100 Gy ile 2 kGy arasındaki bir radyasyon altında ise sublineer doz yanıtına sahip olması **ile karakterize edilen** mangan katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7:Mn$ ) dozimetrik malzemesi.
- 20
21. İstem 3'deki gibi bir neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) üretim yöntemi ile üretilen ve 0.1 Gy ile 2 Gy arasındaki bir radyasyon altında doğrusal doz yanıtına, 2 Gy ile 200 Gy arasındaki bir radyasyon altında süperlineer doz yanıtına ve 200Gy ile 2 kGy arasındaki bir radyasyon altında ise sublineer doz yanıtına sahip olması **ile karakterize edilen** neodimyum katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7:Nd$ ) dozimetrik malzemesi.
- 25

**TARİFNAME****DOZİMETRİK ÖZELLİK GÖSTEREN MANGAN (Mn) VEYA  
NEODİMYUM (Nd) KATKILI MAGNEZYUM BORAT (MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Mn  
VEYA MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Mn) VE ÜRETİM YÖNTEMİ**

5

**Teknik Alan**

Bu buluş, mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılanarak dozimetrik özellik kazandırılan magnezyum boratın (MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) üretimi ve üretilen MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Mn ve MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Nd'nin dozimetrik özelliklerinin Termolüminesans (TL) yöntemi  
10 kullanılarak incelenmesine dayandırılan mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat (MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) üretim yöntemi ile ilgilidir.

**Önceki Teknik**

Canlı bir organizmanın ya da bir malzemenin maruz kaldığı radyasyon dozunun,  
15 doğrudan ya da dolaylı olarak ölçülmesi "Dozimetrik Ölçüm" olarak adlandırılmaktadır. Bir radyasyon dozimetresi; radyasyona maruz kalmayı, **kerma** (kinetic energy released per unit mass) değerini, soğurulan dozu veya eşdeğer dozu veya bunların zamana göre türevlerini veya iyonlaşma radyasyonunun ilgili büyüklüklerini doğrudan veya dolaylı olarak ölçen veya hesaplayan sistem veya  
20 cihazdır. Nesnenin doza maruz kalması durumunda soğurulan doz miktarının ölçülmesi işlemi, dozimetrik sistem (Dozölçer/Dozimetre) kullanılarak deneysel olarak doza ait bir niceliğin değerini bulunması sürecidir. Bu süreçte, örneğin termolüminesans (TL) ölçümü yapılırken dozimetre oda sıcaklığından belirlenen bir sıcaklığa (400-500 °C gibi) belirli adımlarla (örneğin 1-10 °C/s aralığında  
25 adımlarla) ısıtılarak dozimetreden yayılan ışık (foton) foto çoğaltıcı (PMT, photomultiplier tube) bir tüp ile kaydedilir. Kaydedilen bu foton sayımları, o cihaza özgü bir bilgisayar yazılımı ile sıcaklığa karşılık TL ışımaya şiddetinin bir fonksiyonu olan bir grafik olarak çizdirilir. Burada TL ışımaya şiddeti, dozimetrenin soğurduğu radyasyon dozu ile orantılıdır ve bu orantı yolu ile bahsedilen doz  
30 hesaplanıp soğurulan doz olarak belirlenir.

Bir dozimetrenin bir radyasyon dozimetresi olabilmesi için ölçülebilen bir dozimetrik niceliğe sahip olması ve bu dozimetrenin kullanım alanına göre (radyoterapi, diyagnostik radyoloji vb.) kalibre edilmesiyle radyasyon dozimetresi olarak kullanılabilmesi mümkündür. Radyoterapi, diyagnostik radyoloji ve nükleer tıp gibi medikal alanlarda kullanılabilmesi için radyasyon dozimetreleri istenen birkaç karakteristiğe sahip olmalıdır. Buna göre doğruluk ve kesinlik, doğrusallık, doz veya doz oranına bağlı olarak enerji cevabı, doz cevabı, yöne bağlılık, uzaysal çözünürlük arzulanan dozimetrik özelliklerdir. Radyoterapide hem belirlenen bir noktada suda soğurulan dozun ve onun uzaysal dağılımının hem de ilgilenilen hastanın bir organındaki doz hesabının bilinmesi önemlidir. Şüphesiz ki bütün dozimetreler bütün karakteristikleri bir arada sağlayamazlar. Bir radyasyon dozimetresinin seçimi ve onun okuyucusunun ölçüm durumu göz önüne alınarak yapılmalıdır. Örneğin, radyoterapide iyon odaları hüzme kalibrasyonları için önerilir ve diğer dozimetreler doz dağılımı için veya doz doğrulanması için uygundur (Göreceli (relative) dozimetre).

Lüminesans olayı dozimetrik amaçla geniş bir şekilde kullanılmıştır. Bu konu ile ilgili birçok makale ve kitap yayınlanmıştır. Termolüminesans (TL) ve Optiksel Uyarımlı Lüminesans (OSL) dozimetrelerle ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Son yıllarda lüminesans yöntemini kullanarak bor ve bor mineralleri ile ilgili birçok dozimetrik çalışmanın yapılmaya başlanmasıyla bor minerallerinin kullanımı artmış ve bu durum medikal, kişisel, çevresel ve endüstriyel dozimetre üretiminde borun önemini gün geçtikçe arttırmıştır. Bor minerallerinin dozimetre olarak kullanımı da yaygınlaşmıştır. Özellikle TLD-800 olarak bilinen  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$  son yıllarda yapılan araştırmalarda çokça kullanılmaktadır. Ayrıca  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ ,  $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$  ve  $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$  dozimetreleriyle yapılan araştırmalarda elde edilen uygun dozimetrik karakteristikleri veren sonuçlar bor kullanımını teşvik edici yönde bir gelişim göstermiştir.

Prokic (1993), “Yeni Bir TL Dozimetre” başlıklı çalışmasında Mangan Katkılı Magnezyum Boratın ( $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ )  $10^\circ\text{C/s}$  ısıtma hızı ile TL ışımaya tepelerini,

ışığa spektrumunu, TL hassaslığını,  $10^{-4}$  ile  $8 \times 10^3$  Gy doz aralıklarındaki gamma doz yanıtını, doz eşiğini (algılanabilen minimum dozu), 20 keV ile 161 keV aralığındaki foton enerji yanıtını, solma (fading) özelliklerini, yeniden kullanılabilirliğini (reusability) ve farklı laboratuvarlarda ölçümlerdeki benzerliğini test etmiştir.

Kurt, Oliveria, Milliken, Doull, Yukihara (2012), “Cerium ve Lityum Katkılı Magnezyum Borat ( $MgB_4O_7:Ce,Li$ ) Mineralinin Optiksel Uyarılma ile Lüminesans (OSL) Merkezlerinin Belirlenmesi” isimli bildirimlerinde, Ce ve Li Katkılı Magnezyum Borat kristalinin  $^{90}Sr/^{90}Y$  beta kaynağı ile radyasyona maruz bırakıldıktan sonraki OSL yayınımları ve bu yayınımlardan sorumlu olan tuzak merkezlerini belirlemeye çalışmışlardır. OSL yayınımlarına ait ışığa merkezlerini belirlerken adım tavlama yöntemiyle elde edilen Termolüminesans (TL) eğrileri ile OSL yayınımlarının toplam yoğunluğunu karşılaştırarak elde ettikleri sonuçları kullanmışlardır. Elde ettikleri TL ışığa eğrisinde  $95^\circ C$ ,  $125^\circ C$  ve  $250^\circ C$ 'de üç adet TL ışığa tepesi, OSL yayınımları toplam ışığa yoğunluğunun ise  $175^\circ C$ 'ye kadar kararlı olduğunu bu sıcaklıktan sonra hızlı bir düşüşe maruz kaldığını gözlemişlerdir. Elde edilen veriler ışığında,  $95^\circ C$  ve  $125^\circ C$  sıcaklıklarındaki TL tepelerine ait tuzakların OSL yayınımlarına ait katkısının son derece küçük olduğunu, ana katkının  $250^\circ C$ 'deki TL tuzaklarından kaynaklandığını rapor ederek  $MgB_4O_7:Ce,Li$  mineralinin OSL tıbbi dozimetresi olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasını önermişlerdir.

Teknikte bilinen uygulamalardan US2014021411 sayılı Birleşik Devletler patent dokümanında, manganer içerikli lityum tetraborat termolüminesans fosfor ve bunun üretilmesi için bir metottan bahsedilmektedir. Lityum tetraborat, bor oksit ve mangan dioksitin karıştırılması karışımının  $770-840^\circ C$  sıcaklık aralığına kadar ısıtılması ve taban olarak lityum tetraborat ve lüminesans merkezi olarak manganer içeren termolüminesans fosforun elde edilmesi adımlarından oluşmaktadır.

5 Teknikte bilinen uygulamalardan US2011253899 sayılı Birleşik Devletler patent dokümanında, bir dozimetre olarak kullanılmak üzere geliştirilen katmanlı termolüminesans ürünü ve bunun üretiminden bahsedilmektedir. termolüminesans forsför tabakaları taban olarak lityum tetraborat ve lüminesans merkezi olarak manganez içermektedir.

10 Teknikte bilinen uygulamalardan JP2010127930 sayılı Japon patent dokümanında, radyasyonun üç boyutlu olarak dağıtılabilmesi için termolüminesans tabakalar ve bunlardan oluşan yığının oluşturulması metodundan bahsedilmektedir. Bu tabakalar, taban olarak lityum tetraborat ve bu tabanda yer alan manganez ve alüminyum (III) içermektedir.

15 Teknikte bilinen uygulamalardan RU2516655 sayılı Rus patent dokümanında, LiBO tabanlı olarak radyasyon belirlenmesi için kullanılan transparan dokümanında, LiBO tabanlı olarak radyasyon belirlenmesi için kullanılan transparan dokümanında, eşdeğeri (tissue-equivalent) ve bunun üretilmesinden bahsedilmektedir. Bu yöntem; deiyonize su, borik asit, katkı maddesi olarak manganez ve bağlama elemanı olarak kullanılan silisyum dioksitten oluşan başlangıç bileşeninin elemanlarının karıştırılması, karışım sıcaklığının 75-85 °C sıcaklığa yükseltilmesi ve lityum karbonat ve ikincil katkı maddesi olan berilyum ilave edilmesi, 20 olgunlaştırma kurutma ve tavlamanın gerçekleştirilmesi, başlangıç bileşeninin öğütülmesi, parlatılması ve elekten geçirilmesi, basınç altında kalıplanması, kalıplanan yapıların sinterlenmesi adımlarından oluşmaktadır.

25 Teknikte bilinen uygulamalardan DE19637471 sayılı Alman patent dokümanında, polioktenamer ve/veya polistirol bağlayıcı içeren alanin dozimetre materyalinden bahsedilmektedir. Alanin bağlayıcı oranı olarak karışımda ağırlıkça 2:1 oranı tercih edilmektedir. Buluş kapsamında elde edilen dozimetre folyo veya tablet formuna sahiptir.

30

### **Buluşun Kısa Açıklaması**

Buluşun amacı, Mangan (Mn) veya Neodimyum (Nd) katkılanarak dozimetrik özellik kazandırılan Magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) üretilmesi ve üretilen bu malzemenin dozimetrik özelliklerinin Termoluminesans (TL) yöntemiyle ayrıntılı olarak tanımlanmasıdır.

Buluşun bir diğer amacı,  $MgB_4O_7:Mn$  ve  $MgB_4O_7:Nd$ 'nin toz olarak üretilmesinin yanı sıra kullanıcılar açısından daha ergonomik olan tablet olarak da üretim yönteminin gerçekleştirilmesi ve dozimetrik özelliklerinin ayrı ayrı tanımlanmasıdır.

Bu buluşun bir diğer amacı, belirgin, düşük dozlara duyarlı ve yüksek şiddetli bir TL ışımaya tepesinin elde edilebildiği  $MgB_4O_7:Mn$  ve  $MgB_4O_7:Nd$  dozimetrik malzemelerinin üretilmesidir.

Buluşun bir diğer amacı, radyoterapi, diyagnostik radyoloji ve nükleer tıp alanlarında medikal amaçlı kullanılacak  $MgB_4O_7:Mn$  ve  $MgB_4O_7:Nd$  toz ve tablet dozimetrik malzemelerinin üretilmesi ve TL yöntemi kullanılarak bu dozimetrik özelliklerin detaylı olarak belirlenmesidir.

### **Buluşun Ayrıntılı Açıklaması**

Bu buluşun amacına ulaşmak için gerçekleştirilen “Dozimetrik özellik gösteren mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7:Mn$  veya  $MgB_4O_7:Nd$ ) ve üretim yöntemi” ekli şekillerde gösterilmiş olup; bu şekillerden:

Şekil 1 – Magnezyum borata ağırlıkça %0.5 oranında Mn katkılanmasıyla elde edilen  $MgB_4O_7:Mn$  dozimetrik malzemesinin oda sıcaklığında elde edilen x-ışını toz kırınım (XRD) desenlerinin ve uluslararası standart XRD toz desenlerinin grafiksel gösterimidir.

Şekil 2 – Magnezyum borata ağırlıkça %0.5 oranında Nd katkılanmasıyla elde edilen  $MgB_4O_7:Nd$  dozimetrik malzemesinin oda sıcaklığında elde

edilen x-ışını toz kırınım (XRD) desenlerinin ve uluslararası standart XRD toz desenlerinin grafiksel gösterimidir.

- 5 Şekil 3 –  $MgB_4O_7:Mn$  örneklerine ait Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskopu (FE-SEM) (a) 50.000 kat yakınlaştırılmış (b) 10.000 kat yakınlaştırılmış görüntüleridir.
- Şekil 4 –  $MgB_4O_7:Nd$  örneklerine ait Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskopu (FE-SEM) (a) 50.000 kat yakınlaştırılmış (b) 10.000 kat yakınlaştırılmış görüntüleridir.
- 10 Şekil 5 – Ağırlıkça %0.5 mangan (Mn) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) termogravimetrik analiz (TGA)/Diferansiyel tarayıcı kalorimetre (DSC) eğrilerinin grafiksel gösterimidir.
- Şekil 6 – Ağırlıkça %0.5 neodimyum (Nd) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) Termogravimetrik analiz (TGA)/Diferansiyel tarayıcı kalorimetre (DSC) eğrilerinin grafiksel gösterimidir.
- 15 Şekil 7 – Ağırlıkça %0.5 mangan (Mn) katkılı, (a) toz (b) tablet magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) termolüminesans (TL) ışımaya eğrisinin grafiksel gösterimidir.
- Şekil 8 – Ağırlıkça %0.5 neodimyum (Nd) katkılı, (a) toz (b) tablet magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) termolüminesans (TL) ışımaya eğrisinin grafiksel gösterimidir.
- 20 Şekil 9 – Ağırlıkça %0.5 mangan (Mn) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) farklı ısıtma hızlarıyla ölçülen termolüminesans (TL) ışımaya eğrilerinin grafiksel gösterimidir.
- Şekil 10 – Ağırlıkça %0.5 neodimyum (Nd) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) farklı ısıtma hızlarıyla ölçülen termolüminesans (TL) ışımaya eğrilerinin grafiksel gösterimidir.
- 25 Şekil 11 – Ağırlıkça %0.5 mangan (Mn) katkılı, (a) toz (b) tablet magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) yeniden kullanılabilirliğinin grafiksel gösterimidir.

- Şekil 12 –Ağırlıkça %0.5 neodimyum (Nd) katkılı, (a) toz (b) tablet magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) yeniden kullanılabilirliğinin grafiksel gösterimidir.
- 5 Şekil 13 –Ağırlıkça %0.5 mangan (Mn) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) doz cevap eğrilerinin grafiksel gösterimidir.
- Şekil 14 –Ağırlıkça %0.5 neodimyum (Nd) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) doz cevap eğrilerinin grafiksel gösterimidir.
- Şekil 15 –Ağırlıkça %0.5 mangan (Mn) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) doz cevap eğrilerinin TLD-100'ün (LiF:Mg,Ti) doz cevap eğrileriyle karşılaştırılmasının grafiksel gösterimidir.
- 10 Şekil 16 –Ağırlıkça %0.5 neodimyum (Nd) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) doz cevap eğrilerinin TLD-100'ün (LiF:Mg,Ti) doz cevap eğrileriyle karşılaştırılmasının grafiksel gösterimidir.
- Şekil 17 –Ağırlıkça %0.5 mangan (Mn) katkılı, (a) toz (b) tablet magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ), TL şiddeti sönüm değerinin grafiksel gösterimidir.
- 15 Şekil 18 –Ağırlıkça %0.5 neodimyum (Nd) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ), TL şiddeti sönüm değerinin grafiksel gösterimidir.
- Şekil 19 –Ağırlıkça %0.5 (a) mangan (Mn) ve (b) neodimyum (Nd) katkılı, farklı enerjilerdeki elektron ve fotonlarla ışınlanmış magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) termoluminesans (TL) ışımaya eğrilerinin grafiksel gösterimidir.
- 20 Şekil 20 –Ağırlıkça %0.5 mangan (Mn) ve neodimyum (Nd) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) elektron ve foton enerji cevap eğrilerinin TLD-100'ün (LiF:Mg,Ti) enerji cevap eğrileriyle karşılaştırılmasının grafiksel gösterimidir
- 25

Şekillerdeki parçalar numaralandırılmış olup karşılıkları aşağıda verilmiştir:

- 1a.  $MgB_4O_7$ :Mn ölçülen XRD Spektrumu
- 30 1b.  $MgB_4O_7$  ICSD-00-017-0927
- 2a.  $MgB_4O_7$ :Nd ölçülen XRD Spektrumu

2b. MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> ICSD-00-017-0927

5a. MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Mn Termogravimetrik Analiz (TGA) eğrisi

5b. MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Mn Diferansiyel Tarayıcı Kalorimetre (DSC) eğrisi

6a. MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Nd Termogravimetrik Analiz (TGA) eğrisi

5 6b. MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Nd Diferansiyel Tarayıcı Kalorimetre (DSC) eğrisi

13a. Lineer

13b. Superlineer

13c. Sublineer

14a. Lineer

10 14b. Superlineer

14c. Sublineer

Radyoterapi, diyagnostik radyoloji ve nükleer tıp gibi medikal alanlarda kullanılmak üzere geliştirilen ve belirgin, düşük dozlara duyarlı ve yüksek şiddetli termoluminesans (TL) ışımaya tepesinin elde edilmesini sağlayan buluş konusu Mangan (Mn) veya Neodimyum (Nd) katkılı MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> ;

- 15
- Bir beher içindeki saf su içerisine borik asit ilave edilmesi,
  - Karışımın bulunduğu beherin ısıtıcı ve manyetik karıştırıcı bir tabla üzerine yerleştirilmesi,
- 20
- Karışımın sabit sıcaklıkta karıştırılması ile borik asit çözeltisinin elde edilmesi,
  - Farklı bir beher içerisinde, magnezyum nitrat, üre ve katılacak olan Mangan veya Neodimyum malzemenin (mangan nitrat veya neodimyum nitrat) saf su içerisinde çözündürülmesi,
- 25
- Oluşturulan bu çözelti içerisine borik asit çözeltisinin ilave edilmesi,
  - Karışımın tabla üzerine yerleştirilerek reaksiyon sıcaklığına kadar ısıtılması ve tepkimelerin tamamlanması için reaksiyon sıcaklığında tutulması,
  - Karışım sıcaklığı yükseltilerek karışım içerisindeki suyun tümüyle buharlaştırılması,
- 30

- Suyun uzaklaştırılması sonucunda elde edilen hafif strafor görünümlü yapı ile Mangan veya Neodimyum katkılı  $MgB_4O_7$  olan beyaz tozun agat havanda öğütülerek birbirine karıştırılması,
- Karışımın porselen krozeler içerisine boşaltılarak, krozelerin oda sıcaklığındaki yüksek tavlama fırınına yerleştirilmesi,
- Fırın sıcaklığının  $900\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklığa yükseltilerek bu sıcaklıkta tutulması,
- Fırın sıcaklığının düşmesinin beklenmesi,
- Nihai ürün olan Mangan veya Neodimyum katkılı  $MgB_4O_7$  toz dozimetrik malzemesi üretilmesi adımlarından oluşmaktadır.

10

Buluş konusu Neodimyum ve Mangan katkılı magnezyum boratın daha ergonomik olması amacıyla tablet formuna getirilmesi işlemi,

- Toz formunda üretilen dozimetrik malzemeye ağırlıkça eşit miktarda potasyum bromür ilave edilmesi,
- Karışımın agat havanda öğütülerek karıştırılması,
- Oluşturulan homojen karışımın kalıplar içerisine boşaltılması,
- Kalıpların üzerinde basınç uygulanması adımlarından oluşmaktadır.

20 Buluşta TL dozimetre özelliği gösteren  $MgB_4O_7$ 'a çözelti yanma sentezi (Solution Combustion Synthesis, SCS) yöntemiyle mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılanması ve üretilen malzemelerin daha ergonomik olması açısından tablet olarak üretilmeleri amaçlanmaktadır.

25 Mangan (Mn) katkılama işleminin gerçekleştirilmesi için Sigma-Aldrich marka %99.999 saflıkta magnezyum nitrattan ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) 2.6164-7.8491 gram aralığında, %99.999 saflıkta borik asitten ( $H_3BO_3$ ) 3.3558-10.0673 gram aralığında, üreden ( $CH_4N_2O$ ) 1.0214-3.0642 gram aralığında ve %99 saflıkta mangan nitrattan ( $Mn(NO_3)_2 \cdot xH_2O$ ) 0.0090-0.0269 gram aralığında kullanılmaktadır.

30

Neodimyum (Nd) katkılama işleminin gerçekleştirilmesi için Sigma-Aldrich marka %99.999 saflıkta magnezyum nitrattan ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) 2.6164-7.8491 gram aralığında, %99.999 saflıkta borik asitten ( $H_3BO_3$ ) 3.3558-10.0673 gram aralığında, üreden ( $CH_4N_2O$ ) 1.0214-3.0642 gram aralığında ve %99 saflıkta neodimyum nitrattan ( $Nd(NO_3)_3$ ) 0.0219-0.0658 gram aralığında kullanılmaktadır.

90-110 °C aralığındaki sıcaklıkta tutulan ısıtıcı ve manyetik karıştırıcı tabla üzerinde 45-55 ml aralığındaki saf su içerisinde borik asit çözeltisi oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu çözelti farklı bir beher içerisinde 45-55 ml aralığındaki saf suda çözülmüş olan magnezyum nitrat, üre ve katılacak malzemeye göre mangan nitrat veya neodimyum nitrat çözeltisi ile karıştırılarak tabla sıcaklığı 345-375 °C aralığındaki bir sıcaklığa çıkarılmaktadır. Hazırlanan bu çözelti 345-375 °C'lik bu sıcaklık aralığında, katkılamanın oluşması için gerekli kimyasal tepkimelerin (çözelti yanma sentezi, Solution Combustion Synthesis, SCS) oluşması ve çözelti suyunun bir kısmının buharlaşıp karışım koyu bir görünüm alana kadar tercihen 35-45 dakika aralığında tutulmakta ve daha sonra tabla 480-520 °C aralığında bir sıcaklığa ayarlanarak sıcaklık arttırılmaya başlanmaktadır. Tabla sıcaklığı 480-520 °C aralığına geldiğinde ise çözeltinin suyu tamamen buharlaşıncaya kadar (beher içerisinde tamamen kuru bir malzeme gözlenene kadar) beklenmektedir. Çözeltinin suyunun buharlaşması ile birlikte bir kısmı hafif strafor görünümünde bir kısmı ise tamamen beyaz toz görünümünde heterojen bir malzeme elde edilmektedir. Elde edilen hafif strafor ve beyaz toz görünümdeki katkı  $MgB_4O_7$  homojen bir karışım elde etmek amacıyla agat havanda öğütülerek karıştırılmaktadır.

25

Dozimetrik malzemenin toz olarak üretimi için öncelikle elde edilen karışım oda sıcaklığındaki yüksek sıcaklık tavlama fırınına porselen krezeler içinde konarak, fırın iç sıcaklığı oda sıcaklığından tercihen 3 saat içerisinde 850-950 °C aralığına çıkarılmaktadır. Fırın iç sıcaklığı 850-950 °C sıcaklık aralığına ulaştıktan sonra porselen krezeler içerisindeki malzemeler bu sıcaklıkta 1-3 saat aralığında bekletilmektedir. Bu 1-3 saat aralığındaki sürenin sonunda fırın iç sıcaklığı 45-55

°C sıcaklık aralığına düşene kadar beklenmektedir. Bu yolla Mn veya Nd katkılı  $MgB_4O_7$  toz dozimetrik malzemesi üretilmektedir.

5 Dozimetrik malzemenin tablet olarak elde edilmesi için üretilen toz malzemeden tercihen 8-12 miligram aralığında ve potasyum bromürden 8-12 miligram aralığında karıştırılıp homojen bir karışım elde edilmesi amacıyla agat havanda karıştırılmaktadır. Elde edilen bu karışım 3 mm yarıçapında olacak şekilde bir kalıba konulup 0.2-0.3 mm aralığındaki bir kalınlıkta tablet elde etmek üzere 10 tercihen 475-525 kg aralığındaki bir basınç 1-3 dakika aralığında bir süre uygulanmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda nihai olarak toz ve tablet olarak üretilen mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum borat ( $MgB_4O_7$ ) dozimetrik malzemeleri farklı porselen krozelere konarak tercihen 475-525 °C sıcaklık 15 aralığında 40-60 dakika aralığında süreyle tavlansak kullanıma hazır hale getirilmektedir.

Çözelti yanma sentezi (Solution Combustion Synthesis, SCS) yöntemiyle elde edilen mangan (Mn) veya neodimyum (Nd) katkılı magnezyum boratın ( $MgB_4O_7$ ) 20 karakterizasyonu x-ışını toz kırınım (XRD), alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) ve termogravimetrik analiz (TGA)/diferansiyel tarayıcı kalorimetre (DSC) analiz yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir.

10°<2θ<70° aralığında yapılan XRD ölçümlerinde ışın kaynağı Cu-Kα<sub>1</sub> olan x- 25 ışını kırınım, SEM görüntülerinin elde edilmesi için alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu ve TGA/DSC analizi içinse oda sıcaklığından 900 °C'ye kadar yapılan ısıtma işlemleriyle termogravimetrik analiz /diferansiyel tarayıcı kalorimetre cihazlarıyla yapılmaktadır.

30 Mn veya Nd katkılı  $MgB_4O_7$  örneklerinin dozimetrik özellikleri, TL dozimetre okuyucu ile tespit edilerek karakteristik ışım tepeleri belirlenmektedir.

Dozimetrik malzemeler ışınlanmadan önce TL dozimetre okuyucu ile ölçüm alınarak fon (background) sinyalleri belirlenmektedir. Daha sonra dozimetrik özelliklerin belirlenmesi için gerekli olan ışınlama işlemleri  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  Beta ( $\beta$ ) kaynağı ile farklı doz değerleri için yapılmaktadır. TL ölçümleri 2 °C/s'lik

5 doğrusal ısıtma hızıyla toz ve tablet örneklerin oda sıcaklığından 450 °C'ye kadar ısıtılmasıyla yapılmaktadır.

5 Gray (Gy)'lik beta ( $\beta$ ) dozu ile ışınlanmış  $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$  toz örneklerinin Şekil 8.a'da, tablet örneklerinin ise Şekil 8.b'de TL ışınma eğrileri verilmektedir. Toz

10 örnekler 70, 165, 285 ve 370 °C civarlarında temiz ve ait olduğu elektron tuzağını tam olarak tanımlayan (karakteristik) TL ışınma tepeleri vermektedir. Karakteristik TL ışınma tepesi o malzemenin kristal yapısında mevcut olan bir kristal kusurundan (elektron tuzağı) kaynaklı olarak meydana gelen bir tepedir. Bu tepe radyasyona maruz kalan malzemenin ısıtılması yoluyla o elektron tuzağında

15 yakalanan elektronların tuzaklardan kurtularak yeniden birleşme merkezinde foton salması sonucu kaydedilen ışıkla o tuzağı karakterize etmektedir. Bu nedenle karakteristik TL tepesi olarak adlandırılmaktadır. Tablet örnekler içinse 190 °C civarında düşük ve 285 °C civarında yüksek şiddetli temiz ve belirgin karakteristik TL ışınma tepeleri vermektedir.

20

5 Gy'lik  $\beta$  dozu ile ışınlanmış  $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Nd}$  toz örneklerinin Şekil 9.a'da, tablet örneklerinin ise Şekil 9.b'de TL ışınma eğrileri verilmektedir. Hem toz hem de tablet örnekler 175 ve 315 °C civarlarında temiz ve belirgin karakteristik TL ışınma tepeleri vermektedir.

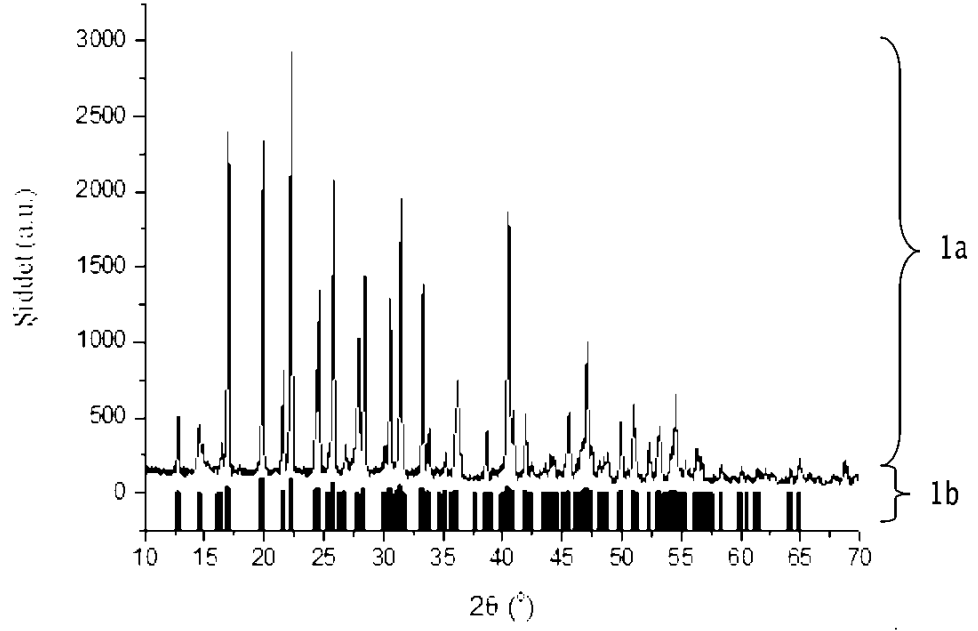
25

Şekil 10 ve Şekil 11'de Mn veya Nd katkılı  $\text{MgB}_4\text{O}_7$  dozimetrik malzemelerine ait TL ışınma tepelerinin yüksek sıcaklıklara doğru kaydıkları ve ısıtma hızı arttıkça tepe yükseklikleriyle eğri altında kalan alanların ısıl sönüm etkisiyle azaldığı görülmektedir.

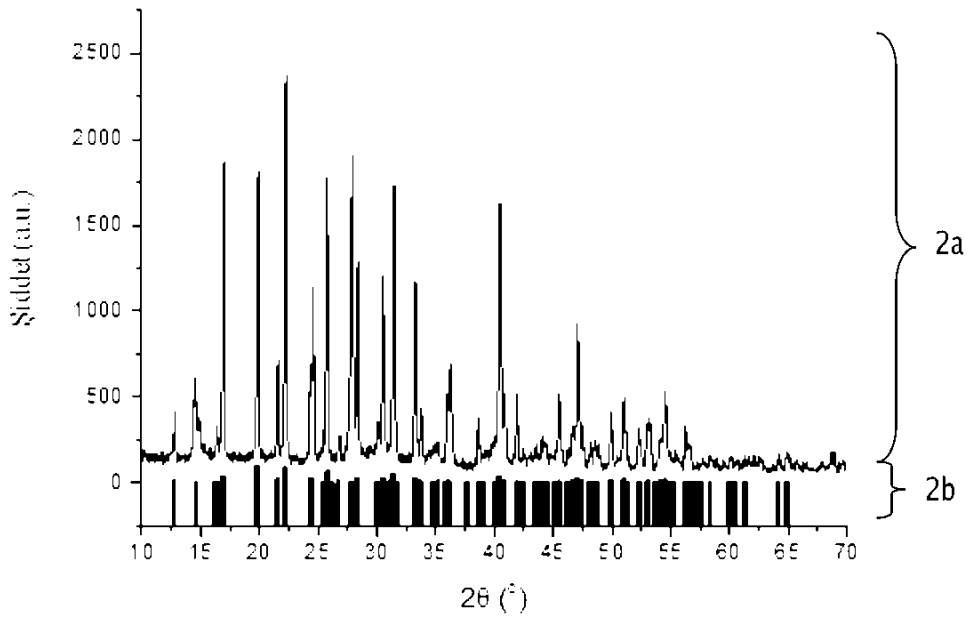
30

Şekil 12 ve Şekil 13'te Mn veya Nd katkı  $MgB_4O_7$  toz ve tablet örneklerinin tekrar kullanılabilir oldukları ve ölçümler arasındaki sapmaların bir dozimetrik malzeme için kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.

- 5 Şekil 14'te  $MgB_4O_7:Mn$  dozimetrik malzemesinin 0.1 Gy ile 10 Gy arasında doğrusal doz yanıtına ( $g(D)=1$ ), 10 Gy ile 100 Gy arasında süper lineer doz yanıtına ( $g(D)>1$ ) ve 100Gy ile 2 kGy arasında ise sublineer doz yanıtına sahip olduğu görülmektedir.
- 10 Şekil 15'te  $MgB_4O_7:Nd$  dozimetrik malzemesinin 0.1 Gy ile 2 Gy arasında doğrusal doz yanıtına ( $g(D)=1$ ), 2 Gy ile 200 Gy arasında süper lineer doz yanıtına ( $g(D)>1$ ) ve 200Gy ile 2 kGy arasında ise sublineer doz yanıtına sahip olduğu görülmektedir.
- 15 Şekil 18 ve 19'da  $MgB_4O_7:Mn$  ve  $MgB_4O_7:Nd$  toz ve tablet örneklerinin 2 Gy  $\beta$  dozuyla ışınlanıp oda sıcaklığında ve karanlık bir ortamda bekletilmesiyle elde edilen zamana bağlı sönümleri görülmektedir.
- 20 Şekil 20 ve 21'de  $MgB_4O_7:Mn$  ve  $MgB_4O_7:Nd$  dozimetrik malzemesinin farklı enerjilere sahip elektronlar (6, 9 ve 18 MeV) ve farklı enerjilere sahip fotonlar (6 ve 18 MeV) için verdiği doz yanıtlarının hata sınırları içerisinde benzer olduğu böylece iyonlaşma radyasyonunun kaynağı elektronlar veya fotonlar olduğunda enerji bağımlılığının olmadığı görülmektedir.
- 25 Mn katkı  $MgB_4O_7$ 'ın doğrusal doz cevabı verdiği 0.1 Gy ile 10 Gy aralığı ve benzer şekilde Nd katkı  $MgB_4O_7$ 'ın doğrusal doz cevabı verdiği 0.1 Gy ile 2 Gy aralığı da medikal amaçlı kullanılan dozimetrelerin (radyoterapi, diyagnostik radyoloji ve nükleer tıp) kullandıkları doz ölçüm aralığında olduğundan bu dozimetrik malzemelerin medikal amaçlı dozimetre uygulamalarında kullanılabilir
- 30 oldukları söylenilebilir.

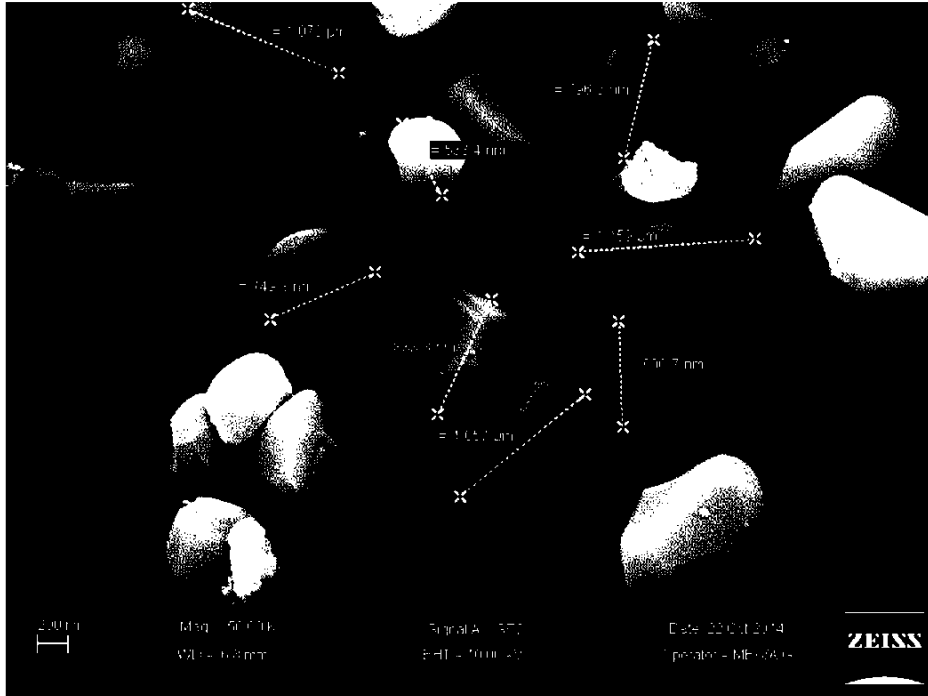


Şekil 1



Şekil 2



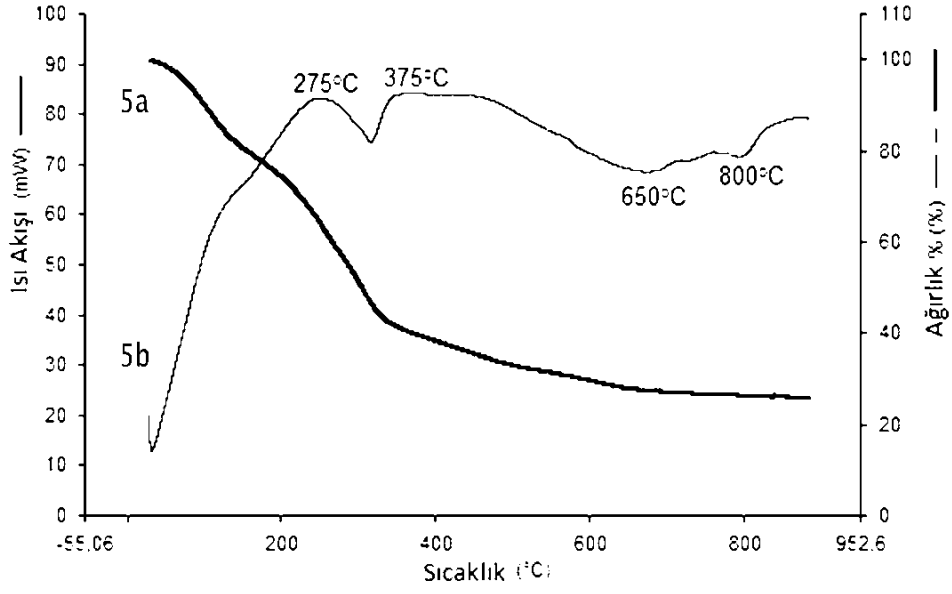


(a)

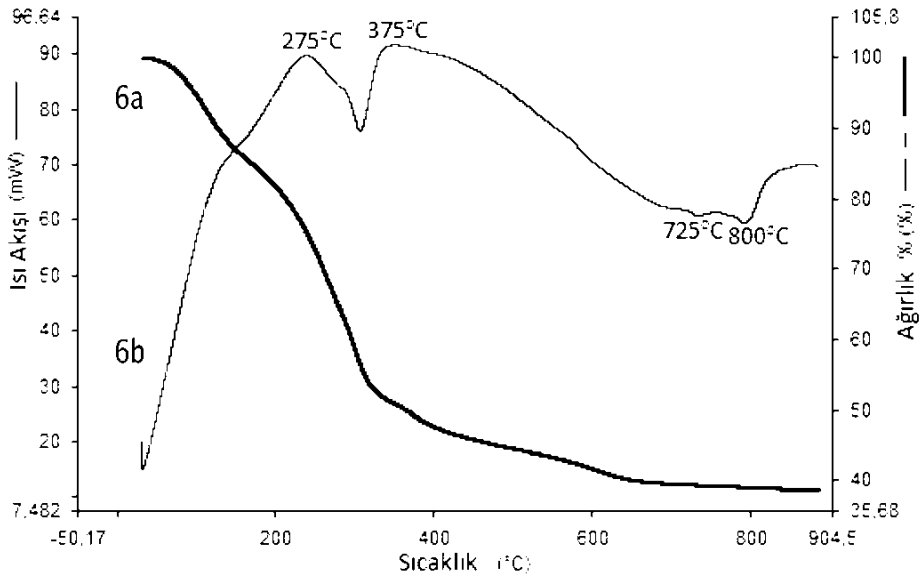


(b)

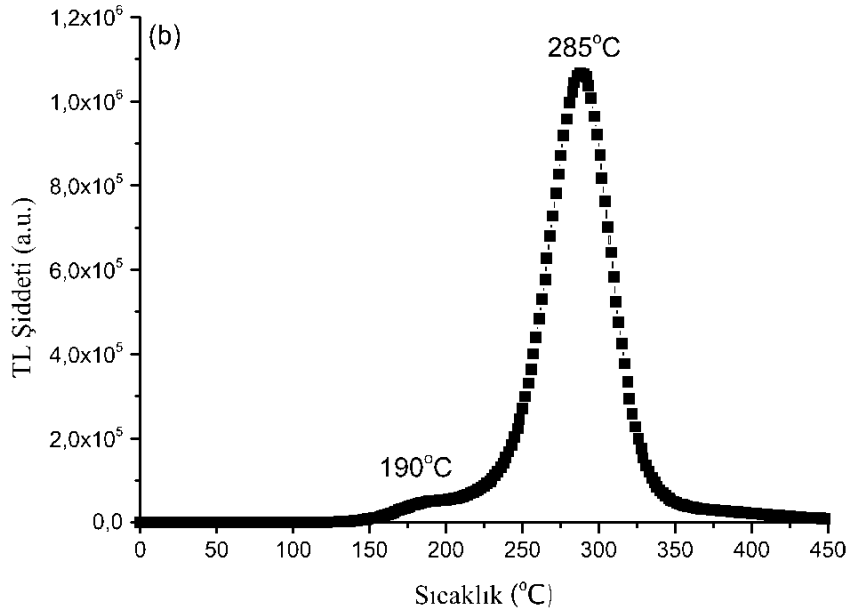
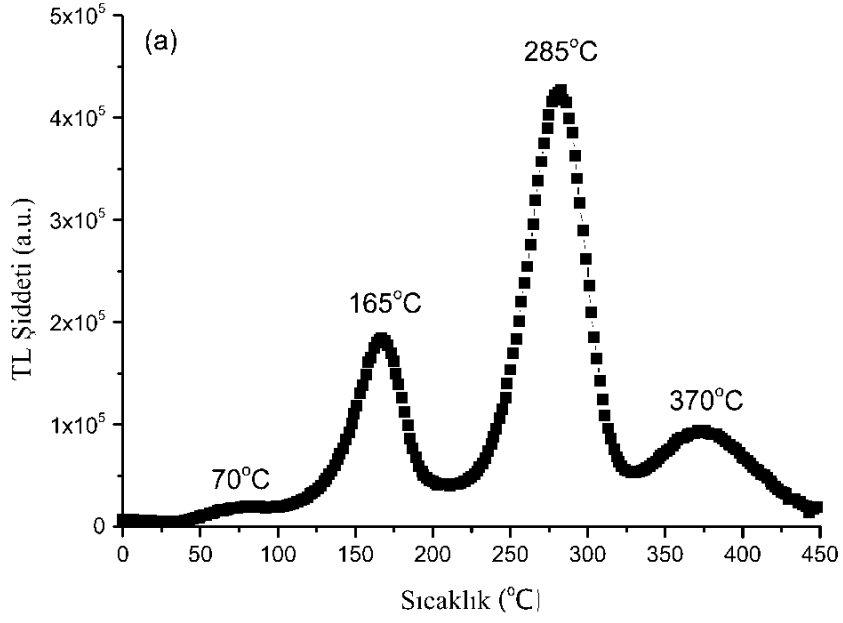
Şekil 4



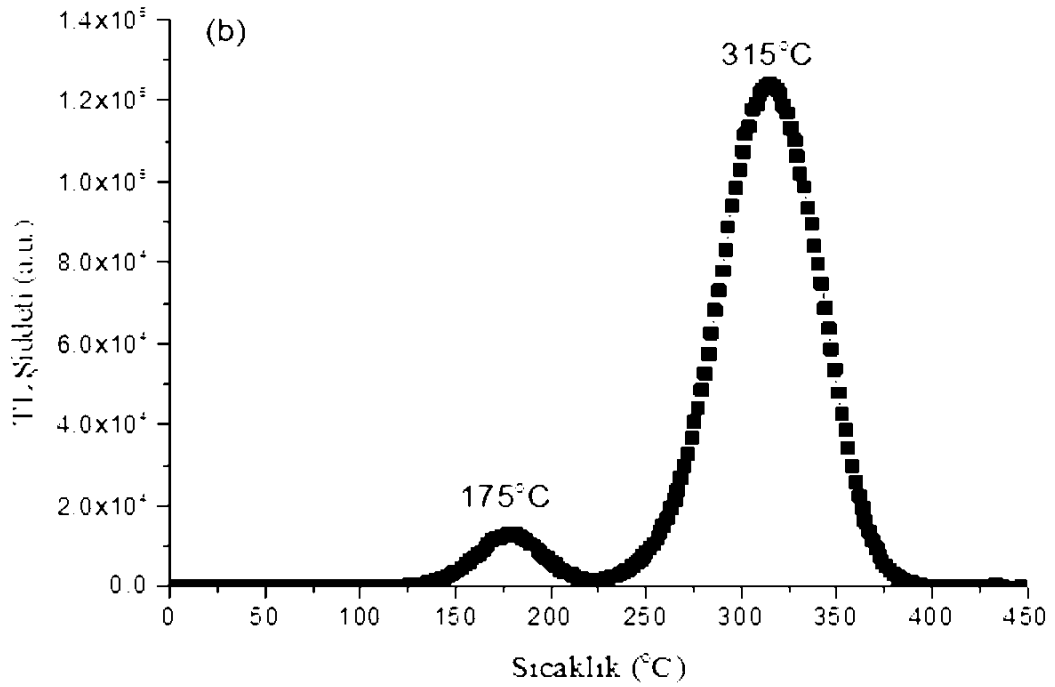
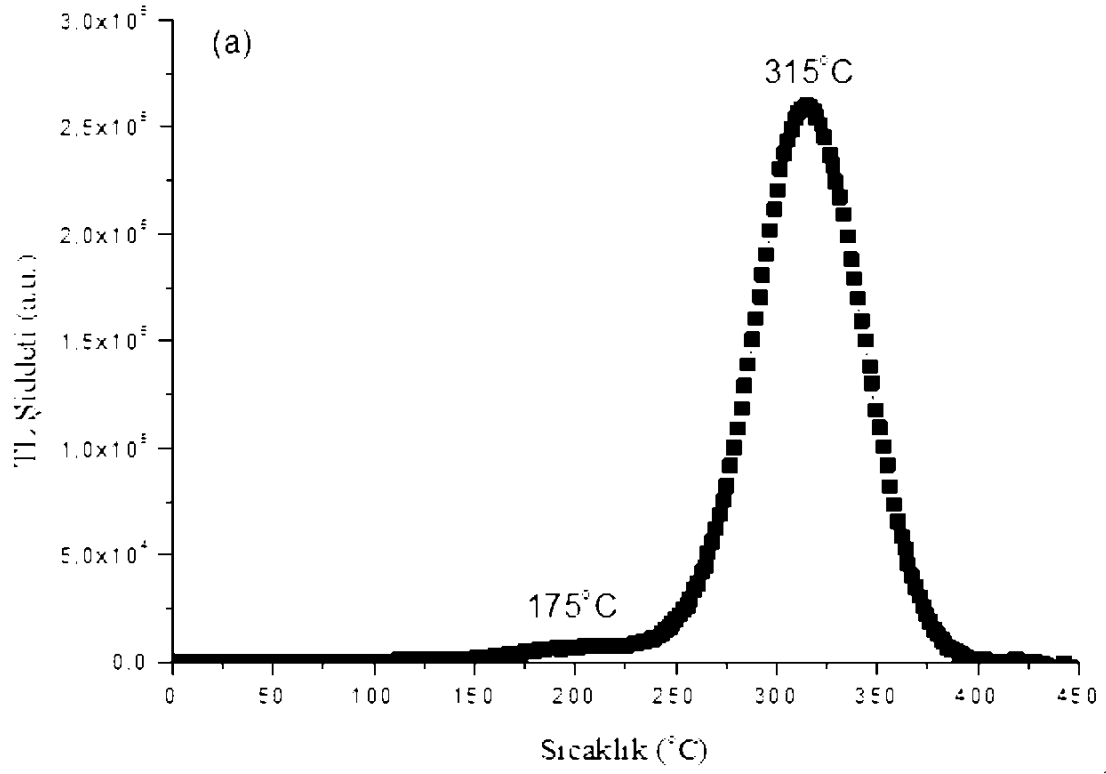
Şekil 5



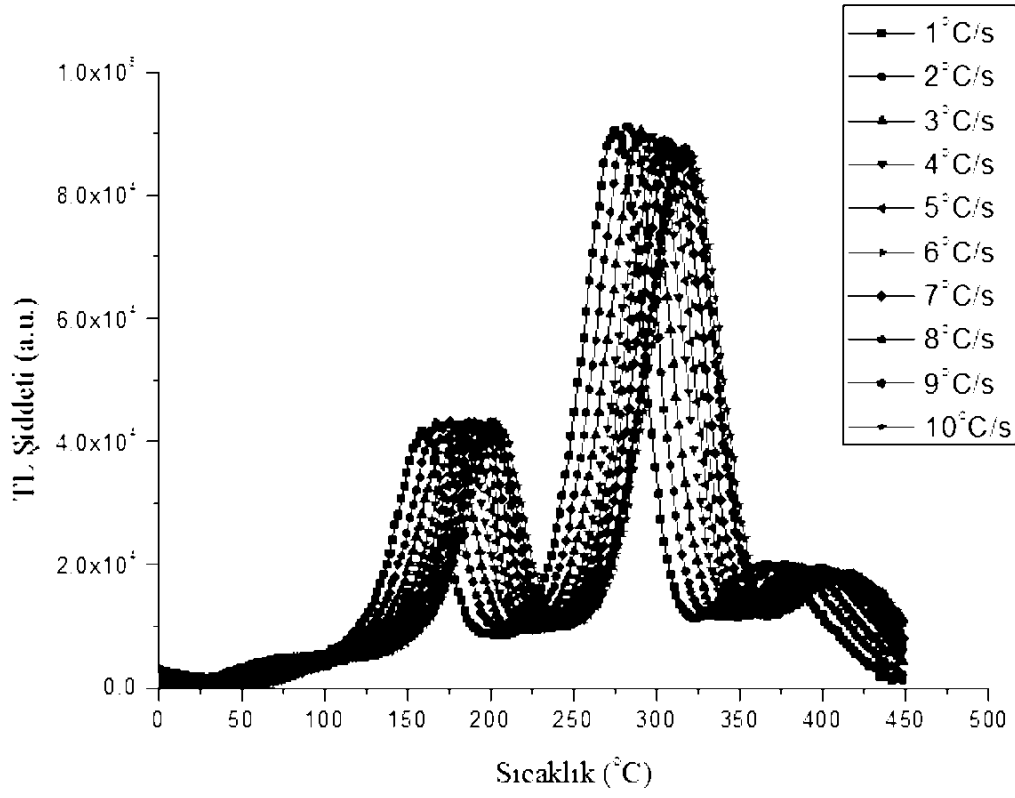
Şekil 6



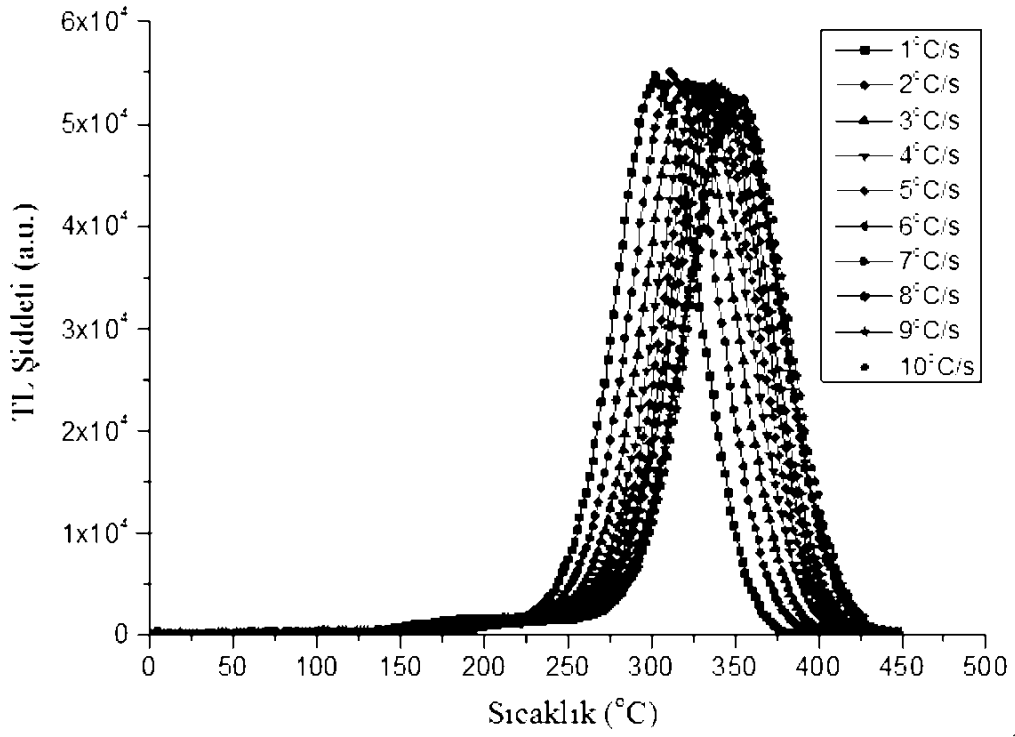
Şekil 7



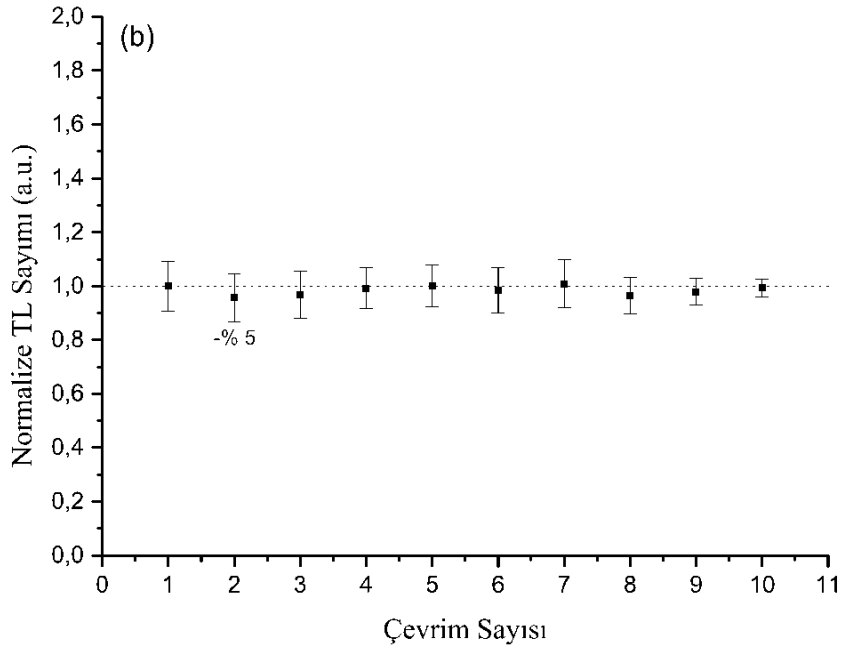
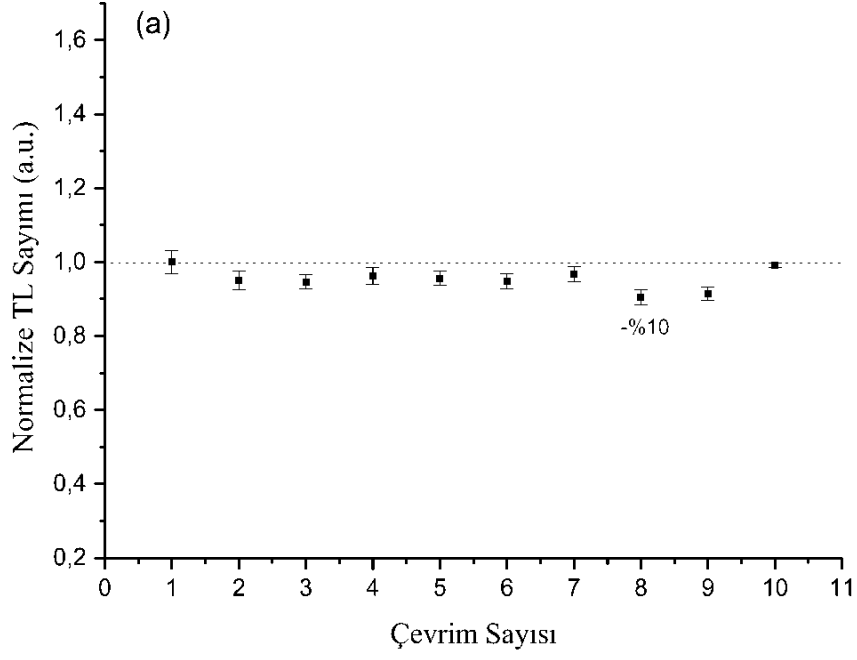
Şekil 8



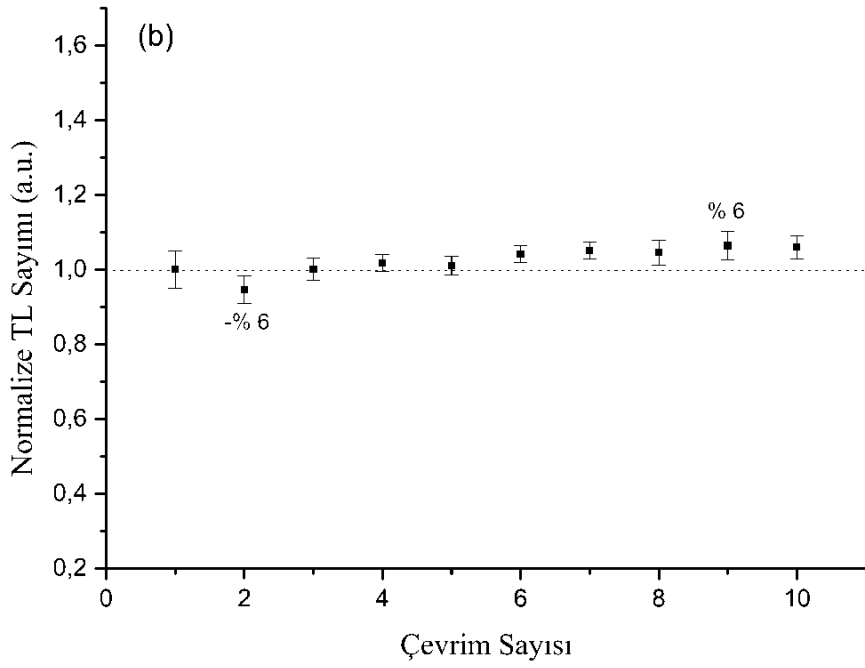
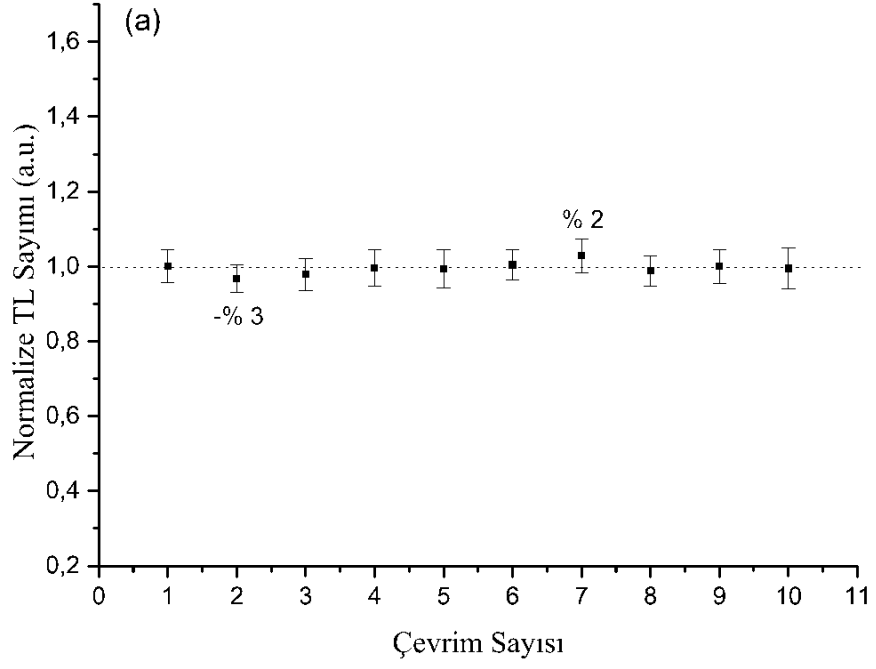
Şekil 9



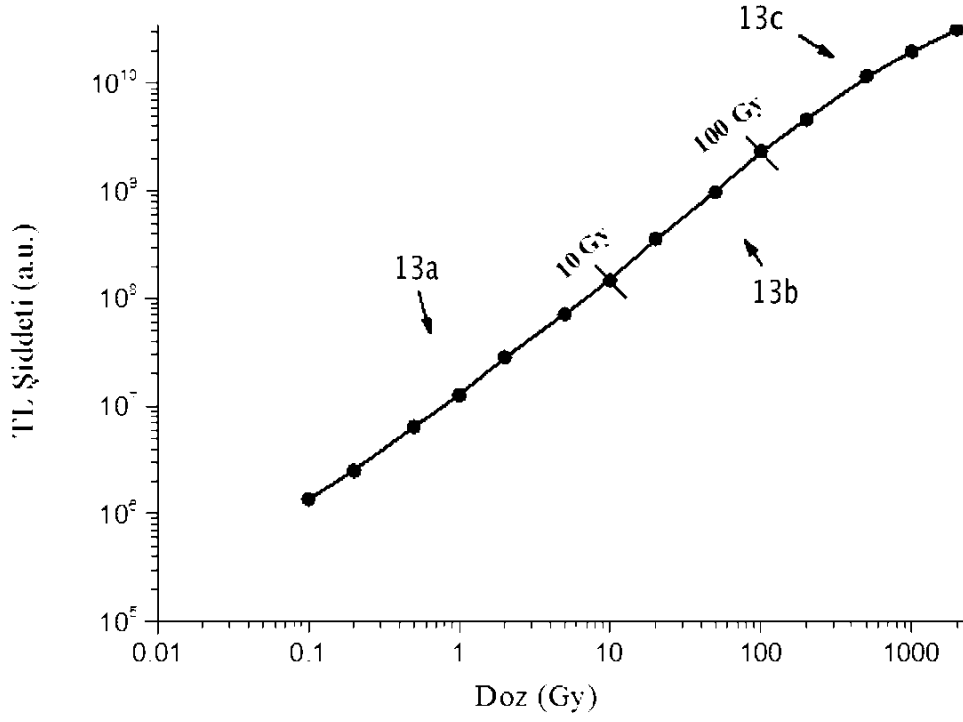
Şekil 10



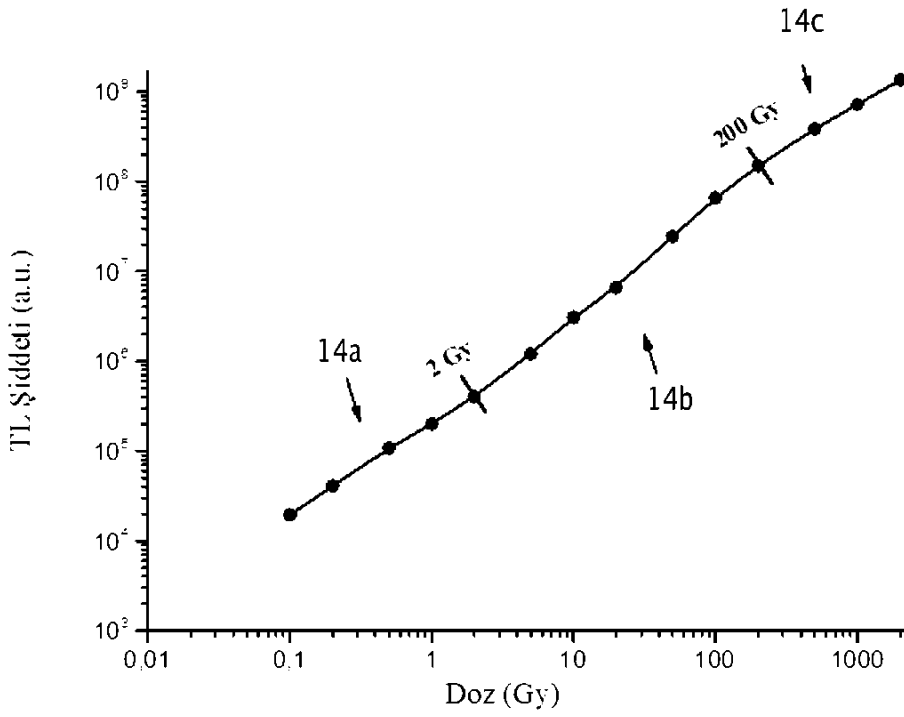
Şekil 11



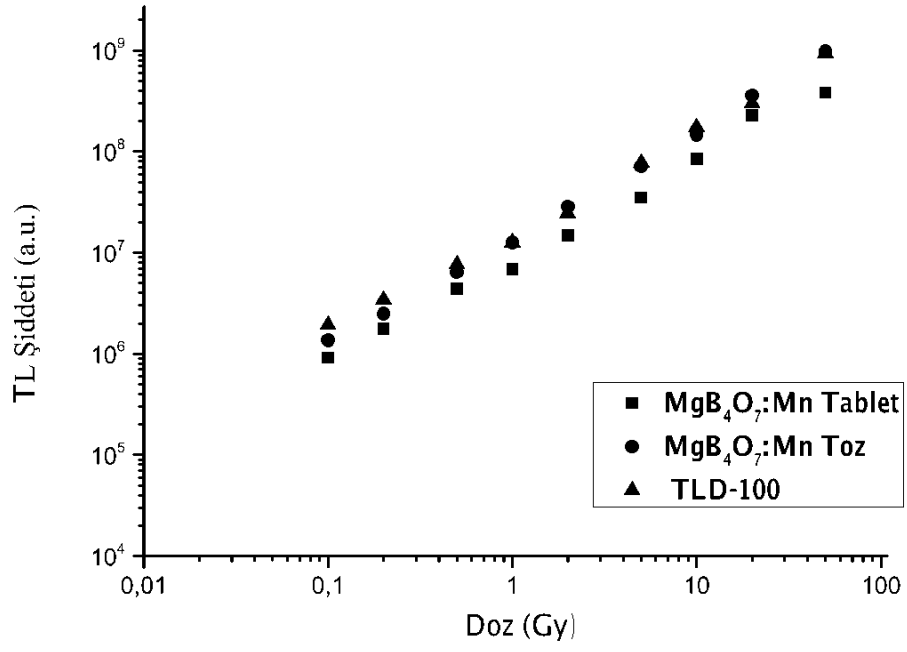
Şekil 12



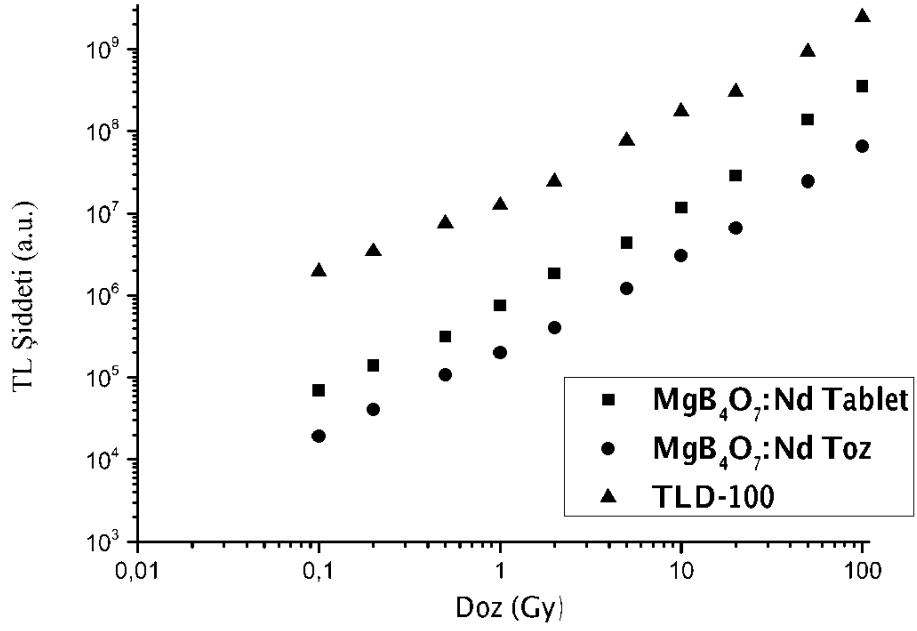
Şekil 13



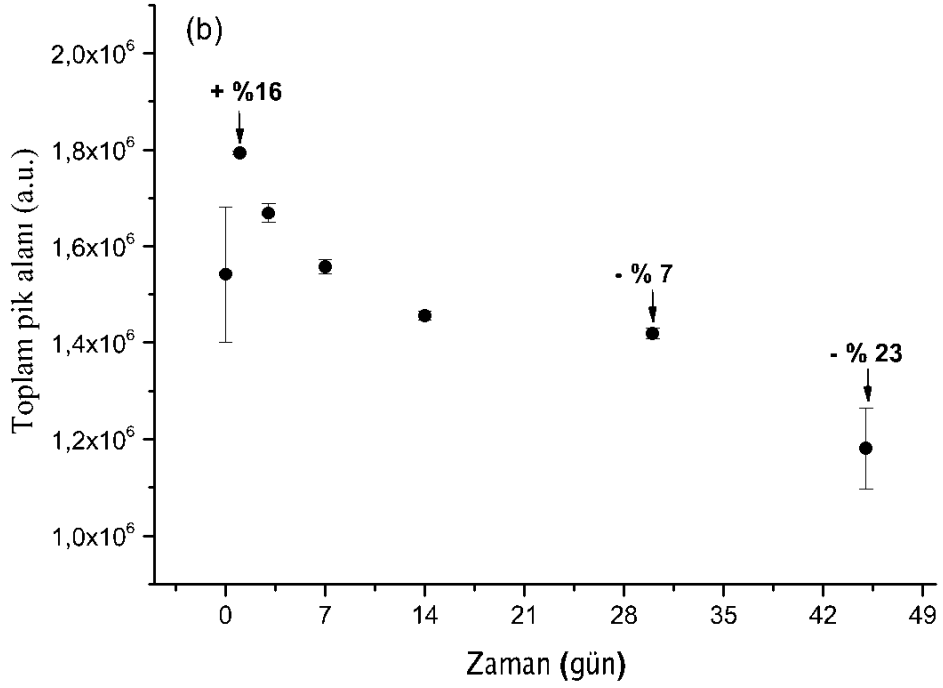
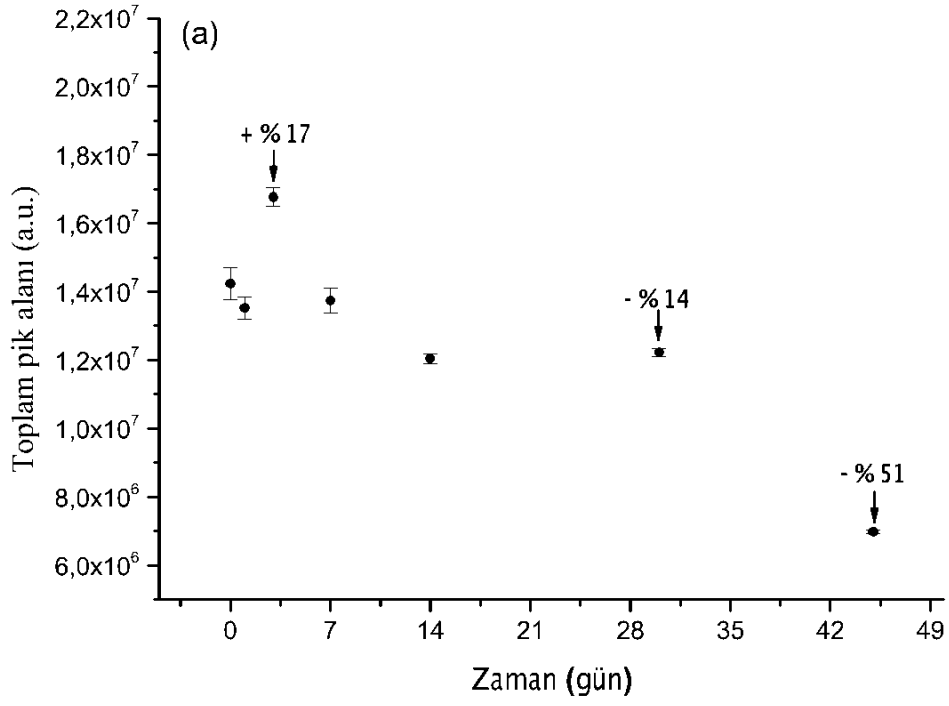
Şekil 14



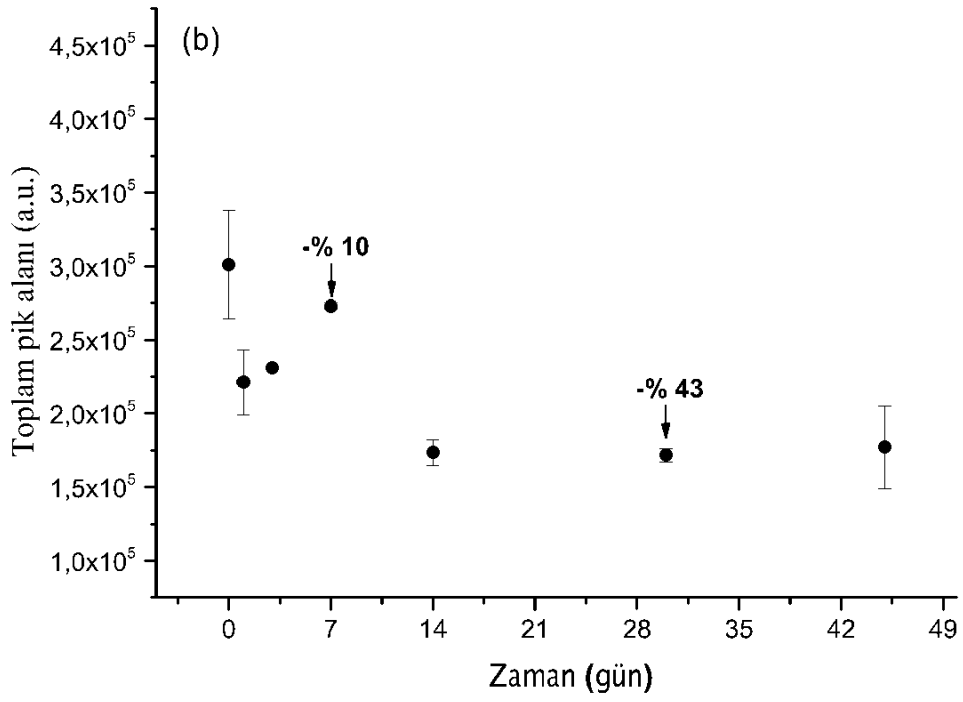
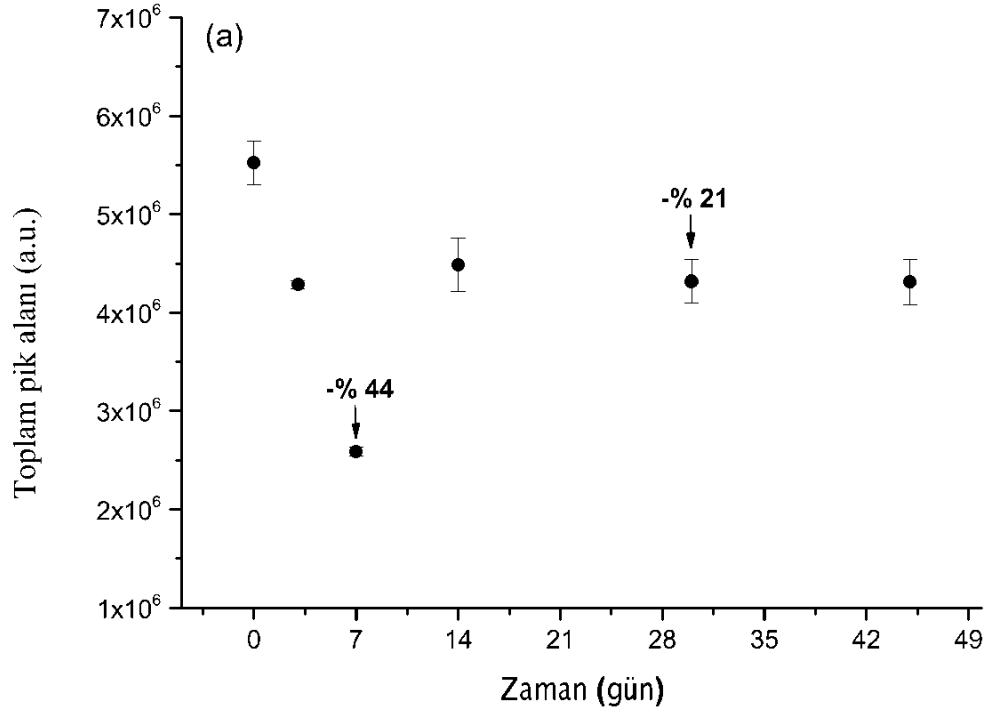
Şekil 15



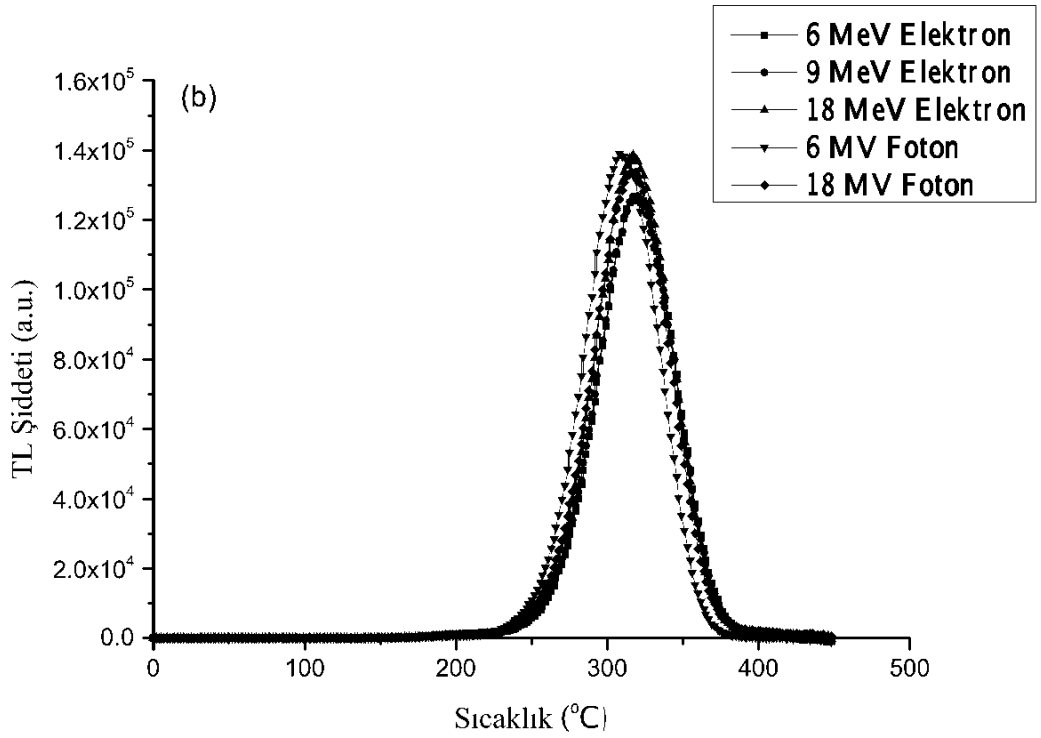
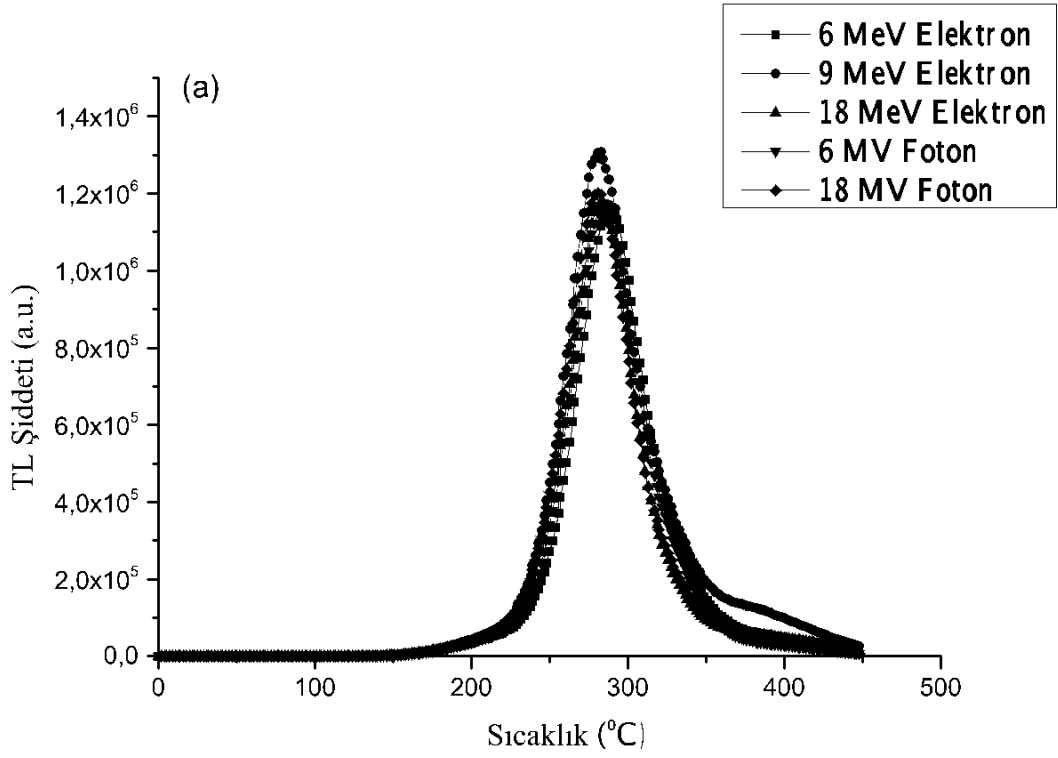
Şekil 16



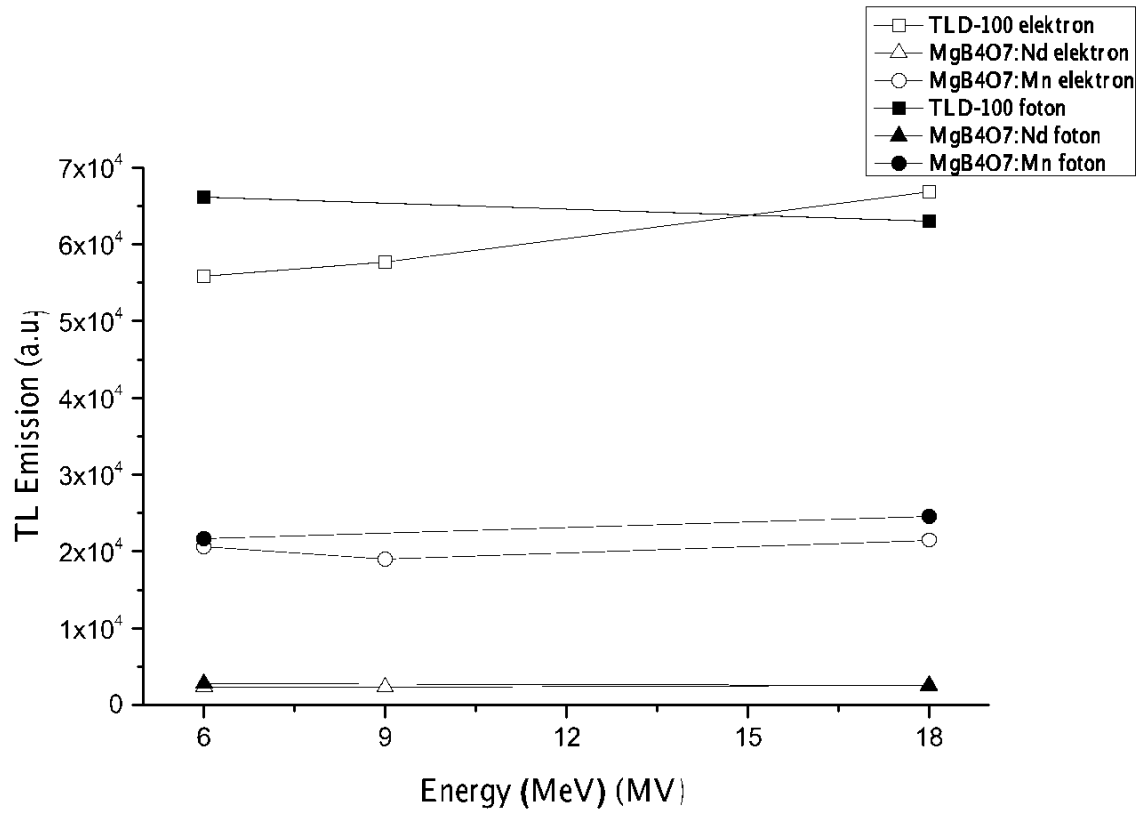
Şekil 17



Şekil 18



Şekil 19



Şekil 20