



بررسی پارامترهای سینتیک دام‌های عمیق دزیمتر $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (TLD-500) از راه مقایسه‌ی پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری تجربی با مدل نظری

سمیه هارونی^{۱*}، مصطفی زاهدی‌فر^۱، احمد رضانی مقدم آرانی^۱، احسان صادقی^۱، محسن محرابی^۲

۱. دانشکده‌ی فیزیک، دانشگاه کاشان، صندوق پستی: ۵۳۱۵۳-۸۷۳۱۷، کاشان - ایران

۲. پژوهشکده‌ی نانو، دانشگاه کاشان، صندوق پستی: ۵۳۱۵۳-۸۷۳۱۷، کاشان - ایران

چکیده: پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری (PTTL) دزیمتر $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (TLD-500) با مدل نظری توصیف‌کننده‌ی این پدیده برازش شد. بررسی نتیجه‌ها نشان داد که سطح زیر منحنی تابشی (پاسخ) گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری تنها به تعداد حامل‌های بار واقع در دام‌های فعال وابسته است و تعداد دام‌های فعال، آن را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. علاوه بر این، حالت‌های به دام اندازنده‌ی عمیق در این ماده‌ی گرمالیان در دماهای بالا خالی می‌شوند و امکان تعیین پارامترهای سینتیکی آن‌ها به صورت مستقیم وجود ندارد. چون با افزایش دما قله‌های منحنی تابشی تحت تأثیر اثر فرونشانی گرمایی (کاهش در منحنی تابشی گرمالیانی در دماهای افزایش یافته به دلیل گذارهای غیرتابشی) قرار می‌گیرند. در این مطالعه، پاسخ‌های دزیمتر گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری تجربی به دست آمده به ازای مقدارهای مختلف دز جذب شده برای TLD-500 با مدل‌های نظری مربوطه برازش شد. بنابراین پارامترهای سینتیکی دام‌های عمیق از مقایسه‌ی پاسخ‌های ارایه شده به وسیله‌ی مدل با نتایج تجربی آن به دست آمد. منحنی تابشی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری دزیمتر TLD-500 با توجه به کاربردی که در برآورد مجدد دز جذب شده، دزیمتری فرابنفش (UV) و عمرسنجی دارد، حایز اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری، دام‌های عمیق، پارامترهای سینتیکی، دزیمتر $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (TLD-500)

The Study on the Kinetic Parameters of Deep Traps of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (TLD-500) Dosimeter by Comparing Experimental Photo-Transferred Thermoluminescence Response with the Theoretical Model

S. Harooni^{1*}, M. Zahedifar^{1,2}, A. Ramazani-Moghaddam-Arani¹, E. Sadeghi^{1,2}, M. Mehrabi²

1. Faculty of Physics, University of Kashan, P.O.Box: 87317-53153, Kashan - Iran

2. Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, P.O.Box: 87317-53153, Kashan - Iran

Abstract: Photo-transferred thermoluminescence (PTTL) response of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (TLD-500) was fitted to the theoretical PTTL model. It was found that, the area under the PTTL glow curve depends only on the population of charge carriers in the active traps and the numbers of active traps does not affect the PTTL glow curve area. Further more, the deep trapping states in this phosphor depopulate at high temperatures and it is not possible to obtain their kinetic parameters directly, as by increasing the temperature, the peaks in the glow curve are affected by the thermal quenching effect (decrease in TL glow curve at increased temperature due to non-radiative transitions). In this work, the experimental PTTL responses obtained for different absorbed doses were fitted to the theoretical PTTL ones. Thus, the kinetic parameters of deep traps were obtained by comparing the responses generated by the model with the experimental results. The PTTL glow curve of TLD-500 is of importance since it can be used to re-estimate the absorbed dose, UV dosimetry and dating.

Keywords: Photo-Transferred Thermoluminescence, Deep Traps, Kinetic Parameters, TLD-500 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ Dosimeter

۱. مقدمه

دام‌های عمیق می‌توانند روی خواص دزیمتری قله‌های اصلی نمونه‌های گرمالیان مثل خطی بودن پاسخ دز، تأثیر بگذارند [۸-۱۱]. بررسی نظری منحنی‌های پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری برحسب مدت زمان نوردهی با فرابنفش با استفاده از معادله‌های توصیف‌کننده‌ی این پدیده در قالب دو مرحله‌ی نوردهی و گرمادهی امکان‌پذیر است. الکساندر و مک کیور [۱۲] به بررسی دو مدل مختلف با در نظر گرفتن دو دام و یک مرکز بازترکیب و همچنین دو دام و دو مرکز بازترکیب (که یکی مرکز بازترکیب تابشی و دیگری غیرتابشی است) پرداخته‌اند. آن‌ها با فرض‌های مختلف به حل معادله‌های توصیف‌کننده‌ی پدیده‌ی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری پرداخته و نتیجه‌های حاصل از حل عددی را با نتیجه‌هایی که با انجام فرض‌های مختلف به دست آوردند، مقایسه نمودند. یکی از نتیجه‌هایی که آن‌ها به دست آوردند این است که رفتار دام‌های عمیق با مرکز بازترکیب غیرتابشی یکسان نیست.

ترکیب $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ ضمن این که از گرمالیانی خوبی برخوردار است، لیانی نور-القایی^(۶) نیز دارد [۸، ۱۳-۱۵]. در این مقاله پدیده‌ی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری در ترکیب $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ مورد بررسی قرار گرفته و از مقایسه‌ی نتیجه‌های تجربی با مدل‌های نظری، پارامترهای سینتیکی دام‌های عمیق آن به دست آمده است.

۲. یافته‌ها

۲.۲ نتیجه‌های مدل نظری پیشنهادی

در بررسی خواص گرمالیانی TLD-500 چند قله‌ی مجزا برای منحنی تابشی گرمالیانی آن در نظر گرفته می‌شود [۱۶، ۱۷]. معادله‌های دیفرانسیلی توصیف‌کننده‌ی پدیده‌ی گرمالیانی با فرض سه دام فعال، یک دام عمیق و یک مرکز بازترکیب برای مرحله‌ی نوردهی با فرابنفش چنین است،

$$\frac{dn_c}{dt} = \frac{dm}{dt} - \frac{dn_1}{dt} - \frac{dn_r}{dt} - \frac{dn_r}{dt} - \frac{dc}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{dn_1}{dt} = A_{n_1} (N_1 - n_1)n_c - g_{n_1} n_1 \quad (2)$$

$$\frac{dn_r}{dt} = A_{n_r} (N_r - n_r)n_c - g_{n_r} n_r \quad (3)$$

$$\frac{dn_r}{dt} = A_{n_r} (N_r - n_r)n_c - g_{n_r} n_r \quad (4)$$

$$\frac{dc}{dt} = A_c (H - c)n_c - g_c c \quad (5)$$

$$\frac{dm}{dt} = -A_m m n_c \quad (6)$$

مواد گرمالیان^(۱) (TL) زمانی که تحت تابش پرتوهای یون‌ساز قرار می‌گیرند، در صورتی که با یک آهنگ گرمادهی ثابتی خوانده شوند، منحنی تابشی گرمالیانی‌ای از آن‌ها حاصل می‌شود که می‌تواند حاصل هم‌پوشانی چند قله‌ی مجزا باشد. در یک دمای مشخص حامل‌های بار واقع در دام‌های فعال^(۲) انرژی لازم برای خروج از آن‌ها را به دست می‌آورند. این حامل‌های بار در اثر پرتودهی نمونه ایجاد شده و در این دام‌ها به دام می‌افتند. علاوه بر این دام‌ها، دام‌های عمیق جدا شده‌ی گرمایی^(۳) نیز وجود دارند که حامل‌های بار تولید شده در مرحله‌ی پرتودهی، می‌توانند هم‌زمان با دام‌های فعال در این دام‌ها نیز قرار گیرند. ویژگی دام‌های عمیق این است که موقع خواندن در یک دمای مشخص با هدف خالی شدن دام‌های فعال، امکان خارج شدن حامل‌های بار از این دام‌ها وجود ندارد. چون دما آن‌قدر بالا نیست تا امکان خروج حامل‌های بار واقع در دام‌های عمیق وجود داشته باشد. از طرف دیگر با افزایش دما قله‌های واقع در دام‌های بالاتر تحت تأثیر فرایند فرونشانی دمایی^(۴) قرار می‌گیرند. این اثر به معنای کاهش در منحنی تابشی در دام‌های بالاتر است و به گذارهای غیرتابشی یا فونونی نسبت داده می‌شود [۱، ۲]. دام‌های فعال معمولاً تا دمای ۴۰۰ درجه‌ی سلسیوس می‌توانند خالی شوند. اما در مورد دام‌های عمیق این دما به بالاتر از ۶۰۰ درجه‌ی سلسیوس می‌رسد؛ این دمای بالا می‌تواند باعث ایجاد آسیب در نمونه‌ی مورد بررسی شود [۳]. بنابراین بررسی پارامترهای سینتیکی دام‌های عمیق به روشی مشابه با دام‌های فعال، امکان‌پذیر نیست. برای این منظور می‌توان از منحنی‌های تابشی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری^(۵) (PTTL) بهره گرفت. برای ثبت این منحنی‌ها ابتدا نمونه‌ای را که در اثر خواندن اولیه، دام فعال خالی دارد، تحت تابش فرابنفش با طول موج مناسب برای خارج کردن حامل‌های بار از دام‌های عمیق قرار می‌دهند، تا این حامل‌های بار توسط دام‌های فعال خالی، به دام انداخته شوند. در مرحله‌ی بعد نمونه به منظور ثبت منحنی‌های تابشی گرمالیانی حاصل از دام‌های فعال مجدداً خوانده می‌شود. منحنی ثبت شده با این روش را منحنی تابشی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری می‌نامند.

پدیده‌ی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری کاربردهای زیادی در برآورد مجدد دز جذب شده [۴، ۵]، دزیمتری فرابنفش [۶] و عمرسنجی [۷] دارد. بررسی‌های انجام شده نشان داده است که

در معادله‌های بالا، A_m (cm^3s^{-1}) احتمال بازترکیب و A_c (cm^3s^{-1}) و A_n (cm^3s^{-1}) به ترتیب احتمال در دام اندازی مجدد توسط دام‌های فعال و عمیق هستند. n_c (cm^{-3}) چگالی الکترونی نوار رسانش، N (cm^{-3}) و H (cm^{-3}) نشان‌دهنده‌ی چگالی حالت‌های در دسترس برای دام‌های به ترتیب فعال و عمیق هستند. m (cm^{-3}) چگالی حفره‌ها در مرکز بازترکیب، n (cm^{-3}) و c (cm^{-3}) چگالی الکترونی دام‌های به ترتیب، فعال و عمیق و g_n (s^{-1}) و g_c (s^{-1}) آهنگ خروج الکترون‌ها از دام‌های به ترتیب، فعال و عمیق طی نوردهی فرابنفش هستند. معادله‌های دیفرانسیلی متناظر با مرحله‌ی گرمالیانی نیز به صورت زیر است،

$$s_1 = 6 \times 10^{10} (\text{min}^{-1}), A_n = A_m = A_c = A_m = 6 \times 10^{-15} (\text{cm}^3 \text{min}^{-1})$$

$$\text{و } \beta = 60 (\text{K min}^{-1}), s_r = 6 \times 10^{13} (\text{min}^{-1}), s_f = 3 \times 10^{14} (\text{min}^{-1})$$

$T = T_0 + \beta t$ و $g_n = g_m = g_r = g_c = 6 \times 10^{-3} (\text{min}^{-1})$ است [۱۸، ۱۲]. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای یک و سه دام فعال پارامترهای یکسانی در نظر گرفته شده است. انرژی‌های فعال‌سازی و ضریب بسامد برای سه دام فعال بر مبنای مطالعه‌ی پیشین [۱۷]، لحاظ شده است. با بررسی منحنی‌های پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری مشاهده شد که تعداد دام‌های فعال که متناسب با تعداد قله‌های مجزا در منحنی تابشی گرمالیانی اصلی این ترکیب است، تأثیری بر روی منحنی‌های پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری نظری ندارد و تنها تعداد حامل‌های بار مؤثر است. به همین علت در ادامه‌ی بررسی منحنی‌های پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری نظری، یک دام فعال در نظر گرفته شد. منحنی‌های پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری نظری برحسب مدت زمان نوردهی با فرض یک دام فعال در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود با تغییر پارامترهایی چون c_0/H ، g_n و g_c شکل منحنی پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری برحسب مدت زمان نوردهی تغییر می‌کند. در این شکل پارامترهای در نظر گرفته شده برای تولید منحنی مشخص شده به عنوان مرجع (دایره‌ی توپر) به صورت $N = 3 \times 10^{17} (\text{cm}^{-3})$ ، $H = 0.1 \text{N}$ ، $g_n = g_c = 6 \times 10^{-3} (\text{min}^{-1})$ ، $A_n = A_c = A_m = 6 \times 10^{-15} (\text{cm}^3 \text{min}^{-1})$ و $s = 3 \times 10^{14} (\text{min}^{-1})$ ، $\beta = 60 (\text{K min}^{-1})$ ، $c_0 = 0.2H$ (eV) است. برای سایر منحنی‌ها همه‌ی پارامترها به جز پارامتر مشخص شده روی نمودار، به همین صورت در نظر گرفته شده است تا اثر تغییر هر یک از پارامترها بر روی شکل منحنی پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری نظری بررسی شود. همه‌ی منحنی‌ها نسبت به نقطه‌ی بیشینه‌ی خود به‌نچار شده‌اند تا مقایسه‌ی منحنی‌ها بهتر انجام شود. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش c_0/H از ۰/۲ به ۰/۶ یا با افزایش تعداد حامل‌های واقع در دام عمیق، قسمت انتهایی منحنی پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری فرو می‌افتد و با افزایش H از ۰/۱ N به ۰/۱ N میزان کاهش در قسمت انتهایی منحنی بیش تر می‌شود. ضمناً کاهش پارامترهایی مثل g_n و g_c باعث انتقال نقطه‌ی بیشینه‌ی منحنی پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری به سمت زمان‌های نوردهی بالاتر می‌شود، چون کاهش g_n و g_c به معنای کم بودن شدت چشمه‌ی فرابنفش است، و استفاده از آن‌ها به زمان نوردهی بیش تری نیاز دارد تا حامل‌های بار مشخصی از دام‌های عمیق به دام‌های فعال منتقل شود. در مرحله‌ی بعد منحنی‌های پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری تجربی به دست آمده است.

در معادله‌های بالا، A_m (cm^3s^{-1}) احتمال بازترکیب و A_c (cm^3s^{-1}) و A_n (cm^3s^{-1}) به ترتیب احتمال در دام اندازی مجدد توسط دام‌های فعال و عمیق هستند. n_c (cm^{-3}) چگالی الکترونی نوار رسانش، N (cm^{-3}) و H (cm^{-3}) نشان‌دهنده‌ی چگالی حالت‌های در دسترس برای دام‌های به ترتیب فعال و عمیق هستند. m (cm^{-3}) چگالی حفره‌ها در مرکز بازترکیب، n (cm^{-3}) و c (cm^{-3}) چگالی الکترونی دام‌های به ترتیب، فعال و عمیق و g_n (s^{-1}) و g_c (s^{-1}) آهنگ خروج الکترون‌ها از دام‌های به ترتیب، فعال و عمیق طی نوردهی فرابنفش هستند. معادله‌های دیفرانسیلی متناظر با مرحله‌ی گرمالیانی نیز به صورت زیر است،

$$\frac{dn_c}{dt} = \frac{dm}{dt} - \frac{dn_1}{dt} - \frac{dn_r}{dt} - \frac{dn_f}{dt} - \frac{dc}{dt} \quad (7)$$

$$\frac{dn_1}{dt} = A_n (N_1 - n_1)n_c - n_1s_1 \exp\left(-\frac{E_1}{kT}\right) \quad (8)$$

$$\frac{dn_r}{dt} = A_n (N_r - n_r)n_c - n_r s_r \exp\left(-\frac{E_r}{kT}\right) \quad (9)$$

$$\frac{dn_f}{dt} = A_n (N_f - n_f)n_c - n_f s_f \exp\left(-\frac{E_f}{kT}\right) \quad (10)$$

$$\frac{dc}{dt} = A_c (H - c)n_c \quad (11)$$

$$I(t) = -\frac{dm}{dt} = A_m m n_c \quad (12)$$

در معادله‌های بالا، I شدت گرمالیانی، s (s^{-1}) ضریب بسامد، E (eV) انرژی فعال‌سازی و k (eV K^{-1}) ثابت بولتزمن است. شاخص‌های ۱ تا ۳ برای سه دام فعال در نظر گرفته شده است.

معادله‌های ۱ تا ۶ به ازای یک زمان نوردهی مشخص به صورت عددی حل شده و پارامترهای به دست آمده در پایان این مرحله به عنوان مقدارهای اولیه در طی مرحله‌ی گرمالیانی (معادله‌های ۷ تا ۱۲) مورد استفاده قرار گرفتند. حل عددی این معادله‌ها در محیط نرم‌افزار میپل^(۷) به انجام رسید. با تکرار این عمل به ازای مقدارهای مختلف دما، منحنی تابشی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری برای یک مدت زمان نوردهی مشخص به دست آمد و در نهایت با تعیین سطح زیر منحنی تابشی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری به ازای زمان‌های نوردهی مختلف منحنی پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری برحسب زمان نوردهی به دست آمد. پارامترهای در نظر گرفته شده برای یک دام فعال به صورت $N = 3 \times 10^{17} (\text{cm}^{-3})$ ، $H = 0.1 \text{N}$ ، $A_n = A_c = A_m = 6 \times 10^{-15} (\text{cm}^3 \text{min}^{-1})$ ، $s = 3 \times 10^{14} (\text{min}^{-1})$ ، $c_0 = 0.2H$ ، $g_n = g_c = 6 \times 10^{-3} (\text{min}^{-1})$ و $E = 1.23 (\text{eV})$ و $\beta = 60 (\text{K min}^{-1})$ و برای سه دام فعال به صورت $H = 0.1 (N_1 + N_r + N_f)$ ، $N_1 = N_r = N_f = 1 \times 10^{17} (\text{cm}^{-3})$ ، $E_r = 1.12 (\text{eV})$ ، $E_f = 1.23 (\text{eV})$ ، $E_1 = 1.3 (\text{eV})$ ، $c_0 = 0.2 H$

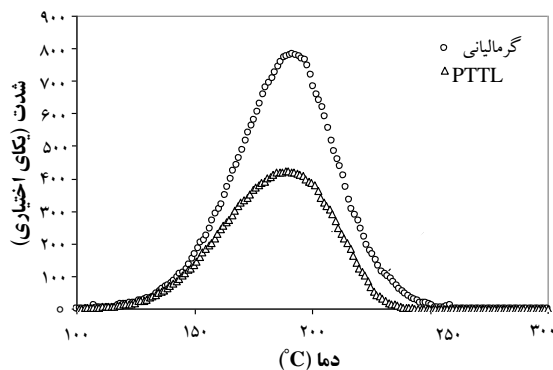
۰،۰۷۹، ۱، ۱۰ و ۵۰ گری توسط نمونه انجام شده و منحنی پاسخ PTTL به صورت تابعی از زمان نوردی به صورت تجربی به دست آمده که در شکل های ۳- الف، ب، پ، ت با دایره‌ی توپر نشان داده شده است. این منحنی‌های تجربی برای برازش با منحنی‌های پاسخ PTTL نظری حاصل از حل عددی معادله‌های دیفرانسیلی ۱ تا ۱۲ مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۳.۲ برازش داده‌های تجربی با مدل نظری

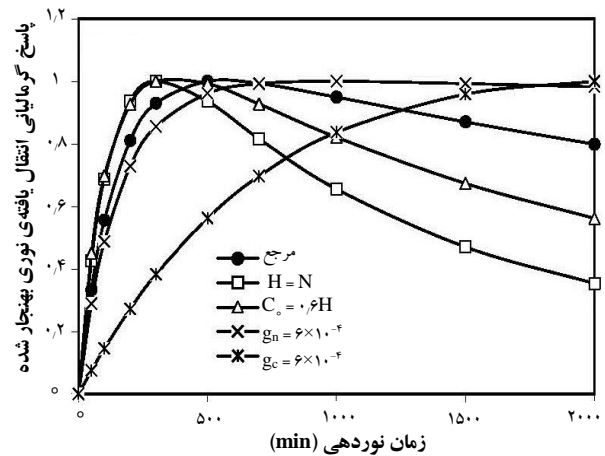
برای تعیین میزان انطباق داده‌های نظری با داده‌های تجربی از عدد شایستگی^(۹) (FOM) استفاده شده است.

$$FOM = \frac{\sum_i |y_i - f_i|}{\sum_i y_i} \times 100 \quad (13)$$

که در آن y_i شدت در نقطه‌ی تجربی i ام و f_i شدت در نقطه‌ی نظری i ام است. مقدارهای کم‌تر از ۲/۵٪ عدد شایستگی به معنای انطباق خوب داده‌های نظری با داده‌های تجربی است [۱۹]. پارامترهای به دست آمده از این روش به صورت $s = 3 \times 10^{14} (\text{min}^{-1})$ ، $H = 0.1 \text{ N}$ ، $N = 1.42 \times 10^{17} (\text{cm}^{-3})$ ، $g_n = g_c = 6 \times 10^{-7} (\text{min}^{-1})$ ، $\beta = 60 (\text{K min}^{-1})$ ، $E = 1.23 (\text{eV})$ و $A_n = A_c = A_m = 6 \times 10^{-15} (\text{cm}^{-2} \text{min}^{-1})$ بودند. دیگر پارامتر مهم به دست آمده که برای مقدارهای مختلف دز، متفاوت بود C_0/H (نسبت تعداد حامل‌های بار واقع در دام‌های عمیق به ظرفیت کل دام‌های عمیق) است که برای مقدارهای مختلف دز دریافتی ۰،۰۷۹، ۱، ۱۰ و ۵۰ گری به ترتیب برابر با ۰،۰۱۵، ۰،۰۰۶، ۰،۰۱۰ و ۰،۰۵۱ بود. بنابراین پدیده‌ی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری می‌تواند به عنوان ابزاری توانمند برای مطالعه‌ی ویژگی‌های دام‌های عمیق دزیمتر TLD-۵۰۰ مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲. منحنی‌های تابشی گرمالیانی و PTTL دزیمتر TLD-۵۰۰ برای دز دریافتی ۱ گری. برای مقایسه‌ی بهتر دو نمودار، نمودار تابشی گرمالیانی بر عدد ۲۰۰ تقسیم شده است.



شکل ۱. پاسخ‌های گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری نظری بهنجار شده به عنوان تابعی از زمان نوردی.

۲.۲ منحنی‌های پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری تجربی

TLD-۵۰۰‌های مورد استفاده، ساخت شرکت هارشاو^(۸) و به شکل دایره و دارای ضخامت ۱ mm و قطر ۵ mm بودند. گرمادهی قبل از پرتودهی برای خالی کردن دام‌های فعال و عمیق و آماده کردن نمونه برای پرتودهی، با قرار دادن نمونه‌ها در دمای ۹۰۰ درجه‌ی سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد [۶]. پرتودهی نمونه‌ها با استفاده از چشمه‌ی کبالت-۶۰ به انجام رسید. بعد از پرتودهی، نمونه‌ها از دمای ۵۰ تا دمای ۳۵۰ درجه‌ی سلسیوس با آهنگ گرمادهی ۵ درجه‌ی سلسیوس بر ثانیه به منظور خالی کردن دام‌های فعال گرمادهی شدند. نمونه‌ها سپس در دمای اتاق تحت تابش دیدگانی-فرابنفش با طول موج ۲۹۰ تا ۳۲۰ nm قرار گرفتند تا حامل‌های بار واقع در دام‌های عمیق خارج و توسط دام‌های فعال خالی به دام انداخته شوند. بعد از این مرحله نمونه‌ها از دمای ۵۰ تا ۳۵۰ درجه‌ی سلسیوس با آهنگ گرمادهی ۱ درجه‌ی سلسیوس در ثانیه به منظور ثبت منحنی تابشی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری خوانده شدند. برای خواندن نمونه‌ها از یک دستگاه خوانش TLD مدل ۴۵۰۰ شرکت هارشاو استفاده شد.

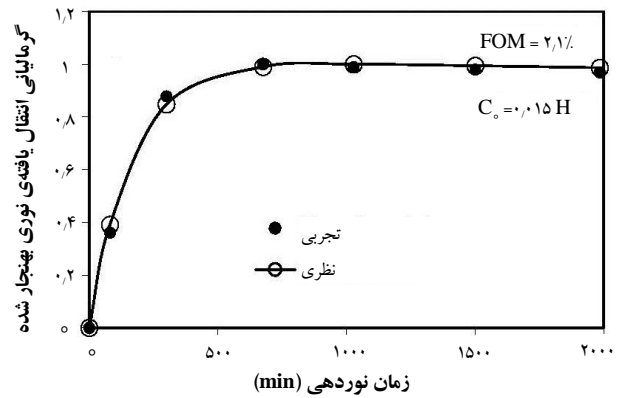
منحنی تابشی گرمالیانی و همچنین منحنی تابشی گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری (PTTL) متناظر با آن برای TLD-۵۰۰ برای دز دریافتی ۱ گری در شکل ۲ نشان داده شده است. برای ثبت منحنی تابشی PTTL، نمونه به مدت ۱۰۲۸ دقیقه تحت تابش دیدگانی-فرابنفش قرار گرفته است. با تکرار این روند و تعیین سطح زیر منحنی تابشی PTTL برای مقدارهای مختلف زمان نوردی می‌توان منحنی پاسخ PTTL را به صورت تابعی از زمان نوردی رسم کرد. این کار برای مقدارهای مختلف دز دریافتی

۳. نتیجه گیری

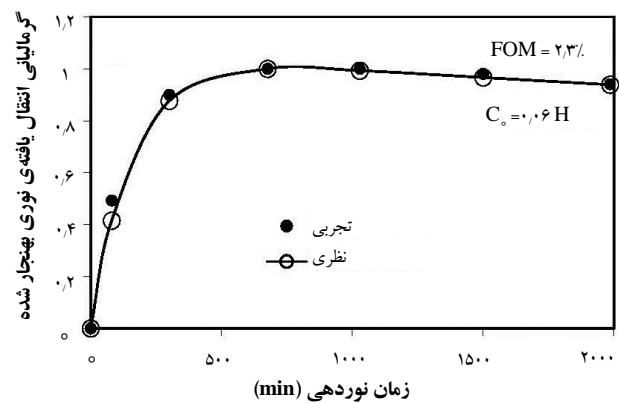
با توجه به این که دام‌های عمیق در دزیمترهای گرمالیانی (TLD) در دمای بالا خالی می‌شوند، امکان تعیین پارامترهای سینتیکی این دام‌ها به صورت مستقیم وجود ندارد، چرا که اعمال دمای بالا بر آن‌ها باعث ایجاد آسیب در شبکه‌ی بلوری آن‌ها می‌شود و در این صورت نمی‌توان از آن‌ها به طور تکراری استفاده کرد. ضمناً با خواندن منحنی‌های تابشی گرمالیانی در دماهای فرونشانی دمایی به شدت روی شکل منحنی تابشی اثر گذاشته و امکان تعیین پارامترهای سینتیکی با استفاده از مدل‌های معمول را با مشکل مواجه می‌سازد؛ در این مدل‌ها اثر فرونشانی دمایی وارد نشده است. در کار حاضر از راه مقایسه‌ی منحنی‌های پاسخ گرمالیانی انتقال یافته‌ی نوری تجربی با نتیجه‌های نظری، پارامترهای سینتیکی دام‌های عمیق به دست آمد و دیده شد که برای دز دریافتی ۱۰ گری میزان پرشدگی دام‌های عمیق به نصف رسیده و با افزایش دز تا ۵۰ گری دام عمیق به حد اشباع می‌رسد.

پی‌نوشت‌ها

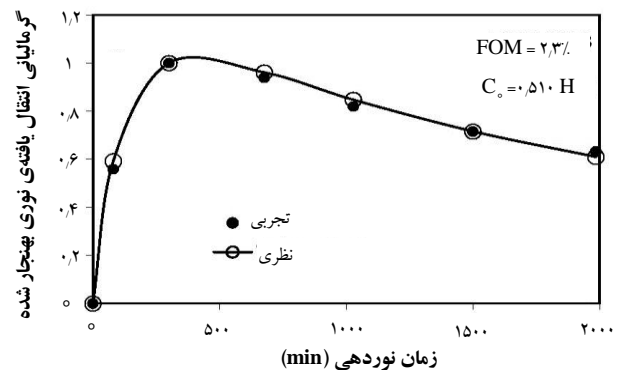
1. Thermoluminescence
2. Active Traps
3. Thermally Disconnected Deep Traps
4. Thermal Quenching
5. Photo-Transferred Thermoluminescence Glow Curve
6. Optically Stimulated Luminescence
7. Maple
8. Harshaw
9. Figure of Merit



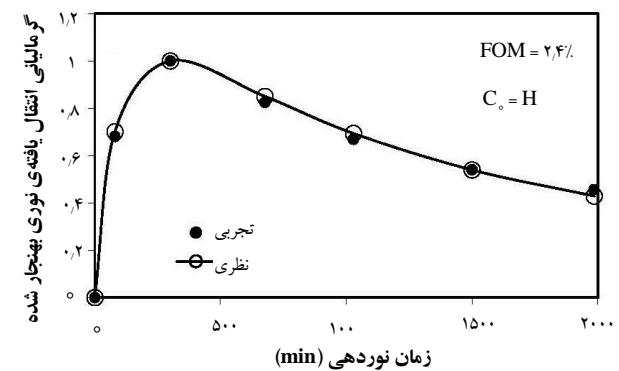
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۳. پاسخ‌های PTTL تجربی و برازش آن‌ها با مدل نظری؛ (الف) ۰٫۰۷۹ گری، (ب) ۱ گری، (پ) ۱۰ گری و (ت) ۵۰ گری.

مراجع

- [1] S.A. Petrov, I.K. Bailiff, Thermal quenching and the initial rise technique of trap depth evaluation, *J. Lumin.*, 65 (1995) 289-291.
- [2] A.J.J. Bos, Theory of thermoluminescence, *Radiat. Meas.*, 41 (2007) S45-S56.
- [3] M.S. Akselrod, V.S. Kortov, Thermoluminescent and exoemission properties of new high-sensitivity TLD α -AL₂O₃:C crystals, *Radiat. Prot. Dosim.*, 33, 1-4 (1990) 123-126.
- [4] A. Sas-Bieniarz, M. Budzanowski, A. Bubak, R. Kopec, Application of PTTL Method for dose reassessment in extremity dosimetry, *Radiat. Prot. Dosim.*, 170, 1-4 (2016) 204-207.
- [5] S. Miljanic, J. Bibic, S. Blagus, B. Mihaljevic, B. Vekic, Dose reassessment of LiF:Mg, Ti detectors in the mixed fields, *Radiat. Meas.*, 46 (2011) 1586-1589.
- [6] D.A. Sono, S.W.S. McKeever, Phototransferred thermoluminescence for use in UVB dosimetry, *Radiat. Prot. Dosim.*, 100, 1-4 (2002) 309-312.
- [7] A.G. Wintle, Luminescence dating: laboratory procedures and protocols, *Radiat. Meas.*, 27, 5 (1997) 769-817.
- [8] V.S. Kortov, I.I. Milman, S.V. Nikiforov, The effect of deep traps on the main features of thermoluminescence in dosimetric α -AL₂O₃ crystals, *Radiat. Prot. Dosim.*, 84, 1-4 (1999) 35-38.
- [9] V.E. Pelenyov, V.S. Kortov, I.I. Milman, The interaction of deep traps in anion-defective α -AL₂O₃. *Radiat. Meas.*, 33, 5 (2001) 629-631.
- [10] V.S. Kortov, I.I. Milman, S.V. Nikiforov, E.V. Moiseykin, S.V. Kondrashov, Nonlinear dose dependence in TLD-500 detectors resulting from interactive interference of traps, *Radiat. Meas.*, 42, 4 (2007) 590-593.
- [11] E.G. Yukihara, V.H. Whitley, J.C. Polf, D.M. Klein, S.W.S. McKeever, A.E. Akselrod, M.S. Akselrod, The effects of deep trap population on the thermoluminescence of AL₂O₃:C, *Radiat. Meas.*, 37, 6 (2003) 627-638.
- [12] C.S. Alexander, S.W.S. McKeever, Phototransferred thermoluminescence, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 31, 20 (1998) 2908-2920.
- [13] M.S. Akselrod, E. Gorelova, Deep traps in highly sensitive α -AL₂O₃:C TLD crystals, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 21, 1 (1993) 143-146.
- [14] M.S. Akselrod, V.S. Kortov, E.A. Gorelova, Preparation and properties of α -AL₂O₃:C, *Radiat. Prot. Dosim.*, 47, 1-4 (1993) 159-164.
- [15] G.I. Dallas, G.S. Polymeris, E.C. Stefanaki, D. Afouxenidis, N.C. Tsirliganis, G. Kitis, Sample dependent correlation between TL and LM-OSL in AL₂O₃:C, *Radiat. Meas.*, 43, 2-6 (2008) 335-340.
- [16] A.N. Yazici, S. Solak, Z. Ozturk, M. Topaksu, Z. Yegingil, The analysis of dosimetric thermoluminescent glow peak of α -AL₂O₃:C after different dose levels by β -irradiation, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 36, 2 (2003) 181-191.
- [17] M. Zahedifar, L. Eshraghi, E. Sadeghi, Thermoluminescence kinetics analysis of α -AL₂O₃:C at different dose levels and populations of trapping states and a model for its dose response. *Radiat. Meas.*, 47, 10 (2012) 957-964.
- [18] V. Pagonis, R. Chen, J.L. Lawless, A quantitative kinetic model for AL₂O₃:C: TL response to ionizing radiation, *Radiat. Meas.*, 42, 2 (2007) 198-204.
- [19] H.G. Balian, N.W. Eddy, Figure of merit (FOM), an improved criterion over the normalized chi-squared test for assessing goodness of fit of gamma ray spectra peaks, *Nucl. Instr. and Meth.*, 145, 2 (1977) 389-395.