

استفاده از لامپ ال ای دی با شدت کم برای روشن کردن آزمایشگاه سنیابی به روش لومینسانس

مرتضی فتاحی*؛ دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران
سمیه وحدانی مطلق؛ دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله شناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۰

چکیده

روش لومینسانس زمان آخرین نور خوردگی کوارتز یا فلدسپار را به دست می دهد. در زمان نمونه برداری، انتقال آن به آزمایشگاه و درون آزمایشگاه تابش نور باعث کاهش سیگنال طبیعی لومینسانس می شود. لذا، سن رویداد را کمتر از واقعیت نشان خواهد داد. بنابراین، استفاده از نور مناسب برای روشن کردن آزمایشگاه نقش کلیدی در تأسیس آزمایشگاه دارد. نورهایی که در ناحیه طول موج ۶۲۵-۵۷۵ نانومتر قرار می گیرد آسایش بصری و حداقل ضرر را برای نمونه دارد. لامپ های نارنجی و قرمز با استفاده از ال ای دی ساخته شد. طیف نوری لامپ ها مطالعه شد. متأسفانه در دنباله طیف لامپ های نارنجی، نور سبز موجود بود. ترکیب لامپ ال ای دی نارنجی و طلق موجب کاهش نور سبز شد. اثر چراغ تولیدکننده نور نارنجی بر سیگنال لومینسانس در دانشگاه آکسفورد بررسی شد. استفاده از حداکثر شدت نور نارنجی موجود در آن آزمایشگاه ۳۰٪ سیگنال لومینسانس را از بین برد، در حالی که شدت حداقل تأثیر مخربی نداشت. لذا، با به کارگیری تنظیم کننده شدت نور می توان اثر نور سبز را به حدی کاهش داد که برای نمونه های سنیابی مضر نباشد. همچنین، می توان از لامپ ال ای دی قرمز استفاده کرد که دارای نور سبز نیست، اما آسایش بصری کمتری دارد.

کلیدواژه ها: ال ای دی، سنیابی، طیفسنجی، لومینسانس تحریک شده با نور، نور امن آزمایشگاه.

مقدمه

آزمایشگاه سنیابی به روش لومینسانس کاربردهای وسیعی در علوم دیرینه شناسی دارد، شامل دیرینه زلزله، دیرینه اقلیم، زمین شناسی، جغرافیای طبیعی و باستان شناسی. از جمله کاربردهای آن در زلزله شناسی، تعیین دوره بازگشت و کمک به اندازه گیری نرخ لغزش گسل زلزله است. برای محاسبه دوره بازگشت زمین لرزه های تولید شده توسط گسل، شواهد زلزله های دیرین، شناسایی، نمونه برداری و سنیابی مطلق می شود. همچنین، برای تعیین نرخ لغزش یک دیواره گسل نسبت به دیواره دیگر آن، به دو پارامتر اندازه این جابه جایی و دوران جابه جایی نیاز داریم. دوران جابه جایی با استفاده از سنیابی مشخص می شود.

سنیابی به روش لومینسانس نوری، آخرین زمانی را تعیین می کند که کوارتز یا فلدسپار در معرض نور قرار گرفته است. با توجه به اینکه کوارتز یا فلدسپار به وفور در مناطق مختلف ایران یافت می شود، همچنین این روش، تا چند صد هزار سال را تعیین سن می کند، مناسب ترین روش در سنیابی رسوبات پدیده های طبیعی (از جمله زمین لرزه، خشکسالی و آتشفشان) و انسانی (از جمله سفال، خشت و آجر)، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک ایران است. لذا، ضروری است آزمایشگاه سنیابی به روش لومینسانس نوری در ایران تأسیس شود. مؤسسه ژئوفیزیک از سال ها پیش قصد تأسیس این آزمایشگاه را داشته و در این مسیر حرکت کرده است.

* نویسنده مسئول: amfattahi@ut.ac.ir ۰۲۱-۶۱۱۱۸۲۵۳

اگر کوارتز یا فلدسپار داخل نمونه هنگام نمونه برداری، انتقال و آماده سازی نمونه تحت تأثیر نور قرار گیرد، سیگنال لومینسانس طبیعی آن که از زمان آخرین نور خوردگی در آن جمع شده است کاهش می یابد و سن را غیر واقعی نشان می دهد. در دوران نمونه برداری و انتقال می توان به روش هایی جلوی نفوذ نور را گرفت. اما، آماده سازی نمونه در تاریکی مطلق میسر نیست. لذا، تعیین نور امن برای روشن کردن آزمایشگاه اهمیت بسیار دارد. هدف از این تحقیق مرور مطالعات انجام شده در گذشته و انتخاب نور مناسب و سپس تست لامپ های موجود در بازار ایران برای نصب در آزمایشگاه لومینسانس مؤسسه ژئوفیزیک بود. با توجه به اینکه نویسنده اول از سال ۱۳۷۶ از امکانات آزمایشگاه لومینسانس دانشگاه آکسفورد برای رفع نیازهای ایران استفاده کرده است، از آن تجربیات و امکانات نیز در این تحقیق استفاده شد. در این مقاله، نخست، مشخصه های نور امن را شرح می دهیم. سپس، بر مبنای این مشخصه ها مناسب ترین لامپ های موجود با استفاده از طیف سنجی و اندازه گیری اثر نور بر کاهش سیگنال لومینسانس معرفی خواهد شد.

مواد و روش ها

مشخصه های نور امن

در انتخاب نور مناسب برای روشن کردن آزمایشگاه لومینسانس باید به دو عامل توجه داشت. نخست اینکه نور آسیبی به سن نمونه نرساند. دوم اینکه آسایش بصری فراهم باشد.

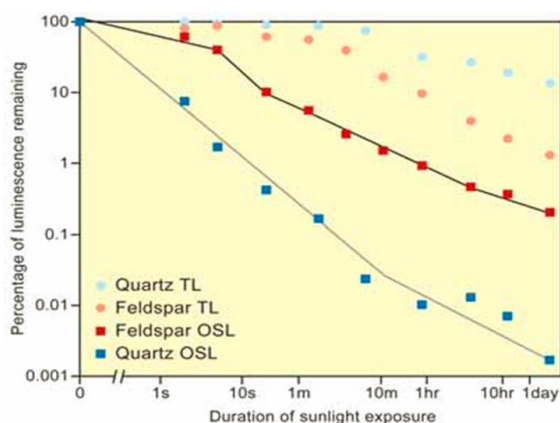
الف) آماده سازی نمونه در نور امن

با فرض آنکه نمونه هنگام نمونه برداری و انتقال به آزمایشگاه به هیچ وجه تحت تأثیر نور قرار نگرفته باشد، نور مناسب آزمایشگاه باید به طریقی تأمین شود که جداسازی کوارتز یا فلدسپار از داخل نمونه، صدمه ای به سیگنال طبیعی لومینسانس موجود در آن نزنند.

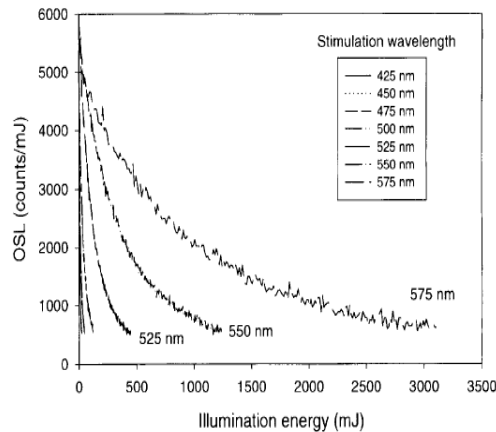
با توجه به شکل ۱، چنانچه نمونه کوارتز یا فلدسپار به مدت ۱۰ ثانیه تحت تابش نور طبیعی قرار بگیرد، ۹۹٪ سیگنال لومینسانس نوری کوارتز و ۹۰٪ سیگنال لومینسانس نوری فلدسپار از بین می رود. همین طور پس از گذر ۱ دقیقه تنها ۱٪ از سیگنال لومینسانس نوری کوارتز و ۸٪ سیگنال لومینسانس نوری فلدسپار باقی می ماند (شکل ۱).

سیگنال لومینسانس کوارتز و فلدسپار در اثر طول موج های مختلف به میزان متفاوتی کاهش می یابد. برای کاهش سیگنال لومینسانس کوارتز با افزایش طول موج نور تحریک کننده نیاز به افزایش خیلی زیاد انرژی است (شکل ۲).

لذا با توجه به شکل ۲، برای کاهش سیگنال لومینسانس از ۶۰۰۰ شمارش بر میلی ژول به ۱۰۰۰ شمارش بر میلی ژول، چنانچه از لیزری با طول موج ۵۲۵ نانومتر استفاده شود، به ۵۰۰ میلی ژول انرژی و چنانچه از لیزری با طول موج ۵۷۵ نانومتر استفاده شود به ۳۰۰۰ میلی ژول انرژی نیاز است؛ یعنی، انرژی مورد نیاز برای تحریک کوارتز با لیزر با طول موج ۵۲۵ نانومتر شش برابر لیزری با طول موج ۵۷۵ نانومتر است. بنابراین، با افزایش طول موج لیزر قدرت



شکل ۱. کاهش سیگنال TL و OSL با زمان برای ذرات کوارتز و فلدسپار (دالر، ۲۰۰۸)

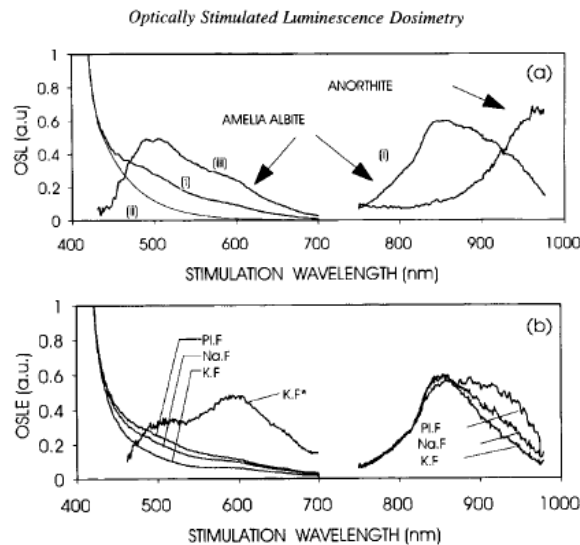


شکل ۲. کاهش سیگنال لومینسانس ساطع شده از کوارتز تحریک شده با لیزر در طول موج های مختلف (دالر و باتر-جنسن، ۱۹۹۶)

تخریب کنندگی نور تا حد بسیار زیادی کاهش می یابد. با توجه به این آزمایش به نظر می رسد در مجموعه طول موج های نور مرئی، طول موج های بیش از ۵۷۵ نانومتر کمترین صدمه را به سیگنال طبیعی لومینسانس کوارتز می زند. در شکل ۳ که اثر طول موج های مختلف برای تحریک فلدسپار را نشان می دهد، تابش مادون قرمز در ناحیه ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر قدرت تخریب بسیار بالایی دارد و نیز تابش های بین ۷۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر هیچ گونه اثر تخریبی ندارد و با کاهش طول موج از ۷۰۰ تا ۵۵۰ نانومتر اثر تخریبی به مرور تا ۴۰٪ افزایش می یابد و از ۵۵۰ به سمت طول موج های کوتاه تر اثر تخریبی به صورت نمایی اضافه می شود. لذا، طول موج نور آزمایشگاه که کمترین صدمه را به سیگنال لومینسانس کوارتز و فلدسپار می زند در محدوده بین ۵۷۵ نانومتر تا ۶۵۰ نانومتر قرار دارد. این طول موج ها شامل رنگ های قرمز و نارنجی می شود.

ب) آسایش بصری

در محیط تاریک آزمایشگاه نمی توان کار کرد. بنابراین، باید به دنبال نوری بود که بتوان با آن آزمایشگاه را به نحوی مطلوب روشن کرد، به طوری که طی مدت های طولانی کار کردن در آن نور، چشم انسان دچار خستگی نشود و موجب



شکل ۳. طیف تحریکی لومینسانس نوری فلدسپارهای مختلف که با فیلتر ماورا بنفش آشکار شده است. (a) نمونه های فلدسپارهای برداشت شده از سرامیک هایی که در موزه نگهداری می شود. (b) نمونه های فلدسپارهایی که از رسوبات برداشت شده است (باتر-جنسن و همکاران، ۱۹۹۴).

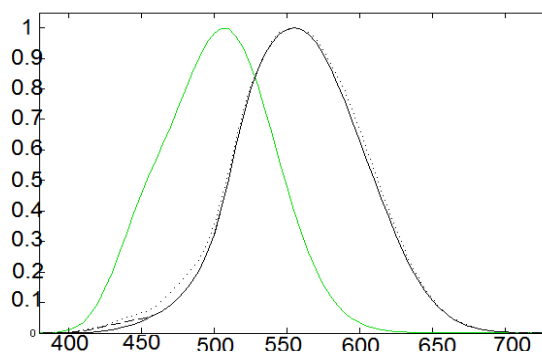
افزایش بهره‌وری و اشتیاق حضور در محل کار باشد و نحوه‌ی روشنایی به‌طریقی باشد که انرژی به صورت بهینه مصرف شود. چشم انسان حساس به رنگ و درخشندگی نور است. چشم دو تابع درخشندگی دارد (شکل ۴). تابع درخشندگی یا منحنی حساسیت چشم منحنی‌ای است که میانگین حساسیت چشم انسان‌ها به نور را در طول موج‌های مختلف مشخص می‌کند. باید توجه داشت که این منحنی کاملاً دقیق نیست، اما نمایش بسیار خوبی از حساسیت چشم انسان است. این تابع تابعی استاندارد است که سی‌ای‌ای معرفی کرده است و می‌توان از آن برای تبدیل انرژی تابشی به انرژی نورانی (که رویت‌پذیر است) استفاده کرد. همچنین، این تابع اساس کار تابع تطبیق رنگ در فضای رنگ ۱۹۳۱ سی‌ای‌ای است.

در روز، تابع درخشندگی روزبینی (فتوپیک) دارای بهترین تقریب برای پاسخ‌دهی چشم انسان است و سلول‌های مخروطی بیشتری کاربرد را دارد. در نور شب، پاسخ‌دهی چشم انسان تغییر می‌کند و منحنی شب‌بینی (اسکوتوپیک) به کار می‌رود و حساسیت چشم بیشتر به سلول‌های میله‌ای وابسته است. انتقال از روزبینی به شب‌بینی در حدود ۱ لومن بر مترمربع اتفاق می‌افتد که در طول موج ۵۵۵ نانومتر حدود ۱۵۰ نانوات بر سانتی‌متر مربع است. تطبیق روزبینی به شب‌بینی ممکن است بین ۹ تا ۳۰ دقیقه طول بکشد و در افراد مختلف کمی فرق می‌کند (اسپونر و همکاران، ۲۰۰۰). ماکزیمم بهره‌وری روزبینی در طول موج ۵۵۵ نانومتر (سبز) رخ می‌دهد که در طول موج‌های ۴۷۵ نانومتر و ۶۵۰ نانومتر به ۱۰٪ و در طول موج‌های ۴۳۰ نانومتر و ۶۸۵ نانومتر به ۱٪ کاهش می‌یابد (شکل ۴).

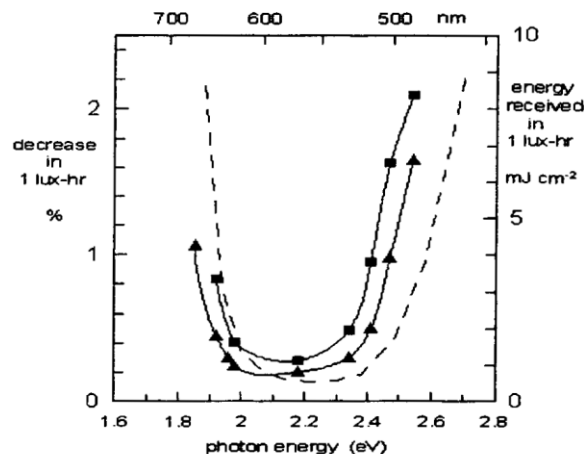
با توجه به اینکه توابع درخشندگی روزبینی و شب‌بینی تقریباً متقارن است و پاک‌شدگی سیگنال لومینسانس کوارتز و فلدسپار پس از طول موج ۵۵۵ نانومتر (سبز)، با افزایش طول موج کاهش می‌یابد، طول موج‌های امن برای روشن کردن آزمایشگاه باید از طول موج‌های بلند در ناحیه نارنجی تا قرمز انتخاب شود. با توجه به اینکه تابع درخشندگی شب‌بینی نسبت به تابع درخشندگی روزبینی ۵۰ نانومتر به سمت طول موج کوتاه منتقل شده است، نور قرمز نسبت به نارنجی - نارنجی امکان روشن کردن کمتری در تاریکی فراهم می‌کند. لذا، اگر بخواهیم در شدت کم کارکنیم، نور قرمز مناسب خواهد بود و طول موج‌های بین ۵۷۵ تا ۶۲۵ نانومتر (با بهره‌وری روزبینی حدود ۹۰٪ تا ۴۰٪ و بهره‌وری شب‌بینی حدود ۲۰٪ تا ۲٪) نمایانگر رویت‌پذیری بهینه و حداقل پاک‌شدگی سیگنال لومینسانس است. این ناحیه طول موجی (۵۷۵-۶۲۵) تقریباً هماهنگ با ناحیه طول موجی (۵۴۰-۶۲۰ نانومتر) پیشنهادی دیتلفسن (۱۹۹۱) دارد (شکل ۵).

انتخاب لامپ مناسب

طی سال‌های گذشته با توجه به مطالعات انجام‌شده روی کوارتز و فلدسپار، توصیه‌های مختلفی در مورد نور مناسب آزمایشگاه انجام شده است که عمدتاً در کوارتز از نور قرمز و برای فلدسپار از طول موج‌های بین ۵۳۰-۶۳۰ نانومتر استفاده شده است. بر اساس این توصیه‌ها و با توجه به اقتصادی بودن از فناوری‌های نوری مختلفی استفاده شده است. برای مثال، می‌توان از ساتن و زیمرمن (۱۹۷۸)، جنسن و بارتی (۱۹۷۹)، اسپونر و پرسکات (۱۹۸۶)، اسمیت (۱۹۸۸)،



شکل ۴. توابع درخشندگی روزبینی (مشکی) و شب‌بینی (سبز). خط پیوسته داده‌های تغییر یافته جاد-ووس در ۱۹۷۸ میلادی، خط چین داده‌های شارپ، استاک‌من، جاگلا و جاگل در ۲۰۰۵ میلادی، منحنی افقی طول موج بر حسب نانومتر و منحنی عمودی بر حسب لانداس. منحنی دید کافی همان منحنی استاندارد سی‌ای‌ای است که در فضای رنگ ۱۹۳۱ سی‌ای‌ای استفاده شد.



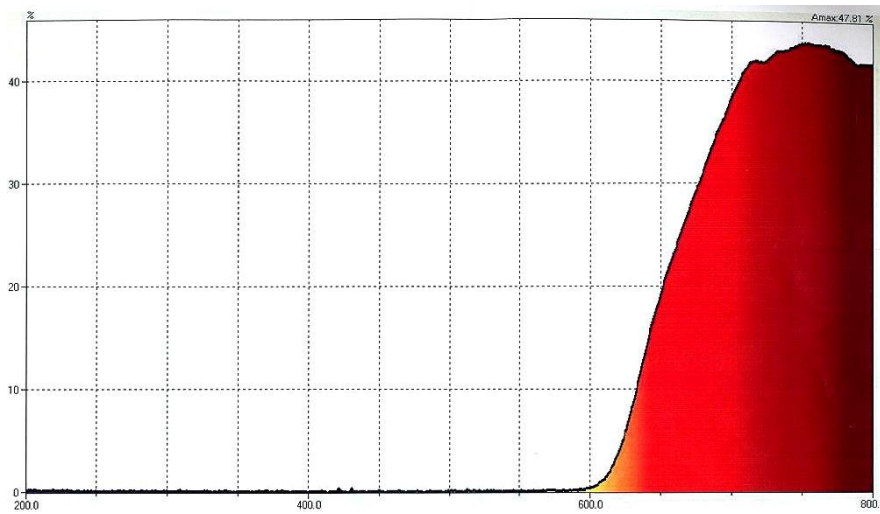
شکل ۵. کاهش در سیگنال لومینسانس در طول یک لوکس بر ساعت نوردهی در فوتون‌های انرژی. مثلث‌ها نمایانگر فلدسپارهای پتاسیم در ۱۰۰ الی ۲۰۰ میکرومتر و مکعب‌ها نمایانگر دانه‌های رسی ۴ الی ۱۱ میکرومتر است. خطوط ممتد منطبق بر داده‌هاست و خطچین‌ها انرژی را در طول یک لوکس بر ساعت نوردهی نمایش می‌دهد (یک لوکس = یک لومن بر سانتی متر مربع) (دیتلفسن، ۱۹۹۱).

گالوی و نیپر (۱۹۹۱)، لموت (۱۹۹۵)، اسپونر و همکاران (۲۰۰۰)، موز و همکاران (۲۰۰۲)، هانتلی و باریل (۲۰۰۲)، و برگر و کرت (۲۰۰۸) نام برد. به دلیل محدود کردن تعداد صفحات مقاله، از توضیح جزئیات پژوهش‌های گذشته صرف نظر کنیم، اما از آن مطالعات می‌توان نتیجه گرفت که برای آماده‌سازی کوآرتز نور قرمز و فلدسپار نور زرد نارنجی مناسب است. در عمل، در آزمایشگاه‌ها برای آماده‌سازی کوآرتز و فلدسپار معمولاً از یک نور استفاده شده است. ما نیز ضروری دیدیم که با بهره‌گیری از تجربه‌های پیشین و با استفاده از لامپ‌های موجود در ایران آزمایشگاه خود را با نور مناسب مجهز کنیم.

در ایران لامپ‌های مختلفی برای تولید طول‌موج‌های مختلف وجود دارد. با توجه به اینکه لامپ قرمز متعارف‌ترین لامپ موجود در بازار در محدوده طول موجی ۵۷۵-۶۵۰ نانومتر است، در سال ۱۳۸۵ برای تهیه این لامپ با کارخانه لامپ افروغ، تولیدکننده لامپ قرمز، تماس حاصل شد (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۰). لامپ قرمز تولیدی این کارخانه لامپ کم‌مصرف تیوپی مدل FPL است که در توان‌های ۱۸، ۲۴ و ۳۶ وات کار می‌کند. مشخصات فیزیکی آن عبارت است از دو لوله باریک به طول ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۱۷ میلی‌متر که در کنار هم قرار می‌گیرد. بخش کنترل کیفیت این کارخانه پارامترهای نوری و الکتریکی لامپ FPL قرمز و مهتابی با جداری پوشیده‌شده از طلق قرمز را به دست داد. همچنین، لامپ‌های دیگر قرمز موجود در بازار نیز مطالعه شد. اما، به علت وجود طیف مزاحم فرورسرخ (شکل ۶) این لامپ‌ها نیز مناسب تشخیص داده نشد. به همین دلیل چراغ‌های مناسب قرمز و دارای فیلتر کوداک از دانشگاه آکسفورد انگلستان به امانت گرفته شد و در آزمایشگاه آماده‌سازی اولیه نمونه در زیرزمین مؤسسه ژئوفیزیک نصب شد.

هم‌اکنون، برای راه‌اندازی آزمایشگاه جدید در محل کلاس‌های سابق مؤسسه ژئوفیزیک، نیاز به تهیه چراغ‌های مناسب با توجه به فناوری روز است. با توجه به مشکلی که در بالا اشاره کردیم، راه‌حلی که به نظر مناسب می‌رسد استفاده از ال ای دی است. با توجه به مزایای ال ای دی - شامل ایجاد باند فرکانسی محدود، بهره نوری بالا، تولید گرمای ناچیز، طول عمر بالا، مقاومت فیزیکی بالا، قابلیت خاموش و روشن شدن بالا، قدرت کاهش میزان جریان به سادگی توسط دیمر، رسیدن به حداکثر شار نوری در زمان کوتاه و مصرف پایین انرژی - طول‌موج‌های بین ۵۷۵-۶۲۵ نانومتر لازم است که شامل نورهای نارنجی و قرمز باشد. با استفاده از ال ای دی موجود در بازار ایران، دو لامپ با طول‌موج‌های ۶۱۲ نانومتر (نارنجی) و ۶۳۳ نانومتر (قرمز)، هر یک شامل پنج ال ای دی، ساخته شد (شکل ۷ الف).

سپس، با دستگاه طیف‌سنج گروبن آلمان آزمایشگاه طیف‌سنجی دانشکده برق دانشگاه تهران مشخصات نوری آن بررسی و با چراغ ال ای دی دانشگاه آکسفورد (شکل ۷ ب) مقایسه شد (شکل ۸). شکل ۸ الف، ب و پ به ترتیب طیف طول موجی لامپ‌های نارنجی و قرمز ساخته‌شده در ایران و چراغ آکسفورد را نشان می‌دهد. پیک طول‌موج مربوط به لامپ نارنجی تولیدشده در ایران ۵۹۰ نانومتر و پیک طول‌موج مربوط به چراغ آکسفورد ۵۸۰ نانومتر است.



شکل ۶. طیف طول موج لامپ سرخ معمولی. محور افقی طول موج برحسب نانومتر و محور قائم درصد شدت نور اشباع دستگاه (فتاحی و همکاران، ۱۳۸۷)

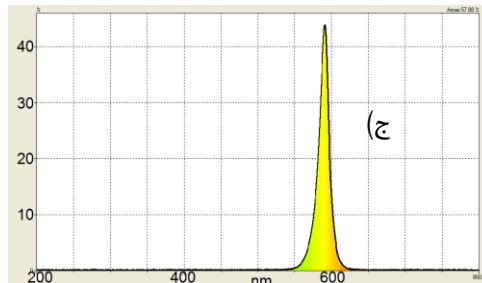
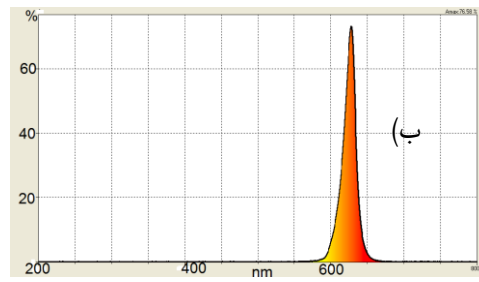
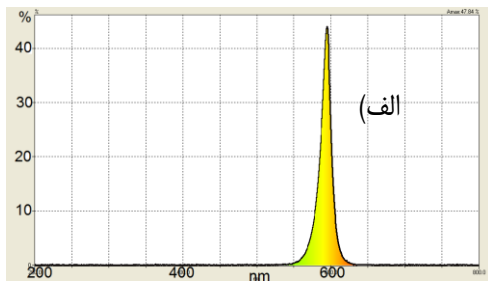


(ب)



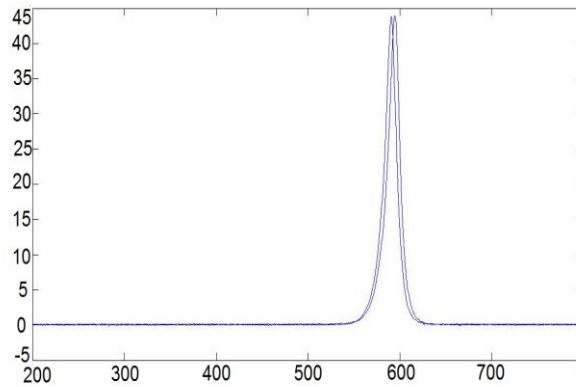
(الف)

شکل ۷. چراغ ال ای دی؛ الف) ساخته شده در ایران که درون آن پنج ال ای دی کوچک تعبیه شده است. ب) ساخته شده در آکسفورد که درون آن هشت ال ای دی کوچک تعبیه شده است.



شکل ۸. طیف طول موج؛ الف) لامپ ال ای دی نارنجی ساخته شده در ایران، ب) طول موج لامپ ال ای دی قرمز ساخته شده در ایران، و ج) طول موج لامپ ال ای دی نارنجی آکسفورد (وحدانی مطلق، ۱۳۹۵)

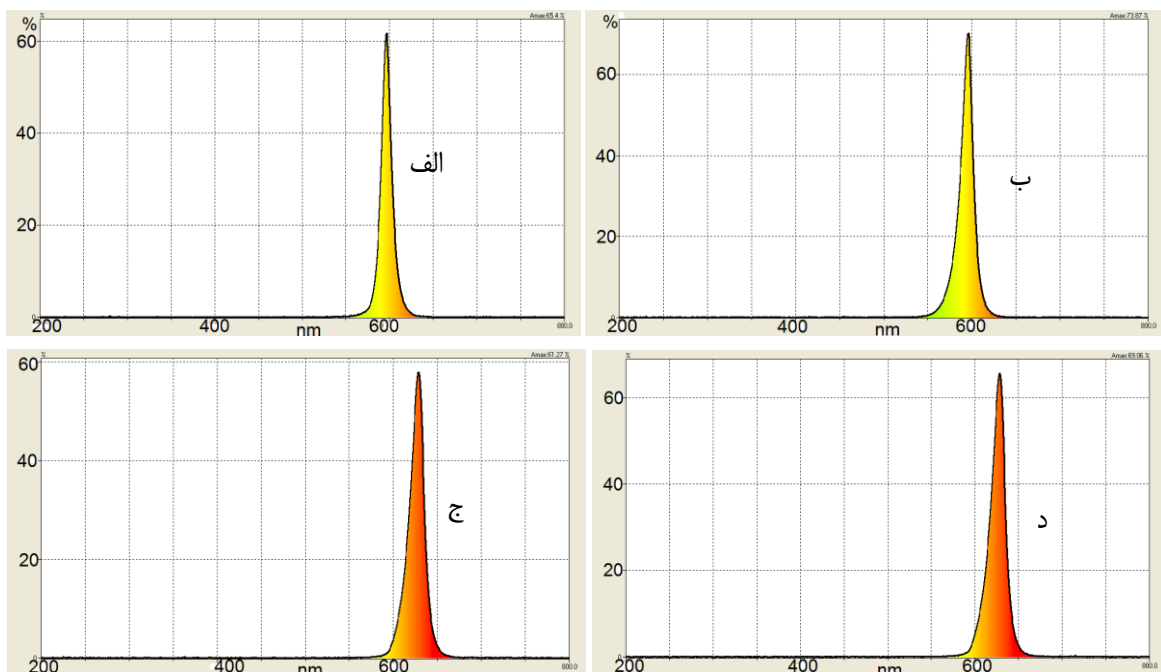
شکل ۹ دو پیک را در کنار هم نشان می دهد. پیک طول موجی سمت چپ مربوط به چراغ آکسفورد است. همان طور که می بینیم، تفاوت چندانی در پیک مربوط به طول موج این دو چراغ مشاهده نمی شود.



شکل ۹. تفاوت پیک دو چراغ مورد مطالعه؛ پیک طول موجی که به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر است، مربوط به چراغ منتقل شده از آکسفورد است و دیگری که به سمت طول موج‌های بلندتر است، مربوط به چراغ تهیه شده در ایران است (وحدانی مطلق، ۱۳۹۵).

ولی مسئله مهم‌تر مربوط به درصد نور سبزی است که هر کدام از این چراغ‌ها داراست و در شکل مربوط به هر یک از آن‌ها نیز مشهود است. چراغ مربوط به ایران دارای ۴٪ نور سبز و چراغ آکسفورد دارای ۳/۵٪ نور سبز است. برای کاهش اثر نور سبزی می‌توان با استفاده از دایمر^۱ شدت نور را کاهش داد و به میزانی رساند که مورد قبول است و به نورتایی نمونه آسیبی وارد نمی‌کند. به این معنا که با تعبیه دایمر روی چراغ مورد استفاده، در واقع شدت نور ورودی را کم یا زیاد می‌کند و هر زمان که نیاز به شدت بالای نور باشد، دایمر را متناسب با شدت مورد نیاز تنظیم می‌کنیم و در سایر موارد دایمر روی حداقل قرار می‌گیرد.

به منظور حذف اثر نور سبز که برای نمونه‌ها مضر است، می‌توان از فیلتر نوری استفاده کرد. به دلیل نبودن فیلتر نوری مناسب در ایران از طلق (عادی مورد استفاده برای جزوه) استفاده شد. برای مقایسه، ترکیب لامپ قرمز و طلق‌ها نیز بررسی شد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. طیف طول موج، الف) چراغ نارنجی با طلق قرمز، ب) چراغ نارنجی با طلق نارنجی، ج) چراغ قرمز با طلق قرمز، و د) چراغ قرمز با طلق نارنجی

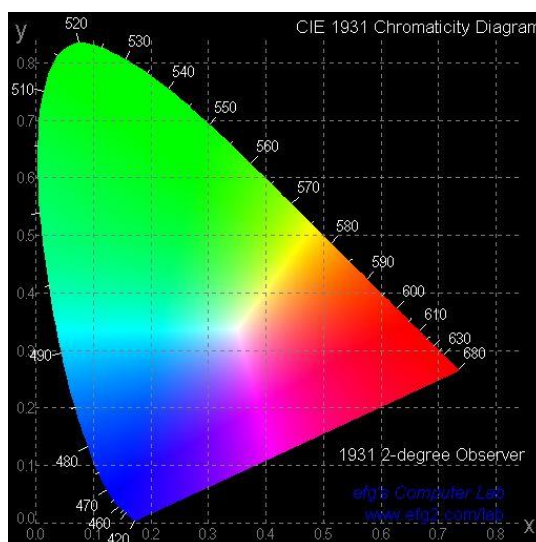
1. dimmer

برای مطالعه بیشتر طیف چراغ‌ها از نموداری به شکل ۱۱، با عنوان دیاگرام سی‌ای‌ای ۱۹۳۱ استفاده شد. این نمودار نشان‌دهنده فضای رنگی در دیاگرامی سه‌بعدی از رنگ‌هاست که با استفاده از ریاضیات تعریف می‌شود. یکی از نخستین فضاها رنگی، سی‌ای‌ای ۱۹۳۱ است که در سالی به همین نام، کمیسیون بین‌المللی پرتو افشانی ایجاد کرد. سی‌ای‌ای ۱۲۱ (شکل ۱۲) نسخه پیشرفته‌تر سی‌ای‌ای ۱۹۳۱ است که در هر دوی این نمودارهای سه‌بعدی، که ابعاد آن را با نام‌های X Y Z می‌شناسند، از هر یک از این ابعاد می‌توان به دیگری رسید.

در حاشیه‌های این نمودار، طول‌موج‌های متفاوت و رنگ نور مربوط به آن‌ها آورده شده است. برای مثال، این شکل نشان می‌دهد که طول موج ۵۹۰ نانومتر مربوط به رنگ امبر و طول موج ۵۵۰ نانومتر مربوط به رنگ سبز است. طول موج ۴۸۰ نانومتر رنگ آبی را نشان می‌دهد. در قسمت میانی آن در اثر ادغام همه رنگ‌ها به رنگ سفید می‌رسیم. در بخش میانی نمودار سی‌ای‌ای ۱۲۱ که پیشرفته‌تر از ۱۹۳۱ است و در شکل ۱۲ آن را می‌بینیم، منحنی‌ای مشاهده می‌شود که دارای اعدادی است که دما را در مقیاس درجه کلون نشان می‌دهد. می‌دانیم که اگر به جسم سیاه گرما بدهیم، در ابتدای امر به رنگ سرخ می‌رسد، سپس تمام طیف رنگ را به دست می‌دهد تا جایی که به رنگ سفید می‌رسد. رنگ سفید یعنی تمام طول موج نور مرئی را شامل شده است. در این نقطه است که بالاترین دمای ممکن را در جسم سیاه داریم. همان‌طور که می‌بینیم رنگ سفید در نقطه میانی این نمودار است. برای مثال، در دمای ۲۵۰۰ درجه کلون جسم سیاه به رنگ نارنجی می‌رسد و اگر باز هم دما را بالاتر ببریم، در دمای ۶۰۰۰ درجه کلون جسم سیاه دیگر سیاه نیست، بلکه طیف رنگ آن به ناحیه مربوط به رنگ سفید وارد می‌شود و رنگ سفید ساطع می‌کند. در مورد دو چراغ مورد مطالعه، طبق انتظار پیک طول موج باید روی رنگ امبر باشد که این مسئله را در شکل ۱۲ می‌بینیم.

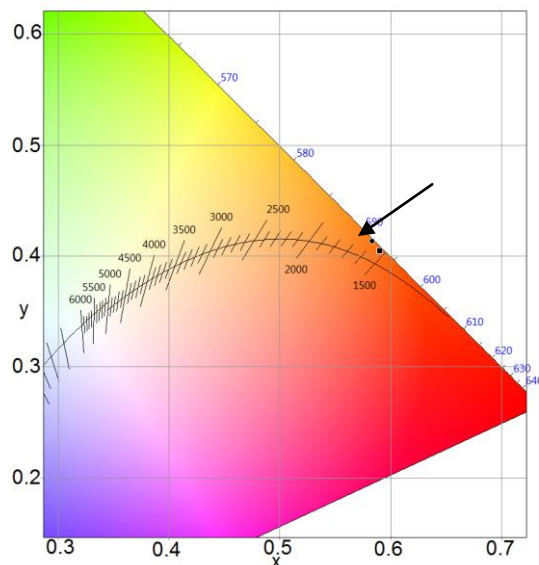
اندازه‌گیری کاهش سیگنال لومینسانس تحت نور آزمایشگاه

در آزمایشگاه سن‌یابی به‌روش لومینسانس دانشگاه آکسفورد، با استفاده از ال‌ای‌دی، چراغ‌هایی به شکل مستطیل به طول حدود ۱ متر و عرض حدود ۲۰ سانتی‌متر ساخته و در سقف نصب شده است (مشابه شکل ۷ ب اما با تعداد بیشتری ال‌ای‌دی). در بررسی اثر نور آزمایشگاه لومینسانس دانشگاه آکسفورد روی سیگنال فلدسپار، از فلدسپارهای با سیگنال خوش‌رفتار (نمونه SK1A که از ایران برداشت شده بود) استفاده شد. یک لایه از ذرات فلدسپار ($90-150 \mu\text{m}$) روی دیسک‌هایی آلومینیمی به قطر ۱۰ میلی‌متر با استفاده از اسپری سیلیکانی نصب شد که همانند چسب عمل می‌کند و به آن الیکوت^۱ می‌گویند.



شکل ۱۱. فضای رنگ سی‌ای‌ای ۱۹۳۱؛ این فضای رنگ را در سال ۱۹۳۱ کمیسیون بین‌المللی پرتو افشانی ایجاد کرد (<http://www.efg2.com/Lab/Graphics/Colors/Chromaticity.htm>). فضای رنگی سی‌ای‌ای در سه‌بعد مخروطی شکل (کله‌قندی) است که در سه بعد هندسی مجموع X، Y، Z هر نقطه روی آن ۱ است. رنگ‌های حاشیه رنگ‌های طیفی است.

1. aliquot



شکل ۱۲. تفاوت طول موج چراغ آکسفورد و لامپ ایران مورد مطالعه در نمودار سی آی ای ۱۲۱ که در حاشیه سمت راست نمودار به صورت دو نقطه دیده می شود و با فلش مشخص شده است. همان طور که می بینیم، تفاوت آن ها اندک و قابل چشم پوشی است.

تمام اندازه گیری ها به کمک دستگاه خودکار Riso TI-DA.15 انجام شد که توانایی اندازه گیری لومینسانس نوری را دارد و مجهز به منبع رادیواکتیو $^{90}\text{Sr}/\text{Y}^{90}$ (تولیدکننده اشعه بتا که توانایی تولید دزی به میزان حدود ۵ گری در دقیقه را داشت)، و یک لیزر مادون قرمز ۸۳۰ نانومتر با توان ۴۰۰ میلی وات بر سانتی متر مربع است. سه الیکوت استفاده شد و روی محل ۷ و ۹ و ۱۱ دیسک نگهدارنده ۴۸ الیکوتی دستگاه ریزو قرار گرفت. هدف از استفاده از سه الیکوت، کاهش اثر خطا بود. نخست، سیگنال طبیعی هر سه الیکوت با در معرض نور قرار گرفتن پاک شد. سپس، مراحل زیر انجام شد:

۱. هر سه الیکوت تحت ۴۰۰ ثانیه دز بتا قرار گرفت و تا دمای ۲۶۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شد. سپس، سرد شد تا به دمای اتاق رسید. مجدداً تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد پیش گرم و در آن دما تحت نور مادون قرمز با ۹۰٪ شدت قرار گرفت و سیگنال کاهشی لومینسانس آن اندازه گیری شد (RI). آنگاه تحت ۱۰۰ ثانیه دز بتا قرار گرفت و تا دمای ۲۶۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شد و مجدداً سرد شد تا به دمای اتاق رسید. مجدداً تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شد و در آن دما تحت نور مادون قرمز با ۹۰٪ شدت قرار گرفت و سیگنال کاهشی لومینسانس آن اندازه گیری شد (TI). مجدداً تا دمای ۲۸۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شد و در آن دما تحت نور مادون قرمز با ۹۰٪ شدت قرار گرفت و سیگنال کاهشی لومینسانس آن اندازه گیری شد تا مطمئن شویم که سیگنال مؤثری باقی نمانده است.

۲. فرایند فوق سه بار دیگر تکرار شد و بدین طریق سیگنال های لومینسانس (R2, R3, R4, T2, T3, T4) اندازه گیری شد. سپس، هر سه نمونه تحت ۴۰۰ ثانیه دز بتا قرار گرفت و تا دمای ۲۶۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شد و مجدداً سرد شد تا به دمای اتاق رسید.

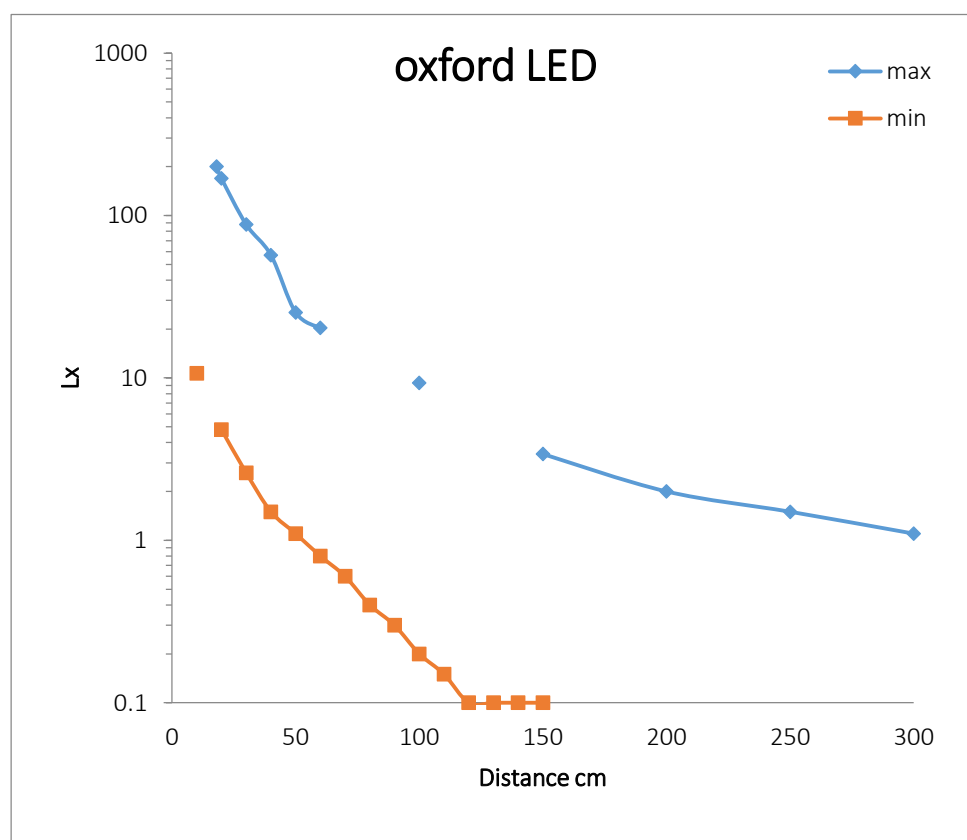
۳. آنگاه دیسک نگهدارنده ۴۸ الیکوتی حاوی هر سه الیکوت در داخل جعبه چوبی کاملاً تاریک به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت.

۴. هر سه الیکوت تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شد و در آن دما تحت نور مادون قرمز با ۹۰٪ شدت قرار گرفت و سیگنال کاهشی لومینسانس آن اندازه گیری شد. آنگاه تحت ۱۰۰ ثانیه دز بتا قرار گرفت و تا دمای ۲۶۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شد و مجدداً سرد شد تا به دمای اتاق رسید. مجدداً تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شد و در آن دما تحت نور مادون قرمز با ۹۰٪ شدت قرار گرفت و سیگنال کاهشی لومینسانس آن اندازه گیری شد. مجدداً تا دمای ۲۸۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شد و در آن دما تحت نور مادون قرمز با ۹۰٪

- شدت قرارگرفت و سیگنال کاهش لومینسانس آن اندازه گیری شد (R5,R6,R7,R8; T5,T6,T7,T8).
۵. تکرار مراحل ۱ و ۲
 ۶. دیسک نگهدارنده ۴۸ الیکوتی حاوی هر سه الیکوت روی میز کار به مدت ۲۴ ساعت قرارگرفت و شدت نور چراغ‌های اتاق روی شدت حداقل بود. در این حالت میزان متوسط نور تابش شده به دیسک نگهدارنده کوچک‌تر از ۰/۱ لوکس بود (شکل ۱۳).
 ۷. مرحله ۴ تکرار شد.
 ۸. مراحل ۱ و ۲ تکرار شد.
 ۹. دیسک نگهدارنده ۴۸ الیکوتی حاوی هر سه الیکوت بر بالای در ورودی اتاق در فاصله ۱ متری از اولین چراغ به مدت ۲۴ ساعت قرارگرفت و شدت نور چراغ‌های اتاق روی شدت حداکثر تنظیم شد. در این حالت میزان متوسط نور تابش شده به دیسک نگهدارنده ۹/۳ لوکس بود.
 ۱۰. مرحله ۴ تکرار شد.
 ۱۱. مراحل ۱ و ۲ تکرار شد.
 ۱۲. دیسک نگهدارنده ۴۸ الیکوتی حاوی هر سه الیکوت روی میز کار قرارگرفت و در فاصله ۱ متری از چراغ قابل حمل ال ای دی قرارگرفت و شدت نور چراغ‌های اتاق روی شدت حداکثر تنظیم شد. در این حالت میزان متوسط نور تابش شده به دیسک نگهدارنده ۹/۳ لوکس بود (شکل ۱۳).

یافته‌های پژوهش

به دنبال تقسیم هر R بر T، تصحیح حساسیت انجام شد. نسبت R5 بر T5 در هر حالت با سایر نسبت‌های R بر T



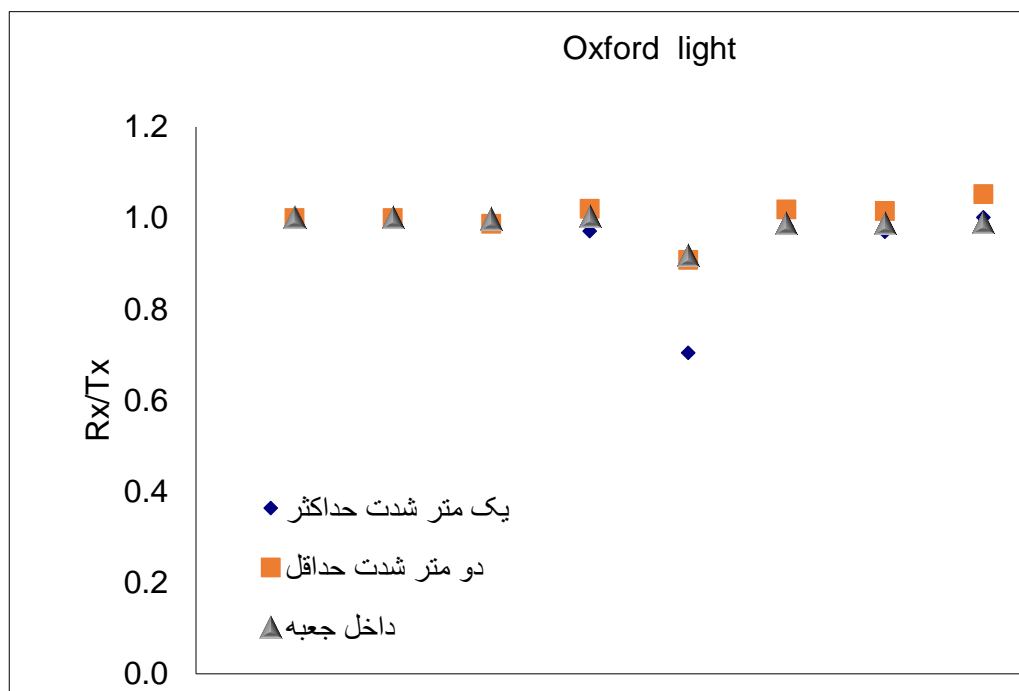
شکل ۱۳. نحوه تغییر اثر شدت روشنایی چراغ ساخته شده در آکسفورد با افزایش فاصله

مربوط مقایسه شد (شکل ۱۴). نگهداری نمونه‌ها در جعبه چوبی کاملاً تاریک به مدت ۲۴ ساعت حدود ۱۰٪ کاهش سیگنال فلدسپار را در اثر پدیده Fading نشان داد. این میزان کاهش تقریباً مساوی با کاهش سیگنال لومینسانس الیکوت‌ها به علت در معرض نور مینیمم قرارگرفتن روی میز آزمایشگاه بود که نشان می‌دهد استفاده از چراغ سقفی آکسفورد با شدت کم صدمه‌ای طی ۲۴ ساعت به سیگنال لومینسانس نمونه نمی‌زند. نسبت R5 بر T5 در مقایسه با نسبت‌های R بر T مربوط هنگامی که الیکوت‌ها در فاصله ۱ متری تحت نور سقفی با شدت ماکزیمم قرارگرفت، به میزان ۳۰٪ کاهش یافت؛ یعنی، شدت روشنایی (میزان شار نوری تابیده‌شده بر واحد سطح) تأثیر بسزایی بر کاهش سیگنال لومینسانس دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

برای انتخاب نور مناسب، با مطالعه مقالات منتشرشده به این نتیجه رسیدیم که هر آزمایشگاه در هر دوران با توجه به فناوری در دسترس با انجام آزمایش‌هایی نور مناسب را بررسی و لامپ مناسب را در آزمایشگاه خود نصب کرده است. لذا، نخست، نورهای مضر برای نمونه شناسایی شد. نورهایی که امنیت برای چشم و حداقل ضرر را برای نمونه دارد، در ناحیه طول موج ۵۷۵-۶۲۵ نانومتر قرار می‌گیرد. لذا، ال ای دی‌های نارنجی و قرمز مطالعه و از هر نور، لامپی شامل پنج ال ای دی ساخته شد. طیف نوری لامپ‌ها مطالعه شد. لامپ ال ای دی قرمز رنگ (در طول موج ۶۳۳ نانومتر)، به علت نداشتن طول‌موج‌های سبز با هر شدتی که استفاده می‌شود، حداقل صدمه را به نمونه می‌زند، اما آسایش بصری کمتری نسبت به نور نارنجی دارد.

وجود دنباله طیف سبزرنگ به میزان ۴٪ در لامپ ال ای دی نارنجی ساخت ایران (۶۱۲ نانومتر) و ۵/۳٪ در چراغ ال ای دی ساخت آکسفورد به نمونه صدمه می‌زند. اما آزمایش‌ها نشان داد چنانچه چراغ آکسفورد با شدت کم استفاده شود، تأثیری بر کاهش سیگنال لومینسانس نمونه ندارد. اما چنانچه نمونه به مدت یک روز تحت تأثیر چراغ آکسفورد با شدت حداکثر قرارگیرد، ۳۰٪ از سیگنال لومینسانس فلدسپار پاک می‌شود.



شکل ۱۴. R_x/T_x سیگنال نرمالیزه شده لومینسانس فلدسپار است. مرحله‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۶ و ۷ و ۸ تکرار شده است. در مرحله ۵، الیکوت‌ها پس از ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد.

طیف‌های ساطع شده از ال‌ای‌دی‌های نارنجی خریداری شده از ایران تقریباً مشابه طیف ساطع شده از چراغ ال‌ای‌دی نارنجی ساخته شده در آکسفورد بود. این شباهت پیشنهاد می‌کند که می‌توان از ال‌ای‌دی‌های نارنجی موجود در ایران استفاده و نور مناسب آزمایشگاه سن‌یابی به‌روش لومینسانس را تأمین کرد.

برای کاهش اثر نور سبز و استفاده از این چراغ‌ها با شدت بالا، نیاز به فیلتر مناسب نارنجی است. استفاده از طلق به جای فیلتر، میزان نور سبز لامپ نارنجی را کاهش داد. لذا، می‌توان با ترکیب لامپ ال‌ای‌دی نارنجی ساخت ایران (۶۱۲ نانومتر) و طلق نارنجی، آزمایشگاه را با چراغ نارنجی با شدت متوسط روشن کرد. اما، به‌منظور بررسی دقیق‌تر، ضروری است این چراغ در آزمایشگاه لومینسانس نوری مؤسسه ژئوفیزیک نصب و اثر آن بر کاهش سیگنال لومینسانس کوآرتز و فلدسپار در شدت‌های مختلف بررسی تا شدت اپتیمم تعیین شود.

سپاسگزاری

از آقای سلمان محسنی و خانم مروارید جبلی جوان در دانشکده برق و علوم کامپیوتر پردیس فنی دانشگاه تهران برای همکاری پیوسته با نویسندگان در طیف‌سنجی چراغ‌ها سپاسگزاری می‌نماییم. همچنین، از سرکار خانم جبلی جوان برای فراهم کردن شکل ۱۰ تشکر می‌کنیم. بدون کمک آزمایشگاه سن‌یابی به روش لومینسانس دانشگاه آکسفورد این تحقیق به ثمره مطلوب نمی‌رسید.

منابع

- فتاحی، م.، نازلی، ص.، محسنی، س. (۱۳۹۰). طیف‌سنجی لامپ‌های سرخ و استفاده از نورتابی در بررسی مناسب بودن منبع نوری آزمایشگاه آماده‌سازی نمونه‌های سن‌یابی به روش لومینسانس، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۷(۳): ۱۷-۲۶.
- وحدانی مطلق، س. (۱۳۹۵). چرا آزمایشگاه سن‌یابی به روش لومینسانس نوری باید تاریک باشد؟ هفدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، اردیبهشت: ۱۳۹۵-۱۳۹۹.
- Berger, G.W., Kratt, C. (2008). LED laboratory lighting. *Ancient TL*, 26: 1.
- Bøtter-Jensen, L., Duller, G.A.T., Pooleton N.R.J. (1994). Excitation and emission spectrometry of stimulated luminescence from quartz and feldspars. *Radiation Measurements*, 23(2-3): 613-616.
- Ditlefsen, C. (1991). Luminescence dating of Danish Quaternary sediments. Ph.D. thesis, University of Aarhus, Denmark.
- Duller, G. (2008). Luminescence Dating Guidelines on using luminescence dating in archaeology. English Heritage Publishing, Product Code 51431.
- Duller, G.A.T., Bøtter-Jensen, L. In. (1996). Comparison of optically stimulated luminescence signals from quartz using different stimulation wavelengths. *Radiation Measurements*, 26(4): 603-609.
- Fattahi, M., Nazli, S., Mohseni, S. (2011). Investigation of suitability of installed red light in the OSL sample preparation Laboratory in Iran using spectrometry and luminescence methods, *Earth and Space Physics Journal*, 3: 17-26. [in Persian]
- Galloway, R.B., Napier, H.J. (1991). Alternative laboratory illumination: 'gold' fluorescent tubes. *Ancient TL*, 9: 6-9.
- Huntley, D.J., Baril, M.R. (2002). Yet another note on laboratory lighting. *Ancient TL*, 20: 39-40.
- Jensen, H., Barbetti, M. (1979). More on filters for laboratory illumination. *Ancient TL*, 7: 10.
- Lamothe, M. (1995). Using 600-650 nm light for IRSL sample preparation. *Ancient TL*, 13: 1-4.
- Mauz, B., Bode, T., Mainz, E., Blanchard, H., Hilger, W., Dikau, R., Zöller, L. (2002). The luminescence dating laboratory at the University of Bonn: equipment and procedures. *Ancient TL*, 20: 53-61.
- Smith, B.W. (1988). More cautions on laboratory illumination. *Ancient TL*, 6: 9-10.
- Spooner, N.A., Prescott, J.R. (1986). A caution on laboratory illumination. *Ancient TL*, 4: 46-48.
- Spooner, N.A., Questiaux, D.G., Aitken, M.J. (2000). The use of sodium lamps for low-intensity laboratory safelighting for optical dating. *Ancient TL*, 18: 45-49.
- Sutton, S.R., Zimmerman, D.W. (1978). A blue-UV absorbing filter for laboratory illumination. *Ancient TL*, 5: 5.
- Vahdani Motlagh, S., (2016). Why luminescence laboratory should be dark? 17th Iran Geophysics Conference: 1395-1399. [in Persian]