

بررسی ویژگی‌های شیوه‌های رایج دزیمتری گذشته‌نگر

ابوالفضل حیدرزاده* و مسعود وهابی مقدم

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

*رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، کد پستی: ۴۱۶۳۵-۳۴۸۹

پست الکترونیکی: a.heydarzade66@yahoo.com

چکیده

نگرانی‌های عمومی در پی حوادث هسته‌ای اخیر و پرتوگیری‌های ناشی از رها شدن مواد پرتوزا به محیط به نحو چشمگیری افزایش یافته است. در همین راستا، ضرورت توسعه شیوه‌های مطمئن برای برآورد میزان پرتوگیری و دز دریافتی افراد، به‌ویژه در مواردی که هنگام پرتوگیری از دزیمترهای متداول استفاده نشده باشد، روز به روز بیشتر احساس می‌شود. برآورد به موقع میزان پرتوگیری افراد علاوه بر آنکه نقش اساسی در تعیین نحوه مراقبت‌های اضطراری پزشکی دارد، داده‌ای کلیدی در تدوین استراتژی مقابله با بحران به شمار می‌رود. دزیمتری گذشته‌نگر فرآیندی برای برآورد دز افراد پس از قرار گرفتن در معرض پرتوهای یون‌ساز محسوب می‌شود. در این پژوهش، سعی شده است پتانسیل‌ها و محدودیت‌های این روش‌ها مورد بررسی قرار گیرد و امکان عملی یک شیوه برگزیده نیز به محک تجربه گذاشته شود. بدین منظور، قطعات الکترونیکی تلفن‌های همراه از یک مدل متداول شامل خازن، مقاومت و القاگر، از نظر خاصیت لومینسانس ارزیابی شده‌اند. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که آلومینای موجود در قطعات الکترونیکی می‌تواند سیگنال لومینسانس مناسبی تولید کند. بررسی ترمولومینسانس قطعات یادشده پس از آماده‌سازی شیمیایی و پرتودهی توسط چشمه کبالت- 60 از طریق آنالیز منحنی‌های درخشش مؤید آن است که آلومینای موجود در قطعه القاگر را می‌توان به عنوان گزینه‌ای مناسب برای برآورد دز در پی حوادث هسته‌ای و سوانح رادیولوژیکی در نظر گرفت. ضمناً این تجربه بیانگر کاربرد سیستم‌های موجود دزیمتری ترمولومینسانس برای دزیمتری گذشته‌نگر است.

کلیدواژگان: دزیمتری گذشته‌نگر، دزیمتری بیولوژیکی، دزیمتری لومینسانس، دزیمتری تشدید پارامغناطیسی الکترون، قطعات الکترونیکی تلفن همراه.

۱. مقدمه

راکتورهای هسته‌ای، آزمایش جنگ‌افزارهای هسته‌ای و سوء تدبیر در مدیریت ضایعات هسته‌ای را نام برد. علاوه بر این، پتانسیل حمله‌های تروریستی به تأسیسات هسته‌ای یا استفاده از مواد هسته‌ای و پرتوزا توسط گروه‌های تروریستی نگرانی قابل ملاحظه‌ای را در برخی جوامع ایجاد کرده است. بازه دز جذبی دریافتی توسط افراد، نوع پرتو و مسیرهای غالب پرتوگیری داخلی یا خارجی بستگی به نوع خاص رویداد دارد. از آنجا که

کاربرد گسترده پرتوهای یونیزان و مواد پرتوزا منجر به بروز آسیب‌های متفاوت برای افرادی که دز پرتوی ناخواسته از پرتوها دریافت کرده‌اند شده است. افراد در اثر بروز سوانح گوناگون دچار پرتوگیری می‌شوند. از جمله این سوانح می‌توان پرتوگیری بیش از حد بیماران در رادیوگرافی، رهاسازی مواد پرتوزا در محیط ناشی از نشت چشمه‌های پرتوزای ایزوله شده، حوادث

دز، «دزیمتری سیتوژنتیکی»^۱ گفته می‌شود، زیرا لنفوسیت‌ها نسبت به دیگر عناصر موجود در خون، حساسیت بیشتری نسبت به پرتوها دارند، در دزیمتری سیتوژنتیکی از کروموزوم‌های موجود در لنفوسیت خون بهره گرفته می‌شود. در واقع، بخش بسیار حساس سلول نسبت به پرتوهای یون‌ساز «دی ان ای»^۲ موجود در کروموزوم‌های لنفوسیت‌های خون است. بسته به اینکه سلول در چه مرحله از چرخه سلولی است، ناهنجاری‌های کروموزومی ایجاد شده در آن متفاوت خواهد بود [۳].

به طور کلی، ناهنجاری‌های کروموزومی به دو دسته پایدار و ناپایدار تقسیم می‌شوند. ناهنجاری پایدار، تا سال‌ها بعد از پرتوگیری و ناهنجاری‌های ناپایدار (بسته به نوع آن‌ها)، تنها تا چند روز، چند هفته یا چند ماه بعد از پرتوگیری در سلول‌ها باقی می‌مانند. بنابراین در استفاده از ناهنجاری‌های کروموزومی برای دزیمتری باید به نوع آن توجه نمود، چرا که در صورت استفاده از ناهنجاری‌های ناپایدار برای دزیمتری نمی‌توان از آن‌ها برای حوادث پرتوی که در گذشته دور (سال‌ها قبل) صورت گرفته استفاده نمود.

ناهنجاری‌های دو مرکزی^۳، حلقه‌های مرکزدار^۴ و بخش‌های بی‌مرکز^۵ از جمله ناهنجاری‌های ناپایدار رایج مورد استفاده در دزیمتری هستند. حلقه‌های مرکزدار در مقایسه با دومرکزی‌ها در لنفوسیت‌های انسان به ندرت یافت می‌شوند. برخی محققان در برآورد دز، آن‌ها را با دومرکزی‌ها ترکیب می‌کنند، در حالی که برخی دیگر، آن‌ها را نادیده می‌گیرند [۴].

از جمله ناهنجاری‌های پایدار جابجایی‌های معکوس^۶، جابجایی‌های درون‌شبه‌ای^۷ و جابجایی غیر معکوس^۸ هستند. جابجایی غیرمعکوس در واقع، یک نوع تبادل داخل کروموزومی است، یعنی بخش‌های شکسته شده یک کروموزوم با یکدیگر جابجا می‌شوند. احتمال شناسایی چنین ناهنجاری‌هایی در

دزیمتری‌های فردی متداول تنها بین پرتوکاران توزیع می‌شود، لازم است روش‌هایی نیز برای تخمین دز پرتوی دریافتی افراد جامعه مورد بررسی و استفاده قرار گیرد [۱].

دزیمتری گذشته‌نگر عبارت است از تخمین دز پرتوی دریافتی توسط یک فرد که اخیراً (طی چند روز یا چند هفته اخیر) یا طی گذشته دور (چند ماه یا چند سال اخیر) و یا به صورت مزمن، طی سالیان متمادی گذشته، پرتوگیری کرده است. در دزیمتری گذشته‌نگر سعی بر آن است در غیاب دزیمتری‌های متداول، با به کارگیری روش‌های بیولوژیکی یا فیزیکی و استفاده از نمونه‌های بیولوژیکی فرد یا نمونه‌های محیطی و موادی که پیرامون فرد پرتودیده وجود دارد، برآوردی از مقدار پرتوگیری فرد حاصل شود. در مواردی که افراد دزیمتری‌های فردی مانند فیلم بچ یا TLD در اختیار دارند، می‌توان از روش‌های دزیمتری گذشته‌نگر برای اعتباربخشی به دز برآورد شده توسط این دزیمترها استفاده کرد [۲].

متداول‌ترین روش‌های ارزیابی دز پرتوی بعد از وقوع سانحه پرتوی عبارت‌اند از: دزیمتری بیولوژیکی، دزیمتری تشدید پارامغناطیسی الکترون و دزیمتری لومینسانس. در ادامه به صورت اجمالی اساس کار هر یک توضیح داده می‌شود و مزایا و محدودیت‌های هر روش بیان می‌گردد.

۲. دزیمتری بیولوژیکی

در این روش، بر مبنای تأثیری که پرتوهای یون‌ساز بر بافت‌ها و سلول‌های بدن می‌گذارند، می‌توان دز پرتوی دریافتی فرد را تخمین زد. از جمله بررسی میزان تغییرات در عناصر تشکیل‌دهنده خون از قبیل پلاکت، گلبول‌های خون، تغییر در میزان ضخامت و رشد موی فرد پرتودیده، تغییر در میزان آنزیم‌های ترشح‌یافته از غدد، تغییر در میزان تحرک اسپرم در مردان و... [۳].

نوع دیگری از دزیمتری بیولوژیکی، برآورد دز پرتوی با استفاده از ناهنجاری‌های کروموزومی ایجاد شده در اثر پرتوگیری سلول‌های فرد پرتودیده است. به این روش برآورد

1. Cytogenetic dosimetry
2. DNA
3. Dicentric
4. Centric rings
5. Acentric fragments
6. Reciprocal translocation
7. Interstitial translocations
8. Non-reciprocal translocations

- ناپایداری برخی از ناهنجاری‌ها نسبت به زمان؛
 - فراوانی زمینه بالای برخی از ناهنجاری‌ها؛
 - وابستگی محدوده دز پرتوی قابل اندازه‌گیری به نوع ناهنجاری؛
 - زمان طولانی برای کشت و آنالیز لئوسیت‌ها.
- مهم‌ترین عواملی که ناهنجاری‌های دومرکزی را نسبت به دیگر ناهنجاری‌ها متمایز می‌کند، عبارت‌اند از:
- اختصاصی بودن این ناهنجاری‌ها در مورد پرتوهای یون‌ساز؛
 - فراوانی زمینه کم در افراد پرتودیده (۱ تا ۲ دومرکزی در ۱۰۰۰ سلول)؛
 - احتمال وقوع زیاد در بین ناهنجاری‌های ناپایدار (۶۰ درصد)؛
 - دارا بودن کمینه دز قابل آشکارسازی پایین (۰/۱ Gy).
- این ویژگی‌ها باعث می‌شود که دومرکزی‌ها نسبت به دیگر ناهنجاری‌های کروموزومی در ارزیابی دز پرتوی برتری داشته باشند. به طور کلی، می‌توان در صورت پرتوگیری حاد تا حدود ۵ گری، از دومرکزی‌ها برای ارزیابی دز استفاده کرد.
- محدودیت‌های استفاده از دومرکزی‌ها برای دزیمتری عبارت‌اند از:
- محدوده دز قابل آشکارسازی تا حداکثر ۵ گری؛
 - نیاز به نمونه‌برداری سریع از خون فرد پرتودیده؛
 - مناسب نبودن این ناهنجاری برای تخمین دز در پرتوگیری‌های مزمن یا پرتوگیری‌هایی که طی سال‌ها قبل اتفاق افتاده است.
 - نیاز به آنالیز ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ سلول در صورت پرتوگیری با دزهای اندک (۱/ گری)، که در صورت پرتوگیری تعداد زیادی از افراد جامعه آنالیز این تعداد برای هر نفر بسیار وقت‌گیر است.
 - نیاز به متخصص باتجربه برای شناسایی و آنالیز ناهنجاری [۶، ۷ و ۸].

مقایسه با ناهنجاری‌های بین کروموزومی کمتر است؛ برای مثال در دز پرتوی ۴ گری تنها ۵ درصد از این نوع ناهنجاری شناسایی می‌شوند [۵].

برای اینکه ناهنجاری‌های بیان شده در زیر میکروسکوپ قابل مشاهده باشند، باید سلول‌های لئوسیت موجود در خون، با استفاده از مواد محرک، مراحل رشد خود (چرخه سلولی) را به طور طبیعی طی کنند. برای اینکه سلول چرخه خود را به صورت طبیعی طی کند، چند ساعت طول می‌کشد؛ بنابراین در مواقع پرتوگیری بسیار شدید، که زمان عامل بسیار مهمی برای جلوگیری از مرگ فرد پرتودیده است، منتظر ماندن برای طی شدن چرخه سلول‌های لئوسیت به طور طبیعی، عملاً اتلاف وقت برای درمان فرد است. در چنین مواقعی، روشی به نام تراکم پیش‌رس کروموزومی^۱ وجود دارد که باعث می‌شود کروماتین‌های موجود در هسته سلول، در مدت زمان کمتری و در مراحل اولیه چرخه سلولی به شکل آشنای کروموزوم درآید. در این روش، مواد مخصوصی با سلول‌ها ترکیب می‌شوند که باعث تراکم کروموزوم‌ها در زمان کمتر می‌شود [۴].

ریزهسته‌ها^۲ نیز از جمله ناهنجاری‌های کروموزومی هستند که به صورت یک هسته کوچک در سیتوپلاسم سلول علاوه بر هسته اصلی ظاهر می‌شوند [۴].

از مزایای استفاده از ناهنجاری‌های کروموزومی موجود در لئوسیت‌ها برای دزیمتری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- آسان بودن تهیه نمونه برای ارزیابی
- عدم نیاز به برنامه‌های شبیه‌سازی و محاسبات پیچیده برای تخمین دز (در صورت استفاده به موقع از نوع ناهنجاری).
- از معایب استفاده از این روش‌ها برای دزیمتری عبارت است از:
- وابستگی برخی از ناهنجاری‌های کروموزومی به شرایط محیطی، نحوه زندگی و عوامل ژنتیکی؛

1. Premature Chromosome Condensation
2. Micro Nucle

- مزیت‌های استفاده از ریزهسته‌ها برای دزیمتری عبارت است از:
- سریع و آسان بودن تشخیص این ناهنجاری در زیر میکروسکوپ (بدون نیاز به تجربه وسیع)؛
 - امکان شمارش آن‌ها به صورت خودکار و با استفاده از تجهیزات الکترونیکی؛
 - دارا بودن حساسیت و دقت کافی (در مقایسه با دیگر ناهنجاری‌های کروموزومی)؛
- محدودیت‌های شمارش ریزهسته‌ها برای دزیمتری عبارت است از:
- بیشینه دز قابل آشکارسازی تا حداکثر ۴ گری؛
 - نیاز به آنالیز تعداد سلول‌های بیشتر (در مقایسه با دومرکزی‌ها) به علت فراوانی کمتر آن‌ها؛
 - مناسب نبودن این ناهنجاری برای تخمین دز در پرتوگیری‌های مزمن یا پرتوگیری‌هایی که طی سال‌ها قبل اتفاق افتاده است؛
 - فراوانی زمینه بالا در جمعیت پرتوندیده و تغییرپذیری فراوانی آن‌ها در میان افراد مختلف (۷/۸ به ازای هر ۱۰۰ سلول)؛
 - وابستگی فراوانی ناهنجاری به سن، جنس و نحوه زندگی فرد (سیگاری بودن یا نبودن)؛
 - مناسب نبودن ارزیابی آن برای دزیمتری در دزهای پایین‌تر از ۱ گری (اگرچه در برخی منابع دزهای پایین‌تر از ۱ گری نیز به وسیله این روش برآورد شده است) [۲ و ۸].
- جابجایی‌های کروموزومی از جمله ناهنجاری‌های پایدار هستند که در دزیمتری به کار می‌روند. با استفاده از این ناهنجاری می‌توان پرتوگیری‌های مزمن، تقسیم‌بندی شده و یا پرتوگیری‌هایی را که در سال‌ها قبل اتفاق افتاده، تخمین زد. از محدودیت‌های استفاده از جابجایی‌ها برای دزیمتری عبارت است از:
- فراوانی زمینه بالا (۲ تا ۱۰ در ۱۰۰۰ سلول)؛
 - وابستگی فراوانی ناهنجاری به سن، جنس و نحوه زندگی فرد (سیگاری بودن یا نبودن)؛
 - تغییرات قابل توجه در فراوانی آن‌ها در افراد مختلف، عمدتاً وابسته به سن (مخصوصاً در سنین بالای ۴۰ سال)؛
 - تأثیر عوامل محیطی و نوع زندگی بر فراوانی این ناهنجاری [۶، ۸ و ۹].
- به طور کلی، در صورت طی شدن چرخه سلولی لنفوسیت‌های کشت شده به صورت طبیعی، حداکثر دز قابل آشکارسازی توسط انواع مختلف این ناهنجاری‌ها ۵ گری می‌باشد، زیرا در دزهای بالاتر با مرگ میتوزی سلول مواجهیم. به عبارت دیگر، طی مدت زمانی که سلول‌ها برای کشت و آنالیز آماده می‌شوند، بسیاری از این سلول‌ها از بین می‌روند. در چنین مواقعی، مناسب‌ترین روش برای تخمین دز پرتوی، آنالیز ناهنجاری‌های کروموزومی با روش تراکم پیش‌رس کروموزومی است.
- از مزایای این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- توانایی تخمین دز در محدوده دزهای بالا (تا 20 Gy)، بسته به نوع ناهنجاری مورد بررسی)؛
 - روش سریع و آسان برای ارزیابی دز؛
 - عدم نیاز به جداسازی لنفوسیت‌ها از خون (در صورت استفاده از مواد شیمیایی نظیر گالیکولین A برای تراکم سریع‌تر کروموزوم‌ها)؛
 - آسان‌تر بودن ساخت منحنی پاسخ دز این روش نسبت به روش‌های متداول آنالیز کروموزوم‌های متافاز؛
 - قابلیت تشخیص پرتوگیری بخشی از بدن یا تمام بدن ناشی از پرتوهای با انتقال انرژی خطی زیاد یا کم به علت ارزیابی سریع [۲ و ۸].
- دو روش از روش‌های ارزیابی دز در موارد پرتوگیری با پرتوهای با انتقال انرژی خطی زیاد تراکم پیش‌رس کروموزومی،

رهایسازی الکترون‌های به دام افتاده، به ماده انرژی داده می‌شود. با دریافت انرژی الکترون‌های به دام افتاده به باند ظرفیت بازگشت می‌کند و در آنجا با حفره‌ها بازترکیب می‌شوند و انرژی اضافه الکترون به صورت نور از ماده گسیل می‌شود. با تعیین تعداد فوتون‌های گسیلی از ماده می‌توان دز پرتوی دریافتی ماده را برآورد کرد. اگر برای رهایسازی الکترون‌ها از دام‌ها از گرما استفاده شود، فرآیند مورد نظر گرماتاب و اگر از نور استفاده گردد، نورتاب نامیده می‌شود [۱].

در دزیمتری تشدید پارامغناطیسی الکترون برای تعیین تعداد الکترون‌های به دام افتاده و تخمین دز پرتوی از دستگاه طیف‌سنج تشدید پارامغناطیسی الکترون استفاده می‌شود. الکترون‌های به دام افتاده، نقش مراکز پارامغناطیسی را در ماده بازی می‌کنند؛ بنابراین، همواره در غیاب میدان مغناطیسی خارجی دارای گشتاور دوقطبی مغناطیسی دائمی هستند. نمونه مورد بررسی، داخل دستگاه طیف‌سنج قرار داده می‌شود و تحت تأثیر میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌گیرد. خروجی دستگاه به صورت سیگنالی در می‌آید که همان طیف تشدید پارامغناطیسی ماده مورد بررسی است. مساحت زیر منحنی طیف به دست آمده متناسب با تعداد الکترون‌های به دام افتاده در دام‌ها و در نتیجه، متناسب با دز پرتوی دریافتی ماده مورد بررسی است [۱۱].

به طور کلی مزیت‌های استفاده از مواد پیرامون سانحه پرتوی جهت انجام دزیمتری عبارت است از:

- آسان‌تر بودن تخمین دز در پرتوگیری‌های موضعی یا غیریکنواخت فرد (در صورت استفاده از مواد مناسب دزیمتری همراه فرد)؛
- ارزیابی مقدماتی دز پرتوی افراد جامعه در کوتاه‌ترین زمان ممکن (در مقایسه با روش‌های بیولوژیکی)؛
- تخمین دز پرتوی در مواقعی که سال‌های زیادی از زمان سانحه گذشته است (با استفاده از برخی از مواد)؛

شمارش کل کروموزوم‌ها (شامل کروموزوم‌های سالم، ناهنجاری‌ها و بخش‌های بی‌مرکز) در سلول‌های پرتودیده و همچنین بررسی نسبت طول بلندترین کروموزوم مشاهده شده در سلول به طول کوتاه‌ترین آن در مرحله G₂ از چرخه سلول است. منحنی‌های به دست آمده از شمارش کل کروموزوم‌ها و بررسی نسبت طول بلندترین کروموزوم به کوتاه‌ترین آن در مرحله G₂ از چرخه سلول‌های پرتودیده با یون کربن -۱۲ به ترتیب، به صورت خطی و درجه دو است. بررسی‌ها نشان داده است که امکان ارزیابی دز تا مقدار ۴۰ گری توسط این روش‌ها امکان‌پذیر است [۱۰].

۳. دزیمتری با استفاده از مواد پیرامون حادثه

با استفاده از روش‌های تشدید پارامغناطیسی الکترون و لومینسانس می‌توان دز پرتوی را از برخی از مواد پیرامون حادثه برآورد کرد. اساس کار هر یک از دو روش ذکر شده بر مبنای تعیین تعداد الکترون‌های به دام افتاده در نواقص شبکه ماده جامد مورد بررسی است، زیرا تعداد الکترون‌های به دام افتاده در این نواقص، متناسب با دز پرتوی دریافتی ماده است. به مواد مناسب پیرامون حادثه پرتوی در اصطلاح، دزیمتری تصادفی یا شانسی گفته می‌شود.

موادی که برای تخمین دز پرتوی استفاده می‌شوند، موادی عایق یا نیمه‌رسانا همراه با ناخالصی هستند که دارای ترازهای مجاز انرژی در ناحیه گاف انرژی‌اند. به این ترازها دام‌های الکترونی گفته می‌شود. در اثر برخورد پرتوهای یون‌ساز به این مواد، تعدادی از الکترون‌ها در اثر تحریک از باند ظرفیت به باند هدایت می‌روند و تعدادی از آن‌ها در بازگشت به باند ظرفیت در دام‌های الکترونی به دام می‌افتند. تعداد الکترون‌های به دام افتاده در این دام‌ها متناسب با دز پرتوی دریافتی ماده است. برای تعیین دز پرتوی دریافتی ماده لازم است تعداد الکترون‌های به دام افتاده برآورد شود. برای این منظور، جهت

سرامیک و آجر و... برای ارزیابی دز دریافتی فرد حاضر در محل وقوع سانحه، نیازمند بررسی‌های طولانی مدت و پیچیده است. باید اطلاعات کافی در زمینه شرایط و نحوه سانحه پرتوی داشت و نیازمند محاسبات اضافی و یا روش‌های شبیه‌سازی با مونت کارلو است؛ بنابراین، تحقیقات اخیر در پی شناسایی موادی است که همراه انسان یافت می‌شوند و اجازه تخمین دز فردی را می‌دهند. با استفاده از مواد همراه فرد دیگر نیازی به محاسبات اضافی و پیچیده نیست، زیرا به طور تقریبی می‌توان گفت که دز دریافتی ماده همراه فرد پرتو دیده با دز خود فرد برابر است [۱۳].

۵. روش کار

جهت آزمون کارایی تلفن همراه به عنوان یک وسیله فراگیر برای دزیمتری گذشته‌نگر، قطعات الکترونیکی آن مورد ارزیابی دزیمتری به روش گرماتاب قرار گرفته است. ماده مناسب در این قطعات، آلومینای موجود در ساختار زیرلایه آن‌هاست [۱۴]. بر این اساس، سه مورد از قطعات الکتریکی داخل تلفن همراه نوکیای مدل ۶۳۰۰ را که شامل خازن، مقاومت و سلف‌اند، از مدار آن جدا کرده، سپس برای از بین بردن چسب باقیمانده روی قطعات، هریک به صورت جداگانه داخل ظروف شیشه‌ای حاوی استون ریخته شده و به مدت ۱۵ دقیقه در داخل حمام فراصوتی قرار گرفته است. این کار به این دلیل انجام می‌شود که ممکن است چسب باقیمانده روی قطعات از رسیدن فوتون‌های لومینسانس گسیلی از این مواد به لامپ تکثیرکننده فوتونی موجود در دستگاه خوانشگر لومینسانس جلوگیری کند و در نتیجه، در نتایج کار اختلال ایجاد کند. برای پرتودهی به نمونه‌های تهیه شده از چشمه کبالت-۶۰ بخش رادیوتراپی بیمارستان رازی واقع در شهرستان رشت استفاده شد. نمونه‌ها در دو نوبت با دزهای ۱۰۰cGy و ۵۰۰cGy پرتودهی شدند. بعد از هر نوبت پرتودهی، برای

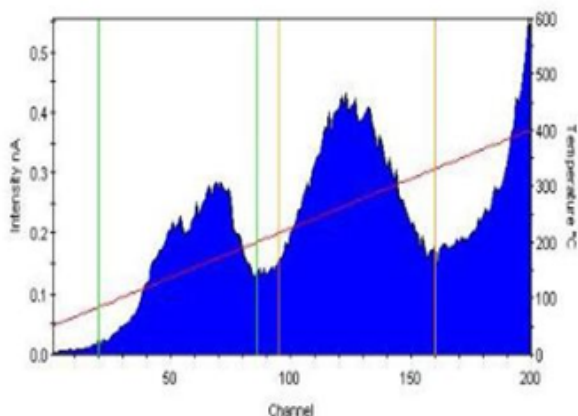
• قابلیت استفاده از برخی از این مواد به عنوان دزیمتر انباشتی؛
 • استفاده از مواد با سیگنال‌های ناپایدار در صورتی که فاصله زمانی زیادی بین پرتوگیری و اندازه‌گیری نمونه نباشد (مزیت اصلی استفاده از این مواد این است که مطمئن هستیم دز پرتوی تعیین شده تنها ناشی از سانحه‌ای است که اخیراً اتفاق افتاده است).
 خواص مواد مورد نیاز برای استفاده از روش‌های لومینسانس در دزیمتری گذشته‌نگر و سانحه عبارت‌اند از:

- حساسیت مناسب به ترازهای دز مورد بررسی؛
 - محوشدگی قابل اغماض یا قابل پیش‌بینی سیگنال لومینسانس در زمان بین پرتوگیری و اندازه‌گیری نمونه؛
 - عدم اشباع سیگنال ناشی از پرتوهای زمینه طی زمان‌های زمین‌شناختی؛
 - امکان تخمین دز ناشی از پرتوهای طبیعی زمینه [۱].
- خواص مواد مورد نیاز برای استفاده از روش تشدید پارامغناطیسی الکترون در دزیمتری گذشته‌نگر و سانحه عبارت‌اند از:
- نمایش وجود و مشخصات گونه‌های رادیکالی القایی پرتو؛
 - قابلیت تمییز دادن بین رادیکال‌های القایی پرتو و دیگر رادیکال‌های بومی؛
 - دارا بودن منحنی پاسخ دز خطی و حد آشکارسازی؛
 - پایداری گرمایی؛
 - دسترس‌پذیری آسان و ... [۱۲].

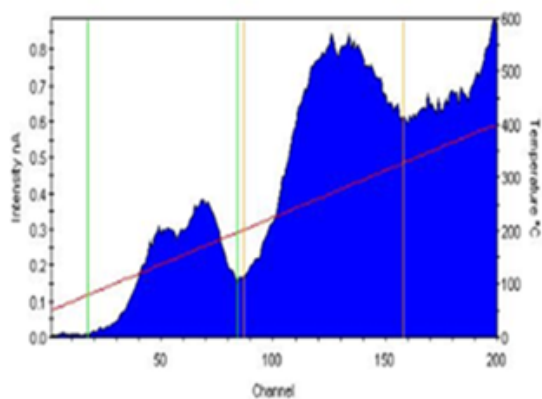
زمان مورد نیاز برای تهیه و آماده‌سازی نمونه، میزان پایداری سیگنال‌های پرتوی، بازه پرتوی قابل آشکارسازی و کمینه دز قابل آشکارسازی وابسته به ماده مورد مطالعه است.

۴. دزیمتری توسط قطعات الکترونیکی تلفن همراه

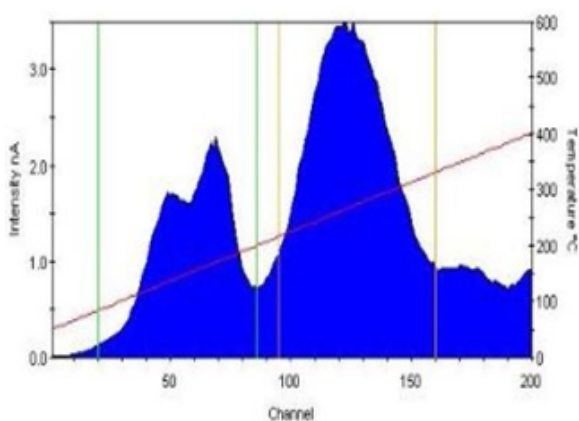
استفاده از مواد پیرامون سانحه پرتوی نظیر سیمان، کاشی،



شکل (۲): منحنی درخشش حاصل از مقاومت موجود در تلفن همراه به ازای دز ۵۰۰ cGy



شکل (۳): منحنی درخشش حاصل از القاگر موجود در تلفن همراه به ازای دز ۱۰۰ cGy

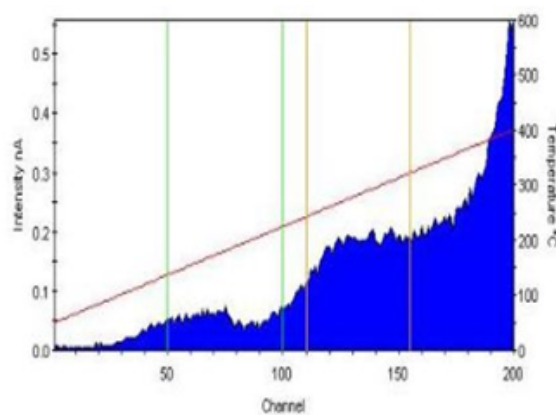


شکل (۴): منحنی درخشش حاصل از القاگر موجود در تلفن همراه به ازای دز ۵۰۰ cGy

خوانش لومینسانس گسیلی از نمونه‌ها، از دستگاه خوانشگر Harshaw-3500 استفاده شد. منحنی‌های درخشش نمونه‌ها توسط نرم‌افزار WinREMS ثبت و مورد بررسی واقع شد. فرآیند خوانش نمونه‌ها توسط دستگاه با آهنگ گرمادهی ۲ درجه سانتی‌گراد در ثانیه انجام گرفت.

۶. نتایج

آنالیز منحنی‌های درخشش ثبت شده از قطعات الکترونیکی مورد بررسی حاکی از آن است که قله مناسبی جهت دزیمتری در منحنی‌های درخشش به دست آمده از خازن دیده نمی‌شود، در حالی که این منحنی‌ها برای القاگر و مقاومت (در مورد مقاومت تنها در محدوده دز فراتر) قله‌هایی را در دماهای مختلف شامل می‌شوند (شکل‌های ۱ تا ۴) که بیانگر وجود دام‌های الکترونی در عمق‌های متفاوتی از گاف انرژی زیرلایه آلومینای موجود در این قطعات است. با توجه به اینکه منحنی‌های درخشش به دست آمده دارای قله‌ای در بازه دمایی حدود ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند و در اثر گرمای محیط محوشدگی قابل ملاحظه‌ای ندارند، می‌توان از القاگر، و در محدوده دزهای فراتر، از مقاومت موجود در مدار تلفن همراه به عنوان دزیمتر گذشته‌نگر استفاده کرد.



شکل (۱): منحنی درخشش حاصل از مقاومت موجود در تلفن همراه به ازای دز ۱۰۰ cGy

۷. بحث و نتیجه گیری

در صورت بروز سانحه هسته‌ای یا رادیولوژیکی و در غیاب دزیمترهای متداول فردی همچون فیلم بیج و TLD، روش‌های دیگری نیز برای ارزیابی همه‌گیر دز پرتوی افراد وجود دارد. یکی از این روش‌ها، تخمین دز پرتوی با استفاده از ناهنجاری‌های کروموزومی است. با توجه به محو شدن ناهنجاری‌های کروموزومی ناپایدار نسبت به زمان و عدم قطعیت بالا در تخمین دز، بهتر است چنانچه بیشتر از یک سال از زمان پرتوگیری فرد گذشته باشد، از ناهنجاری‌های کروموزومی پایدار استفاده شود. در صورت پرتوگیری شدید و نیاز به تخمین سریع دز پرتوی افراد، باید از تراکم پیش‌رس کروموزومی استفاده کرد، زیرا در دزهای بالاتر از ۵ Gy مرگ میتوزی کروموزوم بسیار سریع اتفاق می‌افتد. مزیت استفاده از ناهنجاری‌های دومرکزی نسبت به سایر ناهنجاری‌ها این است که ویژه پرتوهای یونیزان هستند که این امر روند برآورد دز را بسیار آسان می‌کند. مزیت استفاده از ریزهسته‌ها این است که امکان شمارش آن‌ها به صورت خودکار و با استفاده از

مراجع

- [1] Yukihiro, E.G., Mckeever, S.W.S., *Optically stimulated luminescence: Fundamental and applications*, Oklahoma State University, 2011, USA.
- [2] Ainsbury, E. A., Bakhanova, E., Barquinero, J.F., Brai, M., Chumak, V., Correcher, V., Darroudi, F., Fattibene, P., Gruel, G., Guclu, I., Horn, S., Rothkamm, K., *Review of retrospective dosimetry techniques for external ionizing radiation Exposures*, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 147, No. 4, 2011, pp. 573–592.
- [۳] مزدارانی، حسین، دزیمتری بیولوژیکی (زیست‌نشانگرها و روش‌ها)، انتشارات طب نوین، ۱۳۸۲.
- [4] IAEA, *Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Emergencies Radiation*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2011.
- [5] IAEA, *Cytogenetic analysis for radiation dose assessment*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001.
- [6] Pressl, Susanne, Edwards, Alan, Stephan, Günther, *The influence of age, sex and smoking habits on the background level of fish-detected translocations*, Mutation Research, 1999, 442:89–95.
- [7] Wilkins, Ruth.C, Romm, Horst, Oestreicher, Ursula, Marro, Leonora, Yoshida, Mitsuaki A., Suto, Y., Prasanna, Pataje G.S., *Biological dosimetry by the triage dicentric chromosome assay - Further validation of international networking*. Radiation Measurements, 2011, 46:923-928.
- [8] Pinto, M.M.P.L, Santos, N.F.G, Amaral, A., *Current status of biodosimetry based on standard cytogenetic methods*, Radiate Environ Biophys, 2010, 49:567- 581.
- [9] Crespo, Rafael Herranz, Domene, Mercedes Moreno, Rodriguez, Maria Jesus Prieto, *Biodosimetry and*

نرم‌افزارهای مخصوص وجود دارد؛ بنابراین، نیازمند تخصص و مهارت خاصی در شناسایی و شمارش آن نیست. به طور خلاصه، آنالیز دز پرتوی توسط ناهنجاری‌های کروموزومی گوناگون دارای مزایا و محدودیت‌هایی است. انتخاب نوع ناهنجاری وابسته به شرایط رویداد، تراز پرتوی قابل اندازه‌گیری و مدت زمان سپری شده از وقوع سانحه است. از دیگر روش‌های تخمین دز پرتوی، استفاده از مواد پیرامون سانحه پرتوی است. با توجه به گسترش روزافزون استفاده از تلفن‌های همراه، و امکان کاربرد آن به عنوان دزیمتر گذشته‌نگر از طریق دزیمتری گرماتاب، این وسیله می‌تواند دزیمتر فردی مناسبی به هنگام اضطرار به شمار رود. بررسی ما نشانگر آن است که در بین قطعات الکترونیکی تلفن همراه، القاگر از کارآیی بیشتری بدین منظور برخوردار است. با توجه به معرفی القاگر به عنوان یک دزیمتری تصادفی، پژوهش‌های بیشتری در زمینه منحنی پاسخ به دز و همچنین بررسی محوشدگی گرمایی و نوری منحنی درخشش نسبت به زمان پیشنهاد می‌گردد.

- assessment of radiation dose*. Practical oncology and Radiotherapy, 2011, 16:131–137.
- [10] Wanga, Z.Z., Li, W.J., Zhi, D.J., Jing, X.G., Wei, W., Gao, Q.X., Liu, B., *Biodosimetry estimate for high-LET irradiation*, Radiat Environ Biophys, 2007, 46:229–235.
- [11] Lund, Anders, Shiotani, Masaru, Shimada, Shigetaka, *Principles and applications of ESR spectroscopy*, Springer, 2011.
- [12] Trompier, F., Romanyukha, A., Kornak, L., Calas, C., LeBlanc, B., Mitchell, C., Swartz, H., Clairand, I., *Electron paramagnetic resonance radiation dosimetry in fingernails*. Radiation Measurements, 2009, 44:6–10.
- [13] Woda, Clemens, Bassinet, Céline, Trompier, François, Bortolin, Emanuela, Monaca, Sara Della, Fattibene, Paola, *Radiation-induced damage analysed by luminescence methods in retrospective dosimetry and emergency response*. Ann Ist super sanità, Vol. 45, no. 3, 2009, 297-306.
- [14] Beerten, Koen, Woda, Clemens, Vanhavere, Filip, *Thermoluminescence dosimetry of electronic components from personal objects*, Radiation Measurements, 2009, 44:620–625.