

امکان‌سنجی استفاده از دوربین تلفن همراه برای دزیمتری پرتوهای یونیزان

احمد رضائی مقدم* و فرهاد ساسانی قمصری

دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، اصفهان، ایران

*اصفهان، کاشان، دانشگاه کاشان، کدپستی: ۸۷۳۱۷۵۳۱۵۳

پست الکترونیکی: ramezamo@kashanu.ac.ir

چکیده

داشتن یک ابزار پایش تابش همراه و قابل دسترس برای آحاد جامعه خصوصاً در مواجهه با پرتوهای ناشی از حوادث ناخواسته‌ی هسته‌ای می‌تواند یک راهکار برای انجام پایش را فراهم نماید. در این پژوهش امکان استفاده از تلفن همراه هوشمند به عنوان ابزار مورد نظر بررسی شده است. اساس کار پایش بر مبنای حساسیت محیط نیمه‌رسانای CCD و CMOS به کار رفته در دوربین‌های تلفن همراه به پرتوهای یونیزان است. این حس‌گرها پس از دریافت پرتوهای یونیزان مانند پرتوی گاما و ایکس می‌توانند در اثر فرآیندهایی مانند پدیده فتوالکتریک انرژی پرتو فرودی را دریافت کرده و با ایجاد یونیزاسیون در محیط نیمه‌رسانای حس‌گر حامل‌های بار ایجاد کنند. جریان حاصل از جمع‌آوری حامل‌های بار منجر به ثبت نقاط روشن (تابش گرفته) و تاریک (تابش نگرفته) در حس‌گر دوربین خواهد شد. اندازه‌گیری چگالی نقاط روشن و تاریک در تصاویر ثبت شده امکان برآورد میزان پرتوگیری را فراهم می‌کند. در این پژوهش چهار دوربین با کیفیت و برندهای مختلف انتخاب و فرآیند دزیمتری برای دو چشمه‌ی تابش گامای ^{60}Co و ^{137}Cs بررسی شده است. نسبت مساحت کل نقاط روشن شده به تعداد پیکسل‌های روشن شده در واحد زمان تعیین شده است. و با توجه به این‌که این نسبت متناسب با دز دریافتی است، ضریب کالیبراسیون برای هر دوربین به‌دست آمده است. در اندازه‌گیری‌های انجام شده تأثیر زمان مرگ، قدرت تفکیک، پایداری و تکرارپذیری بررسی و تصحیحات لازم اعمال گردیده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که برای همه دوربین‌های بکارگرفته شده یک رابطه خطی بین نتایج ثبت شده با میزان دز دریافتی وجود دارد.

کلیدواژگان: دزیمتر شخصی و محیطی، آشکارسازی، اشعه‌های یونیزان، دوربین موبایل، ایمنی در برابر اشعه، حس‌گرهای تصویر CCD و CMOS، دزیمتری اشعه گاما.

۱. مقدمه

حس‌گر^۱ CCD و CMOS^۲ بر اساس پدیده فیزیکی فتوالکتریک طراحی و ساخته شده‌اند. نحوه عملکرد کلی حس‌گرها بدین شکل است که پس از دریافت فوتون‌های نوری توسط حس‌گر

حس‌گرهای تصویر یک مدار یکپارچه تشکیل شده از سیلیکون هستند که می‌توانند شدت نور مرئی را اندازه‌گیری و آن را در پیکسل‌های متناظر با محل نورگیری ثبت نمایند. هر دو

¹ Charge-Coupled Device

² Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

بر اساس گزارش ارایه شده در مرجع [۵]، پایداری دوربین‌ها در معرض دز بالای تابش گاما بررسی شده و نتایج حاکی از آن است که این حس‌گرها می‌توانند به‌طور معمول، تا دز یک کیلوگری عملکرد قابل قبولی داشته باشند ولی در مقادیر دز بالاتر حساسیت خود را از دست می‌دهند. لازم به ذکر است که در تحقیق مذکور که دوربین با قدرت تفکیک ۴ مگا پیکسل استفاده شده است و از سیستم خنک کننده برای دوربین‌ها استفاده نشده است. در همین تحقیق اندازه‌گیری برای تابش بتا نیز صورت پذیرفته و نتایج مشابهی در رابطه با تعیین میزان دز دریافتی گزارش شده است.

گزارش‌هایی در خصوص آسیب‌های موقت نشان می‌دهند که اشعه گاما و بتا نسبت به میزان دز و کیفیت حس‌گر آسیب‌های موقتی ایجاد می‌کنند که در مواردی می‌توانند به آسیب دائمی منجر شوند. آسیب‌های دائمی با هر میزان دزی ممکن نیست ولی در مورد ذرات باردار و سنگین مانند آلفا، پروتون آسیب موقت با سرعت خیلی بیش‌تری نسبت به گاما و ایکس اتفاق می‌افتد و امکان تغییر ساختار سیلیکونی حس‌گرها نیز وجود دارد که در نهایت منجر به آسیب دائمی می‌گردد. گرچه آسیب‌های موقت فقط در زمان تابش‌گیری به وجود می‌آید و در فرآیند آشکارسازی و دزیمتری اختلال ایجاد می‌کند ولی قابل برگشت خواهند بود ولی آسیب دائمی حتی بعد از توقف فرآیند تابش‌دهی هم وجود داشته و به شکل یک لکه سیاه یا یک لکه سفید در بخش‌هایی از تصویر ثبت شده ظاهر می‌شود که حکایت از آسیب دائمی در پیکسل‌های مسئول تشکیل تصویر در نقاط مذکور است [۶،۵]. علاوه بر این آسیب‌های دائمی می‌توانند با تأثیرگذاری بر جریان تاریک، ولتاژ آستانه، بازده انتقال بار و خطی بودن حساسیت پیکسل‌ها گردیده و منجر به تولید پیکسل‌های داغ، افزایش نوفه و کاهش قدرت تفکیک تصاویر می‌شوند. بر اساس نتایج آزمایش‌هایی که انجام شده است، پرتو گاما با دز بالاتر از ۳۰ Gy و انرژی

احتمال انجام پدیده فتوالکتریک وجود دارد که نتیجه آن تولید الکترون‌های پر انرژی است که به نوبه خود می‌توانند یونش‌های بعدی را هم ایجاد نمایند. بارهای الکتریکی تولید شده در اثر این پدیده در چاه پتانسیل هر پیکسل جمع آوری شده و مجموع بار پیکسل‌ها می‌توانند به صورت تصاویر دیجیتالی انتقال پیدا کرده و نمایش داده شود [۱]. یکی از موارد کاربرد حس‌گرهای تصویر برداری آثار تابش گاما، الکترون‌ها، پروتون‌ها است. این تابش‌ها هم می‌توانند با انتقال انرژی خود به نیمه‌رسانای حس‌گر در آن ایجاد حامل‌های بار کنند. بنابراین تأثیرات حاصل از این تابش‌های یونیزان هم به‌صورت نقاط روشن قابل ثبت و بررسی کمی خواهد بود [۲]. سابقه‌ی تحقیق در مورد استفاده از حس‌گرهای حساس به نور برای آشکارسازی پرتوهای یونیزان به سال ۱۹۹۸ میلادی برمی‌گردد. در ابتدای کار بسیاری از مقالات در مورد صحت انجام این گونه آزمایش‌ها را بررسی کرده و هدف اصلی پژوهش‌ها امکان سنجی آشکارسازی پرتوهای یونیزان با استفاده از دوربین‌های عکاسی بوده است. نقطه‌ی مشترک تمام تحقیقات انجام‌شده تأیید انجام پذیر بودن این مدل آشکارسازی است [۷-۳].

در مرحله بعد بسیاری از مقالات در مورد دوام و میزان آسیب پذیری حس‌گر دوربین‌ها در مقابل تابش‌های مذکور تمرکز پیدا کردند. بعد از جهش بزرگ تکنولوژی حس‌گرها از سال ۲۰۰۲ تحقیق و آزمایش در این رابطه گسترده‌تر شد و در زمینه‌های مختلف از جمله تشخیص ذرات آلفا، بتا و پروتون نگارش گزارش‌هایی ارائه شده است [۳].

در مرجع [۴]، استفاده تجاری و بررسی هزینه دوربین‌های عکاسی سیاه و سفید به عنوان طیف سنج اشعه ایکس و وابستگی خطی بین روشنایی پیکسل‌ها و انرژی تابش آن‌ها بررسی شده است که نتایج بسیار مطلوب گزارش شده است.

تابش‌دهی و تصویر برداری برای چند چشمه تابش مختلف گاما تکرار شده و میزان دز دریافتی اندازه‌گیری شده است.

مشخصات چهار دوربینی که در حین آزمایش و آشکارسازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و همچنین مشخصاتی که لازمه مقایسه و تحلیل در مورد نمودارهای نهایی به‌دست آمده از دزیمتری است، در جدول ۱ ارائه شده است.

در حال حاضر، دوربین‌ها و تلفن‌های همراه بسیاری با کیفیت‌های متفاوت در دسترس هستند که هر کدام کارایی متفاوتی دارند. تلاش شد تا در انتخاب دوربین ملاک‌هایی را مد نظر قرار داده شود تا در نهایت بتوان مقایسه به نسبت خوبی از دوربین‌های مختلف و قابل دسترس برای همه به‌دست آید. در قسمت مدل تلفن از دو شرکت سازنده مطرح استفاده شد تا نتایج با مشخصات واقعی هر دوربین مطالعه شود. نکته جالب این‌که دوربین‌هایی با کیفیت‌های اسمی و مشخصات ساختاری یکسان از برندهای مختلف تصاویر و کارایی عملی متفاوتی دارند، بنابراین از چند گوشی از یک برند خاص استفاده شد تا نتایج نهایی درصد خطای کمتری در این مورد داشته وجود داشته باشد [۱۰-۱۲].

در مطالعات انجام شده از تحقیقات قبلی، برداشت شد که تعداد پیکسل و ابعاد حس‌گر نسبت مستقیمی با اندازه نقاط آشکارسازی شده دارند. به این صورت که هر چقدر تعداد پیکسل بیشتری در ابعاد حس‌گر به کار رفته باشد نقاط آشکارسازی شده به همان نسبت کوچکتر و با پهنای کمتری در تصویر مشاهده می‌شوند. از طرفی این موضوع می‌تواند به وضوح تصویر حس‌گر حساس به نور هم ارتباط داشته باشد و بر این اساس از دوربین‌هایی ۸، ۱۳، ۱۶ و ۳۲ مگاپیکسل استفاده شد.



۶ MeV در تابش‌های طولانی مدت می‌تواند با تولید آسیب‌های دائمی فرآیند آشکارسازی را مختل کنند [۹،۸].

مقالات دیگری با موضوعات مختلف دیگری از جمله استفاده از کاربرد فتوگرامتری دوربین‌های CCD و در نهایت مقایسه این نوع از آشکارسازها با انواع آشکارسازها ارائه شده است. نتیجه نهایی که از بررسی مقالات و پژوهش‌های انجام شده می‌توان به‌دست آورد این است که در درجه اول امکان دزیمتری با دوربین‌های موبایل برای اشعه‌های یونیزان، فراهم است و فقط لازم است وابسته به نوع تابش فرودی تمهیدات آماده‌سازی اولیه در نظر گرفته شود تا در مرحله آخر نتیجه حاصله ارتباط معناداری با مقدار دز دریافتی حس‌گر دوربین‌ها داشته باشد [۷].

۲. روش پژوهش

در این پژوهش به کمک یک پوشش پلیمری نازک از ورود نور مرئی به دوربین‌های انتخابی جلوگیری شده است. پرتوهای گاما و ایکس تقریباً بدون تضعیف چندان از پوشش نوری و همچنین شیشه لنز عبور کرده و به بخش نیمه‌رسانای حس‌گر می‌رسند. لنز دوربین در مقابل چشمه تابشی مورد نظر و در فواصل معین قرار داده می‌شود. تلفن موبایل را در حالت فیلم برداری گذاشته و با روشن کردن چشمه به مدت معین فیلم ضبط می‌گردد. با انتقال فیلم به رایانه یا به وسیله همان موبایل و به کمک یک نرم‌افزار فیلم را تبدیل به عکس‌های متوالی می‌شوند، سپس با قرار دادن نقاط روشن بر روی یکدیگر و استفاده از دو نرم‌افزار دیگر می‌توانیم تعداد نقاط روشن آشکارسازی شده در مدت معلوم را شمارش تعیین کرد. میزان انرژی دریافت شده در هر نقطه روشن با شعاع هر نقطه روشن که خود با تعداد پیکسل‌های روشن شده متناسب است. در نهایت با انجام فرآیند کالیبراسیون هر دوربین نتایج مورد نیاز مانند انرژی و دز جذبی قابل استخراج شده است. فرآیند

جدول (۱): مشخصات دوربین‌های استفاده شده برای دزیمتری.

مدل موبایل	SAMSUNG GALAXY A20S	SAMSUNG GALAXY S5	SAMSUNG J7 PRIME	SONY XPERIA M2
علامت اختصاری	A20	S5	J7	M2
نوع حس‌گر	CCD	CCD	CCD	CMOS
حداکثر پیکسل تصویر (MP)	۳۲	۱۶	۱۳	۸
نرخ فریم (FPS)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
وضوح	۱۵۶۰×۷۲۰	۱۹۲۰×۱۰۸۰	۱۹۲۰×۱۰۸۰	۹۶۰×۵۴۰
قدرت انتقال یا فرکانس (GHZ)	۱/۶	۱/۶	۱/۶	۱/۶
قدرت پردازش و هسته مرکزی	۸	۸	۸	۴
تصویر ساختمان حس‌گر				
اندازه دیافراگم	$\frac{f}{1.7}$	$\frac{f}{1.8}$	$\frac{f}{1.9}$	$\frac{f}{2.4}$

و تصاویر را ابتدا ۸ بیت نموده و به حالت Black white تبدیل می‌کنیم و سپس تعداد نقاط سفید در تصویر را به وسیله نرم افزار شمارش می‌کنیم و داده‌های مربوطه ذخیره می‌شوند. این کار باید برای تمامی ۳۰۰ فریم عکس به‌دست آمده از هر تابش انجام شود که در نهایت از هر تصویر اطلاعاتی داریم مانند تعداد نقاط روشن که حاصل اثر گذاری تابش‌های یونیزان بر حس‌گر هستند و همچنین قطر هر یک از نقاط روشن که نشان دهنده میزان انرژی منتقل شده در اثر برخورد تابش و از همه مهم‌تر مساحت کل نقاط روشن در هر عکس بر حسب پیکسل به‌دست آمده است [۱۳].

۳. نتایج و بحث

آزمایش برای فاصله‌های مختلف دوربین از چشمه انجام گرفته و جدولی از تعداد و مساحت نقاط سفید تهیه می‌شود. بعد از به‌دست آوردن مساحت در یک زمان خاص و جمع تمام مساحت‌هایی که در زمان ثابتی دریافت شده و تقسیم آن‌ها به زمان، مساحتی از نقاط روشن شده در واحد زمان را که انتظار می‌رود با آهنگ دز چشمه رابطه داشته باشد برای اندازه‌گیری

برای مقایسه و دزیمتری، تمام مراحل انجام شده برای آشکارسازی اندازه‌گیری در یک فاصله خاص را در فواصل مختلف از چشمه تکرار می‌گردد. برای چشمه ^{137}Cs فواصل ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر از چشمه برای هر یک از چهار دوربین انتخاب شده‌اند.

بعد از انتقال ویدیوهای ثبت شده به کامپیوتر و حذف کردن قسمت‌های اضافی (تصاویر مربوط به قبل از بالا آمدن و پایین رفتن چشمه) از نرم افزار avidemux که به‌طور رایگان برای دانلود موجود است استفاده شد. در نهایت یک ویدیو خالص که به‌طور دقیق حاصل آثار ثبت شده از پرتوگیری دوربین در شرایط پایدار چشمه در مدت یک دقیقه باشد به‌دست آمده است. سپس ویدیوی مورد نظر را با استفاده از نرم افزار Video to Picture Converter که به‌طور رایگان برای استفاده موجود است، ویدیوی ثبت شده بدون این که تداخلی در هر یک از فریم‌های عکس به‌وجود بیاید به عکس‌های متوالی تبدیل می‌شوند. در مرحله بعد هر یک از عکس‌ها را وارد برنامه تجزیه و تحلیل تصویر ImageJ کرده

نتایج حاصل از بررسی اثرات تابش بر دوربین‌های انتخاب شده برای چشمه ^{137}Cs و ^{60}Co در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.

آهنگ دز استفاده گردید. به کمک مساحت نقاط روشن اندازه‌گیری شده در واحد زمان برای هر دوربین در فواصل مختلف و برای هر چشمه و رسم نمودار مساحت مذکور بر حسب آهنگ دز چشمه می‌توان رفتار آشکارساز در برابر آهنگ دزهای مختلف را بررسی و فرآیند کالیبراسیون را انجام داد [۱۴].

جدول (۲): نتایج دزیمتری با چشمه ^{137}Cs .

فاصله (cm)					دز معادل چشمه ^{137}Cs ($\mu\text{Gy/h}$)	مساحت نقاط روشن در واحد زمان (cm^2/s)
۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰		
۸۱/۸۵	۱۲۱/۳۷	۲۰۷/۳۹	۴۵۲/۵۷	۱۷۷۴/۱	J7	S5 A20s
۷۴/۱	۱۲۰/۲	۲۶۹/۵	۶۰۹/۹	۲۵۳۲/۴		
۷۲/۱	۱۱۵/۴	۲۲۴/۹	۷۰۶/۷	۲۸۵۷/۵		
۶۹/۹	۱۱۴/۸۴	۲۲۹/۱	۵۳۷/۵	۲۵۲/۵		

جدول (۳): نتایج دزیمتری با چشمه ^{60}Co .

فاصله (cm)				دز معادل چشمه ^{60}Co ($\mu\text{Gy/h}$)	مساحت نقاط روشن در واحد زمان (cm^2/s)
۱۲۰	۱۰۰	۸۰	۴۰		
۴۰/۴	۵۷/۰۳	۸۸/۰۱۶	۳۴۶/۰۶	J7	S5 A20s
۴۲/۰۴	۱۱۶/۹	۱۱۶/۹	۶۰۶/۷		
۵۲/۶	۷۶/۰	۱۱۸/۸	۴۹۵/۵		
۳۰/۵	۵۵/۰	۱۱۳/۲	۶۳۷/۵		

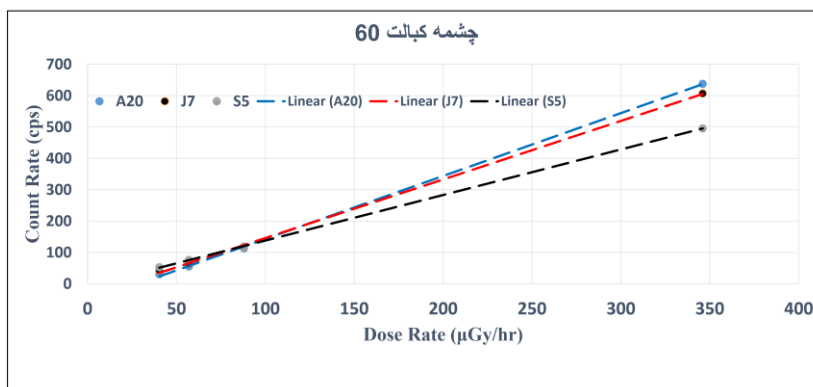
در این پژوهش امکان استفاده از دوربین تلفن‌های همراه برای دزیمتری پرتوهای یونیزان بررسی گردیده است. بدین منظور دوربین چند موبایل که به صورت گسترده مورد استفاده هستند انتخاب گردید. به منظور جلوگیری از ورود نور محیطی دریاچه ورودی دوربین‌ها با نوار مشکی به صورت کامل پوشانده شده و هر کدام از آن‌ها در فواصل معین از چشمه‌های گامای ^{137}Cs و ^{60}Co قرار داده شدند. دوربین در حالت تصویر برداری ویدیوی روشن و ضبط تصاویر به مدت چندین ثانیه متوالی انجام گرفت. ویدیوهای ضبط شده در یک بازه زمانی ثابت برای همه اندازه‌گیری‌ها پس از اصلاح به نرم افزار تبدیل ویدیو به تصویر منتقل شده و سپس تعداد پیکسل‌های روشن شده در هر فریم عکاسی به کمک نرم افزار دیگری شمارش شدند. در نهایت مساحت نقاط روشن شده در واحد زمان

رفتار دوربین‌های انتخابی در دزهای مختلف تابشی، نمودار مساحت نقاط روشن شده در واحد زمان بر حسب آهنگ دز چشمه برای چشمه‌های ^{137}Cs و ^{60}Co به ترتیب در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است.

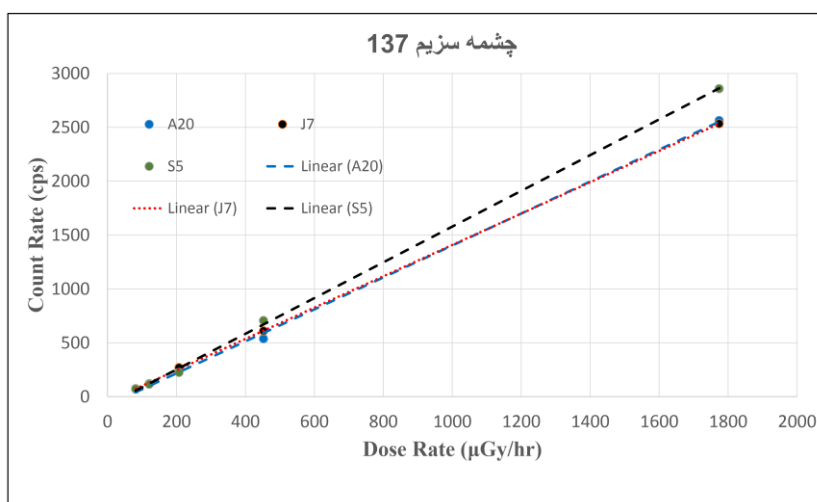
نقاط نتایج حاصل از اندازه‌گیری و خطوط توپر نتایج حاصل از برازش نتایج تجربی با یک تابع خطی برازش شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که در محدوده آهنگ دزهای بررسی شده رفتار تمام دوربین‌ها خطی بوده و حتی ضریب کالیبراسیون برای هر دو چشمه مشابه هستند. بنابراین امکان استفاده از دوربین‌های مورد بررسی برای دزیمتری چشمه‌های دیگر گاما و همچنین ایکس هم وجود دارد.

عنوان یک دزیتر همراه را تأیید می‌کنند. تعمیم دزیتری به دزهای بالاتر و همچنین چشمه‌های تابشی دیگر اعم از چشمه‌های تولید امواج الکترومغناطیسی یونیزان و حتی ذرات یون‌ساز امکان پذیر است.

محاسبه و با تعیین ضریب کالیبراسیون برای هر یک از دوربین‌ها، پاسخ دوربین‌ها در تابش‌دهی با آهنگ دزهای متفاوت از دو چشمه ^{60}Co و ^{137}Cs بررسی گردید. رفتار خطی دوربین‌ها در محدوده دز مورد بررسی و تعیین آسان ضریب کالیبراسیون هر دوربین امکان استفاده از تلفن همراه به



شکل (۱): مساحت نقاط روشن در واحد زمان برای دوربین‌های انتخابی بر حسب آهنگ دز معادل چشمه ^{60}Co .



شکل (۲): مساحت نقاط روشن در واحد زمان برای دوربین‌های انتخابی بر حسب آهنگ دز معادل چشمه ^{137}Cs .

۴. مراجع

1. Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), 2006. Die GSI –Ein Überblick. <http://www.gsi.de/portrait/ueberblick.html> (accessed 27 Mar 2006).
2. D. A. Skoog, F. J. Holler, S. R. Crouch, *Principles of Instrumental Analysis*. 6th ed., Brooks Cole, Belmont, 1039, 2007.
3. J. R. Janesick, T. S. Elliott, S. A. Collins, M. M. Blouke, and J. W. Freeman. Scientific charge-coupled devices. *Optical Eng.* 26 (8) (1987) 692-714.
4. U. Lundtröm. Phase-Contrast X-ray Carbon Dioxide Angiography. Ph.D. Thesis, Kth Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2014.

5. P. P. Dendy, B. Heaton. *Physics for Diagnostic Radiology*. 3rd ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, FL, 2012.
6. B. D. Cullity, S. R. Stock. *Elements of X-ray Diffraction*. 3rd ed., Prentice-Hall, New York, 2001.
7. X. -T. Meng, A. -G. Kang, J. -H. Li, H. -Y. Zhang, S. Yu, Z. You. Effects of electron and gamma-ray irradiation on CMOS analog image sensors. *Microelectronics Reliability* 43 (7) (2003) 1151-1155.
8. M. W. Tate, D. Chamberlain, S. M. Gruner. Area x-ray detector based on a lens-coupled charge-coupled device. *Rev. Sci. Instrum.* 76 (2005) 081301.
9. X. F. Helen. Lens-coupled X-ray imaging systems. Ph.D. dissertation, The University of Arizona. 2015.
10. S. M. Gruner, M. W. Tate, E. F. Eikenberry. Charge-coupled device area x-ray detectors. *Rev. Sci. Instrum.* 73 (2002) 2815-2842.
11. J. J. Cogliati, W. D. Kurt, J. Wharton. Using CMOS Sensors in a Cellphone for Gamma Detection and Classification. (2014) pp.26.
12. S. Tith, N. Chankow, S. Tith, N. Chankow. Measurement of gamma-rays using smartphones. *Open J. Appl. Sci.* 6 (2016) 31-37.
13. T. Ferreira, W. Rasband. ImageJ User Guide: IJ 1.46 r. (accessed 24 November 2021). <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf>, 2012.
14. R. Rausch, Electronic components and systems and their radiation qualification for use in the LHC machine. Invited Paper Presented At LHC Electronic Board Workshop Snowmass, Co, USA, 1999.