

معرفی آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه کشور (SSDL)

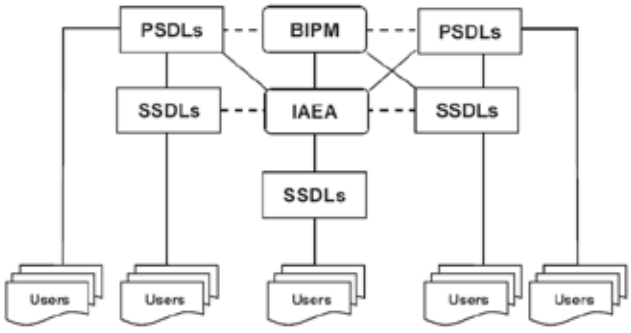
معرفی

آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه کشور (SSDL)

۱. مقدمه

پرتوهای یون‌ساز در زمینه‌های مختلف پزشکی، کشاورزی، صنعتی و آموزشی کاربردهای بسیاری دارند. هم‌اکنون منابع گوناگون پرتوهای یون‌ساز، نظیر چشمه‌های رادیواکتیو، دستگاه‌های مولد پرتو ایکس و شتابدهنده‌های ذرات به‌طور گسترده‌ای در حوزه‌های یاد شده به‌کار می‌روند. به‌منظور اندازه‌گیری خروجی دستگاه‌های مولّد پرتو، از دزیمترهای سنجش پرتو استفاده می‌شود. دزیمترها به‌طور کلی باید از دو مشخصه صحت و دقت[۱] در خوانش پاسخ دزیمتری برخوردار باشند. دقت دزیمتری مربوط به دستگاه دزیمتر و کارخانه سازنده آن بوده درحالی‌که صحّت نتایج دزیمتری بایستی توسط یک مرجع استاندارد تأییدشده و در اصطلاح علمی، دزیمتر سنجش پرتو بایستی کالیبره شود. بدین منظور مراکزی با نام آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد وجود دارند. این آزمایشگاه‌ها در دو سطح آزمایشگاه دزیمتری استاندارد اولیه (PSDL[۲]) و آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه (SSDL[۳]) فعالیت می‌کنند. آزمایشگاه SSDL ایران عضو شبکه بین المللی SSDL های جهان تحت عنوان SSDLs of Network WHO/IAEA است.

آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه کشور یا همان SSDL در سال ۱۳۷۰ در «مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای کرج» که امروزه «مرکز تحقیقات سلامت و کشاورزی البرز» نامیده می‌شود مورد بهره‌برداری قرار گرفت. آزمایشگاه SSDL یکی از اعضای شبکه بین‌المللی آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد ثانویه است. این شبکه با مشارکت آژانس بین‌المللی انرژی اتمی IAEA[۴] و سازمان بهداشت جهانی WHO[۵] در سال ۱۹۷۶ تأسیس شد. آزمایشگاه دزیمتری آژانس نقش آزمایشگاه دزیمتری مادر را در این شبکه به‌عهده دارد و با آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد اولیه و مرکز بین‌المللی اوزان و مقادیر (BIPM[۶]) در ارتباط است. آزمایشگاه‌های SSDL در سراسر دنیا به‌عنوان پل ارتباطی بین آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد اولیه و کاربران پرتوهای یونساز عمل می‌نمایند. با توسعه و کاربرد روزافزون پرتوهای یونساز در رشته‌های مختلف علوم و صنعت و پزشکی، آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد اولیه نمی‌توانستند جوابگوی حجم وسیع درخواست‌های کاربران پرتوهای یونساز باشند؛ از این‌رو وظیفه خدمات‌دهی در امور دزیمتری پرتوهای یونساز و کالیبراسیون دزیمترهای متنوع مورد استفاده در محیط‌های کار با پرتو، به آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد ثانویه سپرده شده و آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد اولیه بیشتر به تحقیق در روش‌های اندازه‌گیری و بهبود دقت و درستی در امر اندازه‌گیری می‌پردازند. شکل ۱ ارتباط میان یک آزمایشگاه SSDL را با آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد اولیه، مرکز بین‌المللی اوزان و مقادیر و آزمایشگاه دزیمتری آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، در سیستم بین‌المللی اندازه‌گیری پرتوها نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمایی از شبکه دزیمتری شامل مراکز استاندارد اولیه، ثانویه و کاربران نهایی.

آزمایشگاه SSDL ایران واقع در مرکز تحقیقات سلامت و کشاورزی البرز مطابق با استانداردهای بین‌المللی تأسیس شده و با تأیید آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، به‌عنوان آزمایشگاه مرجع کالیبراسیون و دزیمتری استاندارد ملی پذیرفته شده است و توانسته تا به حال دقت خود را در زمینه دزیمتری استاندارد و کالیبراسیون در سطح بین‌المللی حفظ نماید.

۲. بخش‌ها

آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه کشور شامل بخش‌های زیر است:

۱- آزمایشگاه کالیبراسیون و دزیمتری سطح درمانی شامل دو آزمایشگاه جداگانه یعنی آزمایشگاه مولد ایکس و سیستم چندچشمه‌ای و آزمایشگاه کبالت ۶۰ سطح درمانی

۲- آزمایشگاه پزشکی هسته‌ای و براکی‌تراپی

۳- آزمایشگاه کالیبراسیون سطح حفاظتی

۴- آزمایشگاه دزیمتری نوترون

۵- آزمایشگاه الکترونیک هسته‌ای

۳. رسالت آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه کشور

آزمایشگاه SSDL به‌عنوان یک مرکز معتبر در زمینه کالیبراسیون دستگاه‌های سنجش پرتو بوده و دزیمتری دستگاه‌های پرتودرمانی و کالیبراسیون دستگاه‌های سنجش اکتیویته (دز-کالیبراتور) در مراکز پزشکی هسته‌ای کشور را تحت پوشش قرار داده است. رسالت آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه کشور، ارائه خدمات دزیمتری و کالیبراسیون با کیفیت مطلوب و مطابق با استانداردهای بین‌المللی به کاربران پرتوهای یونساز می‌باشد. رسالت آزمایشگاه الکترونیک هسته‌ای نیز به‌عنوان یک بخش از آزمایشگاه SSDL، در راستای اولویت‌های

۱ Precision and Accuracy
۲ Primary Standard Dosimetry Laboratory
۳ Secondary Standard Dosimetry Laboratory
۴ International Atomic Energy Agency
۵ World Health Organization
۶ Bureau International des Poids et Mesures

تحقیقاتی کشور مصوب شورای پژوهش‌های علمی کشور بخش انرژی هسته‌ای بند ۲/۱۲، تحت عنوان «طراحی و ساخت دستگاه‌های الکترونیک هسته‌ای و مانیتورینگ پرتوهای یونساز» و در زیرمجموعه «طرح تحقیقات هسته‌ای و کاربردی صنعتی» مصوب معاونت تحقیقات و فناوری سازمان انرژی اتمی ایران تعریف و مشخص گردیده است.

آزمایشگاه SSDL کشور در کرج به‌عنوان یک پل ارتباطی بین آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و کاربران پرتوها در سطح کشور وظیفه خطیری را به‌عهده داشته، ضمن ضرورت ارائه سالانه گزارش فعالیت‌های خود به آژانس، بایستی در آزمایشات دزیمتری مقایسه‌ای[۷] بین‌المللی که در سطوح حفاظتی و درمانی برگزار می‌شود شرکت نماید تا مقدار عدم قطعیت در اندازه‌گیری دز جذبی این آزمایشگاه سنجیده شود. در طول مدت عضویت در این شبکه، نتایج شرکت SSDL ایران در آزمایشات دزیمتری مقایسه ای بین‌المللی که توسط آژانس اعلام گردیده، نشان‌دهنده عملکرد بسیار مطلوب پرسنل آزمایشگاه بوده است و درصد عدم قطعیت آزمایشگاه SSDL کشور همواره از حد مجاز تعیین‌شده توسط آژانس یعنی ۳/۵٪±، کمتر بوده که مؤید صحّت و دقّت بالای خدمات این واحد در امور دزیمتری و کالیبراسیون می‌باشد.

آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه عهده‌دار تأمین میدان‌های پرتویی کالیبره بوده و همواره به‌عنوان مرجعی برای کالیبراسیون آزمایشگاه‌های دزیمتری است. همچنین اعتباربخشی به مراکز پرتودهی استاندارد به‌منظور راه‌اندازی سیستم‌های پرتودهی، برای اولین بار و با تأسیس آزمایشگاه‌های پرتویی در ایران توسط این مجموعه صورت می‌گیرد.

۴. فعالیت‌های آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه کشور

فعالیت‌های آزمایشگاه SSDL شامل موارد زیر است:

- سنجه‌بندی یا کالیبراسیون انواع دستگاه‌های سنجش پرتوهای ایکس، گاما و بتا در سطوح حفاظتی و درمانی شامل دزیمترهای فردی (دزیمتر فردی دیجیتال، دزیمتر قلمی و ...) و دزیمترهای محیطی (پایشگر محیطی، آلودگی‌سنج و ...) و صدور گواهینامه کالیبراسیون

- دزیمتری استاندارد دستگاه‌های پرتودرمانی (دستگاه‌های مولد اشعه ایکس سطحی و نیمه‌عمقی، دستگاه‌های پرتودرمانی کبالت ۶۰ و شتابدهنده‌های خطی درمانی) بر اساس دستورالعمل‌های بین‌المللی دزیمتری

- کالیبراسیون چشمه‌های براکی‌تراپی مراکز پرتودرمانی

- ساخت فانتوم‌های (مواد معادل بافت بدن) مورد استفاده در دزیمتری دستگاه‌های پرتودرمانی

- انجام تست‌های کنترل کیفی دستگاه‌های پرتودرمانی

- انجام تست‌های عملکرد پرتویی[۸] و کالیبراسیون دستگاه‌های سنجش پرتو فردی و محیطی و نیز انجام تست‌های کنترل کیفی دستگاه های پرتودرمانی

- کالیبراسیون دستگاه‌های سنجش اکتیویته (دز-کالیبراتور) در مراکز پزشکی هسته‌ای کشور

- پرتودهی استاندارد نمونه‌های ارسالی از مراکز مختلف (تحقیقاتی، پزشکی، صنعتی و ....)

- طراحی و ساخت دستگاه‌ها و ماژول‌های هسته‌ای

- طراحی و ساخت سیستم‌های الکترونیکی و الکترونیک هسته‌ای

- امکان‌سنجی، طراحی و ساخت دزیمترهای استاندارد اولیه

- تحقیقات بر روی آشکارسازها و دزیمتری نوین

- همکاری با آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در زمینه کالیبراسیون تجهیزات و میدان‌های پرتویی

- شرکت در سرویس TLD مقایسه‌ای آژانس بین‌المللی انرژی اتمی

- تحقیقات در خصوص دزیمتری تشخیصی و درمانی

- همکاری در پروژه‌های تحقیقاتی در زمینه دزیمتری با سایر مراکز تحقیقاتی و پژوهشی

- انجام آزمون‌های آسیب پرتویی قطعات الکترونیکی ماهواره‌ها (TID[۹])

- اندازه‌گیری ضریب تضعیف نمونه‌های مختلف در مقابل چشمه‌های گاما در گستره انرژی ۶۰ keV تا ۱/۲۵ MeV

- امکان پرتودهی نمونه‌های تحقیقاتی با استفاده از چشمه نوترونی $Am\text{-}Be^{241}$

- طراحی و ساخت انواع ماژول‌های آنالوگ و دیجیتال هسته‌ای

- طراحی و ساخت الکترومتر برای جریان‌های فوق العاده پائین

- برنامه‌نویسی سطح پائین (زبان ماشین) برای سیستم‌های طراحی‌شده[۱۰] و طراحی سخت‌افزار

- برنامه‌سازی تحت شبکه برای سیستم‌های مانیتورینگ محیطی

- طراحی و ساخت انواع دستگاه‌ها و سیستم‌های اندازه‌گیری و مانیتورینگ پرتوهای محیطی و فردی

- طراحی و ساخت دستگاه‌ها و سیستم‌های کنترل و ابزار دقیق هسته‌ای

- طراحی و ساخت سیستم‌های اندازه‌گیری اکتیویته چشمه‌های رادیواکتیو و رادیوداروها

- طراحی و ساخت سیستم دزیمتری بَرخط جدید بر پایه نانوکامپوزیت پلیمر/نانولوله کربن در سطح درمانی

۷ Inter-comparison

۸ Type Testing

۹ Total Ionizing Dose

۱۰ Embedded Systems

۵. امکانات و تجهیزات آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه کشور

چند مورد مهم از تجهیزات آزمایشگاه SSDL در شکل‌های ۲ تا ۹ نشان داده شده است. دستگاه پرتودهی Picker V9 آزمایشگاه کبالت ۶۰ سطح درمانی (شکل ۲)، مجهز به چشمه ^{60}Co می‌باشد. دستگاه پرتودهی OB-85 آزمایشگاه مولد ایکس و



شکل ۲. سیستم پرتودهی Picker V9 مجهز به چشمه ^{60}Co در آزمایشگاه سطح درمانی.

سیستم چندچشمه‌ای (شکل ۳)، دارای سه چشمه ^{137}Cs، ^{60}Co و ^{241}Am است. سیستم پرتودهی آزمایشگاه کالیبراسیون سطح حفاظتی (شکل ۴)، مجهز به چشمه ^{137}Cs و سیستم پرتودهی نوترون در آزمایشگاه دزیمتری نوترون (شکل ۵) مجهز به چشمه ^{241}Am-Be می‌باشد.



شکل ۳. دستگاه پرتودهی OB-85 مجهز به چشمه‌های ^{241}Am, ^{60}Co, ^{137}Cs درآزمایشگاه سطح درمانی.

در آزمایشگاه پزشکی‌هسته‌ای و براکی‌تراپی، دو دستگاه دز-کالیبراتور استاندارد و یک اتاقک یونش چاهک‌دار به‌منظور اندازه‌گیری قدرت چشمه‌های براکی‌تراپی موجود است. دستگاه دزکالیبراتور اول مدل Capintec CRC-25R به‌عنوان مرجع اصلی، همواره در آزمایشگاه نگهداری می‌شود و دستگاه دز-کالیبراتور دوم مدل PTW Curiementor 3 که به‌صورت دوره‌ای با این دستگاه کالیبره شده و جهت کالیبراسیون دز-کالیبراتورهای مراکز پزشکی هسته‌ای کل کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دز-کالیبراتورها در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. البته در این شکل یک عدد دزکالیبراتور ساخت خود آزمایشگاه SSDL مدل RAMS-88 نیز نشان داده شده است (دزکالیبراتور آبی رنگ) که این دزکالیبراتورهای ساخته‌شده، در آزمایشگاه پزشکی هسته‌ای کالیبره شده و به مراکز پزشکی هسته‌ای متقاضی ارسال



شکل ۴. دستگاه پرتودهی مجهز به چشمه‌ی ^{137}Cs در آزمایشگاه کالیبراسیون سطح حفاظتی.



شکل ۵. سیستم پرتودهی آزمایشگاه نوترون مجهز به چشمه ^{241}Am-Be.



شکل ۶. دستگاه‌های دزکالیبراتور آزمایشگاه SSDL.

می‌گردنـد. اتاقـک یونـش چاهـک‌دار بـرای اندازه‌گیـری قـدرت چشـمه‌های براکی‌تراپـی نیـز در شـکل ۷ نشـان داده شـده اسـت.



شکل ۷. اتاقک یونش چاهک‌دار آزمایشگاه پزشکی هسته‌ای و براکی‌تراپی مدل PTW برای اندازه‌گیری قدرت چشمه‌های براکی‌تراپی.

هات‌سـل موجـود در آزمایشـگاه پزشـکی هسـته‌ای (شـکل ۸) توسـط شـرکت پارس‌ایزوتـوپ ساخته‌شـده و نصـب گردیـده اسـت. از دزیمتـر نوتـرون Berthold LB6411 (شـکل ۹) جهـت تعیین آهنگ معـادل دز نوترون‌هـای سـریع مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیـرد. بـا توجـه بـه ایـن کـه گذشـت زمـان ممکـن اسـت بـر میـزان ضریـب کالیبراسـیون تاثیرگـذار باشـد، معمـولاً ایـن ضریـب به‌صـورت دوره‌ای و بـا اسـتفاده از میدان‌هـای نوترونـی کالیبـره تعییـن می‌شـود.

۶. تولیدات آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه کشور

آزمایشـگاه دزیمتـری اسـتاندارد ثانویـه کشـور در راسـتای طراحی و سـاخت دسـتگاه‌های اندازه‌گیـری و پایـش پرتوهـا، دسـتگاه‌ها و محصـولات بـا کیفیتـی طراحـی و تولیـد کـرده اسـت. تعـدادی از ایـن دسـتگاه‌ها، بـه فـاز تولیـد رسـیده و بـه مراکـز پرتویـی زیـادی در سـطح کشـور عرضـه شـده اسـت. از ایـن دسـت می‌تـوان بـه دسـتگاه



شکل ۸. هات‌سل آزمایشگاه پزشکی هسته‌ای.



شکل ۹. دزیمتر نوترون آزمایشگاه SSDL.

مانیتورینـگ محیطـی پرتوهـای یونسـاز بـا نـام تجـاری ARM-1500 (شـکل ۱۰) و دسـتگاه اندازه‌گیـری پرتوزایـی رادیوداروهـا یـا همـان دز-کالیبراتـور بـا نـام RAMS-88 (شـکل ۱۱) اشـاره نمود. تعـدادی از ایـن دسـتگاه‌ها نیـز فازهـای طراحـی، سـاخت و آزمون‌هـای عملکـرد پرتویـی را پشـت سـر گذاشـته امـا هنـوز بـه مراکـز پرتویـی عرضـه نشـده اسـت کـه از ایـن دسـت می‌تـوان بـه دزیمتـر نانوکامپوزیـت پلیمر/نانولولـه کربـن بـا نـام تجـاری PNC-2020 جهـت اندازه‌گیـری بَرخـط آهنـگ دز میدان‌هـای پرتویـی در سـطح درمانـی اشـاره کـرد (شـکل ۱۲).

پایشـگر محیطـی ARM-1500 بـرای اندازه‌گیـری و نمایـش پرتوهـای یونسـاز ایکـس و گامـا می‌باشـد. آشکارسـاز آن‌هـا از نـوع گایگـر- مولـر بـوده و قابلیـت نمایـش بَرخـط نـرخ انرژی‌هـای بیشـتر از ۶۰ keV و میدان‌هایـی در محـدوده آهنـگ دز ۰/۱ µSv/h تـا چنـد ده mSv/h را داراسـت. حـد بـالا و پاییـن اندازه‌گیـری ایـن دزیمترهـا



شکل ۱۰. نمونه دستگاه مانیتورینگ محیطی پرتوهای یونساز ساخته شده در SSDL.



شکل ۱۱. دستگاه دز-کالیبراتور یا کوری‌متر با نام تجاری RAMS ساخته شده در SSDL.



شکل ۱۲. دزیمتر نانوکامپوزیت پلیمر/ نانولوله کربن با نام تجاری PNC-2020 ساخته شده در SSDL.

با توجه به نیاز و درخواست مشتری و با انتخاب آشکارساز مناسب گایگر-مولر قابل تغییر است. امکان اتصال دزیمترهای محیطی به‌صورت شبکه به یک کامپیوتر مرکزی برای نگهداری و پایش دائمی داده‌های همه مانیتورهای محیطی وجود دارد. در کامپیوتر مرکزی امکان مشاهده بَرخط داده‌های همه دزیمترها وجود دارد. همچنین تنظیمات مختلف مانند تنظیم سطوح آلارم‌دهی بر روی هر دزیمتر محیطی را می‌توان از کامپیوتر مرکزی اعمال کرد. انواع مختلفی از این نوع دستگاه‌ها در طی سالیان گذشته ساخته و در مراکز مختلف سازمان انرژی اتمی، سیکلوترون کرج، مرکز پرتودهی غرب کشور (بناب)، پسماندای انارک و غیره نصب شده است.

در شکل ۱۳ نمونه‌ای از دزیمتر دستی مدل DRM که قابلیت اندازه‌گیری نرخ دز را داراست و به‌عنوان پایشگر برای جستجوی آلودگی سطحی و یا اندازه‌گیری نرخ دز با فاصله مناسب از منبع مواد رادیواکتیو می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، آمده است. آشکارساز این دزیمتر از نوع گایگر-مولر بوده و قابلیت اندازه‌گیری پرتوهای یونساز ایکس و گامای با انرژی بیشتر از ۶۰ keV در محدوده آهنگ ۱ µSv/h تا ۵۰۰ mSv/h را داراست. دسته تلسکوپی این دزیمتر که آشکارساز در نوک این دسته قرار داده شده است سبب می‌شود که استفاده‌کننده در فاصله



شکل ۱۳. دستگاه دزیمتر دستی ساخته‌شده مدل DRM-2000 ساخته‌شده در SSDL.

مناسبی از منبع پرتوزا بتواند اندازه‌گیری‌های مورد نظر خود را انجام دهد. این دستگاه دارای باتری قابل شارژ می‌باشد. در طی سالیان گذشته این دستگاه به مراکز متعدد داخل و خارج سازمان عرضه شده است.

دزیمتر فردی مدل PRM یکی دیگر از دستگاه‌هایی است که در این آزمایشگاه طراحی و ساخته‌شده است. این دستگاه که آشکارساز آن از نوع گایگر-مولر می‌باشد، قابلیت اندازه‌گیری دز تجمعی معادل بافت پرتوهای یونساز ایکس و گاما را داراست و به‌عنوان دزیمتر فردی می‌تواند استفاده شود. در شکل ۱۴ تصویر این نوع دزیمتر آمده است. این دستگاه نیز دارای باتری قابل شارژ است. بازه اندازه‌گیری این دزیمتر از حدود ۰/۱ µSv تا حدود ۱ Sv است. این دستگاه نیز طی سالیان متمادی به

مراکز و آزمایشگاه‌های داخل و خارج سازمان عرضه شده است.

دزیمتر کارتی که یک دزیمتر فردی بر پایه آشکارساز نیمه‌هادی است (شکل ۱۵) یکی دیگر از دزیمترهای ساخته‌شده در آزمایشگاه SSDL می‌باشد. در این دزیمتر که ابعاد آن در حد یک کارت پرسنلی است و دزیکارت نام‌گذاری شده است آشکارساز از نوع نیمه‌هادی پین- دیود می‌باشد. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری و نمایش نرخ دز و دز مجموع پرتوهای یونساز ایکس و گاما و بتا را داراست. بازه اندازه‌گیری و نمایش نرخ دز این دستگاه از حدود ۱ μSv/h تا ۱ Sv/h و بازه اندازه‌گیری و نمایش دز مجموع از حدود ۰/۰۱ μSv تا حدود ۱ Sv می‌باشد. همچنین این دستگاه در انرژی‌هایی از حدود ۲۰ keV به بالا دارای خطای کمتر از ±10% می‌باشد. از این دستگاه می‌توان به‌عنوان دزیمتر پرسنلی استفاده نمود.



شکل ۱۴. دزیمتر جیبی ساخته شده در آزمایشگاه SSDL.



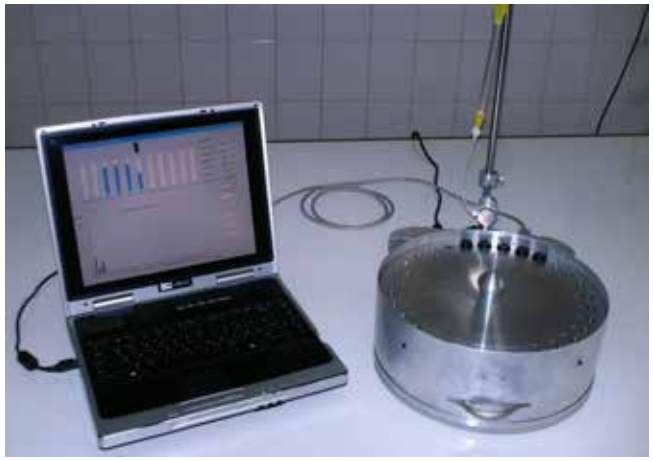
شکل ۱۵. دزیمتر کارتی ساخته‌شده در SSDL.

دستگاه دز-کالیبراتور یا کوری‌متر ساخته‌شده در آزمایشگاه SSDL از دو بخش چاهک (چمبر) و الکترومتر تشکیل شده است (شکل ۱۱). این دستگاه برای اندازه‌گیری اکتیویته رادیوداروها می‌باشد. بازه اندازه‌گیری این دستگاه با توجه به درخواست مشتری از حدود چند میکروکوری تا چند کوری تعیین می‌شود. طریقه کار این دستگاه بدین صورت بوده که ماده رادیواکتیو یا رادیودارو داخل چمبر که با یک گاز بی اثر مانند آرگون با فشار پر شده است و با یک ولتاژ چندصد ولتی بایاس‌شده قرار داده می‌شود. در اثر برخورد پرتوهای یونساز در میدان چاهک، پدیده جداسازی یون‌های مثبت و منفی رخ داده و بار الکتریکی ضعیفی به ورودی الکترومتر انتقال می‌یابد. در الکترومتر که شامل تقویت‌کننده‌هایی می‌باشد، این بار به ولتاژ معادل تبدیل شده و سرانجام به‌وسیله یک مبدل به معادل دیجیتال تبدیل گشته و در نهایت توسط میکروکنترلر و با پردازش مناسب اندازه اکتیویته رادیودارو محاسبه و در صفحه نمایش نشان داده می‌شود. کوری‌متر ساخته‌شده در طی سالیان گذشته تا کنون به مراکز مختلف داخل سازمان و یا مراکز پزشکی هسته‌ای در سطح کشور عرضه شده است.

همچنین ساخت ماژول آرایه آشکارسازهای نیمه‌هادی ارزان‌قیمت جایگزین گایگر-مولر در رادیومترهای محیطی (شکل ۱۶) و طراحی و ساخت دستگاه تزریق اتوماتیک رادیوداروها (شکل ۱۷) از جمله پروژه‌هایی بوده که در این آزمایشگاه با موفقیت انجام شده است.



شکل ۱۶. ماژول آرایه نیمه‌هادی به‌عنوان آشکارساز در دستگاه‌های مونیتورینگ محیطی ساخته‌شده در SSDL.



شکل ۱۷. دستگاه تزریق اتوماتیک رادیوداروها (دستگاه کروماتوگرافی) نمونه ساخته‌شده در SSDL.

۷. معرفی بخش‌های مختلف آزمایشگاه SSDL به تفکیک

الف- آزمایشگاه کالیبراسیون و دزیمتری سطح درمانی

آزمایشگاه سطح درمانی، یکی از آزمایشگاه‌های زیرمجموعه آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه می‌باشد. عمده کار این آزمایشگاه شامل کالیبراسیون اتاقک‌های یونش استوانه‌ای و صفحه موازی مورد استفاده در پرتودرمانی، دزیمتری، کنترل کیفی شتابدهنده‌ها و پایش پرتویی حفاظ اتاق‌های حاوی

شتابدهنده‌ها در مراکز پرتودرمانی است. خدمات کالیبراسیون، در محل آزمایشگاه SSDL و با استفاده از پرتوهای چشمه‌های ^{60}Co و ^{137}Cs آزمایشگاه سطح درمانی انجام می‌شود و خدمات دزیمتری، در محل مراکز پرتودرمانی انجام می‌شود. در این آزمایشگاه دستورالعمل‌های TRS-398، TRS-16، TRS-277 و TRS-457 و استانداردهای IEC-61267 و ISO-4037 به‌همراه ICRU-74 در مورد دزیمتری و کالیبراسیون پرتوهای ایکس به‌کار می‌روند.

ب- آزمایشگاه پزشکی هسته‌ای و براکی‌تراپی

با توجه به اینکه رادیوداروها به‌طور گسترده‌ای در مراکز پزشکی هسته‌ای برای اهداف تشخیصی و درمانی استفاده می‌شوند، ایمنی و مؤثربودن این رادیوداروها، به توانایی کلینیک جهت تعیین مقدار درست پرتوزایی (که در نهایت تعیین‌کننده دز دریافتی بیمار می‌باشد) قبل از تزریق بستگی دارد. در صورتی که پرتوزایی کم تزریق شود، تأثیر مورد انتظار را ندارد و حتی ممکن است موجب پیشرفت بیماری شود؛ بدین ترتیب ضروری است که یک برنامه تضمین کیفیت جامع و یکسان جهت اندازه‌گیری پرتوزایی رادیودارو وجود داشته باشد؛ بنابراین ضروری است که تجهیزات اندازه‌گیری از جمله دز-کالیبراتور با استفاده از چشمه‌هایی که قابلیت ردیابی به استانداردهای ملی یا بین‌المللی دارند، کالیبره شوند. در سال ۲۰۰۴ ، پروژه CRP آژانس بین‌المللی انرژی اتمی تحت عنوان «هماهنگ‌سازی روش اجرایی کیفیت برای اندازه‌گیری‌های پرتوزایی پزشکی هسته‌ای» آغاز شد. در این پروژه، آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه ایران نیز مشارکت داشت. یکی از نتایج این پروژه انتشار سند TRS-454 با عنوان «تضمین کیفیت برای اندازه‌گیری پرتوزایی در پزشکی هسته‌ای» توسط آژانس در سال ۲۰۰۷ بود. در این سند انواع آزمون‌ها و شرایط پذیرش آن، برای دز-کالیبراتورهای پزشکی هسته‌ای به‌عنوان آزمون‌های پذیرش و دوره‌ای توضیح داده شده است. از سال ۲۰۰۷ تاکنون، این آزمایشگاه به‌عنوان تنها آزمایشگاه معتبر در این زمینه اقدام به کالیبراسیون سالانه دستگاه‌های دز-کالیبراتور مراکز پزشکی هسته‌ای کشور نموده است (در حال حاضر بیش از ۲۰۰ مرکز پزشکی هسته‌ای در کشور وجود دارد).

براساس زیربند 3.167 مدرک IAEA GSR Part 3، قابلیت‌ردیابی کالیبراسیون تجهیزات دزیمتری به یک آزمایشگاه دزیمتری استاندارد الزامی می‌باشد. همچنین براساس زیربند 3.170 مدرک فوق، لازم است که مراکز پزشکی هسته‌ای یک برنامه جامع تضمین کیفیت برای پرتودهی‌های پزشکی داشته باشند. مطابق با زیربند ۵-۶ ضابطه INRA-RP-RE-123-00/29-0-Aba.138 مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، کالیبراتورهای رادیونوکلئید پزشکی باید کالیبره باشند. همچنین مطابق با زیربند ۷-۱۰ ضابطه INRA-RP-RE-123-80/73-0-Ord.1398 مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، مدت اعتبار گواهی کالیبراسیون کالیبراتورهای مزبور یک سال پس از تاریخ صدور می‌باشد. در حال حاضر شرکت پارس‌ایزوتوپ تمامی فعالیت‌های مربوط به این بخش را انجام می‌دهد. خرید دستگاه جدید و چشمه‌های استاندارد با قابلیت ردیابی از مرکز استاندارد جمهوری چک از جمله اقدامات انجام شده می‌باشد. اولین هات‌سل تولید ایران، که توسط شرکت پارس‌ایزوتوپ ساخته‌شده است، با رعایت الزامات GMP، توانایی تامین کلاس C و هوابندی کلاس ۳ در این آزمایشگاه نصب شده است. شرکت پارس‌ایزوتوپ در حال حاضر در حال اخذ استاندارد ایزو ۱۷۰۲۵ برای این آزمایشگاه می‌باشد.

روش‌های درمان سرطان عموماً سه دسته‌اند: جراحی، شیمی‌درمانی و پرتودرمانی. این روش‌ها به‌طور مستقل یا ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پرتودرمانی خود به دو دسته عمده تقسیم می‌شود: پرتودرمانی از راه دور (تله‌تراپی) و پرتودرمانی از راه نزدیک (براکی‌تراپی). براکی‌تراپی از ریشه یونانی brachy به معنی نزدیک می‌باشد و عبارت است از پرتودهی کاملاً موضعی به بافت تومور. در به‌وسیله یک یا چند چشمه رادیواکتیو به ناحیه مورد نظر تحویل داده می‌شود. براکی‌تراپی بر اساس آهنگ در به‌صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

- آهنگ در پایین (LDR) ۲-۰/۴گری بر ساعت ($Gy.h^{-1}$)
- آهنگ در متوسط (MDR) ۱۲-۲ گری بر ساعت ($Gy.h^{-1}$)
- آهنگ در بالا (HDR) بزرگتر از ۱۲ گری بر ساعت ($Gy.h^{-1}$)

براکی‌تراپی با آهنگ در بالا یکی از مرسوم‌ترین روش‌های درمان سرطان به‌خصوص در بیماری‌های مربوط به زنان است. در حال حاضر تعداد ۱۱ دستگاه فعال از نوع HDR در کشور وجود دارد. که دارای چشمه کبالت ۶۰ می‌باشند. آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه (SSDL) مسئولیت دزیمتری و کنترل‌کیفی دستگاه‌های براکی‌تراپی را به‌عهده دارد و در صورت درخواست مراکز، آمادگی ارائه سرویس‌های زیر است:

- اندازه‌گیری قدرت کرمای چشمه (Air Kerma Strength)
- آزمون‌های ایمنی (Safety systems)
- آزمون‌های ایمنی و حفاظت پرتویی (Safety and radiation protection)
- اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی (Physical parameters)

موارد فوق دارای چک‌لیست‌هایی هستند که توسط کارشناسان آزمایشگاه و بر اساس معتبرترین منابع موجود از جمله IAEA-TECDOC-1543، IAEA-TECDOC-1274 و ESTRO Booklet تهیه شده است.

ج- آزمایشگاه کالیبراسیون سطح حفاظتی

در آزمایشگاه کالیبراسیون سطح حفاظتی یک دستگاه پرتودهی دارای چشمه‌ی ^{137}Cs قرار دارد که از آن برای کالیبراسیون دزیمترهای محیطی و پرتودهی نمونه‌ها در سطح حفاظتی استفاده می‌شود. علاوه بر آن تعدادی چشمه استاندارد نیز وجود دارند که جهت کالیبراسیون دزیمترهای سطح حفاظتی از آن‌ها استفاده می‌شود. فعالیت عمده در این ناحیه، کالیبراسیون انواع دزیمترهای سطح حفاظتی شامل دزیمترهای محیطی،

دزیمترهای دیجیتال فردی، پایشگرهای محیطی، آلودگی‌سنج‌ها، هشداردهنده‌ها و غیره می‌باشد. همچنین برخی تعمیرات دزیمترها نیز در این آزمایشگاه و آزمایشگاه الکترونیک هسته‌ای انجام می‌شود. شکل ۴ دستگاه پرتودهی مجهز به چشمه ^{137}Cs مربوط به آزمایشگاه کالیبراسیون سطح حفاظتی را نشان می‌دهد.

د- آزمایشگاه دزیمتری نوترون

آزمایشگاه دزیمتری نوترون یکی از آزمایشگاه‌های SSDL می‌باشد که با دارابودن چشمه نوترون Am-Be [۲۴۱]، علاوه بر گسترش فعالیت‌های تحقیقاتی این آزمایشگاه، می‌تواند خدمات مورد نیاز کشور را به‌عنوان یک آزمایشگاه استاندارد ارائه نماید. پرتوهای نوترونی کاربردهای بسیاری در پزشکی، کشاورزی و صنعت دارند. لذا وجود یک میدان استاندارد برای کالیبره‌کردن چشمه‌ها و دزیمترهای نوترون ضرورت دارد. بدون بار بودن نوترون و وابستگی سطح مقطع برهمکنش به انرژی و ماده هدف سبب ایجاد پیچیدگی‌هایی در فرآیند آشکارسازی، دزیمتری و البته حفاظ‌گذاری آن می‌شود. همچنین بالا بودن ضریب وزنی[۱۱] نوترون‌ها سبب تأثیر بالای آن بر بافت‌های بیولوژیکی می‌شود؛ بنابراین قرارگرفتن در معرض پرتوهای نوترونی می‌تواند خطرات بالقوه‌ای برای افراد داشته باشد. لذا حفاظ‌گذاری مناسب در آزمایشگاه‌هایی که محل استقرار چشمه‌های نوترون می‌باشند امری حیاتی است.

این آزمایشگاه مجهز به سیستم انتقال چشمه و جابجایی نمونه است. آزمایشگاه نوترون مذکور متشکل از اتاق پرتودهی، اتاق کنترل و انبار چشمه است. اتاق پرتودهی شامل یک میز متحرک در راستای طولی اتاق و یک چشمه متحرک در راستای عمودی است. کنترل چشمه با استفاده از یک سیستم مکانیکی از اتاق کنترل امکان‌پذیر است، همچنین با استفاده از یک دوربین مداربسته می‌توان وضعیت چشمه، نمونه و آشکارساز را در حین پرتودهی از اتاق کنترل مشاهده نمود. در کف اتاق یک محفظه استوانه‌ای شکل به عمق یک متر قرار دارد که از پارافین پر شده است. در مواقعی که پرتودهی در آزمایشگاه انجام نمی‌شود، چشمه در عمق ۵۰ cm این استوانه قرار می‌گیرد. چشمه به هنگام پرتودهی بالا آمده و پرتودهی انجام می‌شود. تغییر محل نمونه مورد پرتودهی، با استفاده از سیستم مکانیکی تعبیه‌شده در اتاق پرتودهی امکان‌پذیر است. شکل ۵ نمایی از آزمایشگاه کالیبراسیون و دزیمتری نوترون را نشان می‌دهد.

ه- آزمایشگاه الکترونیک هسته‌ای

در کشور ما تا قبل از انقلاب، تمامی دستگاه‌ها و تجهیزات الکترونیک هسته‌ای از خارج کشور وارد می‌شد. پس از پیروزی انقلاب اسلامی بخش الکترونیک هسته‌ای با هدف رفع نیازهای کشور در زمینه طراحی و ساخت دستگاه‌های الکترونیک هسته‌ای و مانیتورینگ پرتوهای یونساز شکل گرفت. در شهریور ۱۳۷۵ این بخش با مدیریت و برنامه جدید کار خود را با سرعت و جدیت در راستای اهداف فوق آغاز کرد. هدف از تأسیس این آزمایشگاه، تحقیق، طراحی و ساخت دستگاه‌های مرتبط با الکترونیک هسته‌ای بوده است. همچنین ارتباط و همکاری با سایر آزمایشگاه‌ها و گروه‌هایی که جهت پژوهش و یا ساخت نیاز به قسمت‌های الکترونیکی در پروژه‌های خود دارند نیز از اهداف این آزمایشگاه می‌باشد. بر این اساس انواع تجهیزات و دستگاه‌های هسته‌ای مختلف طراحی و ساخته‌شده است. مشاوره، همکاری در عیب‌یابی، تعمیر و یا راه اندازی دستگاه‌های الکترونیکی با درخواست سایر گروه‌ها و یا مراکز نیز از اموری بوده است که همواره به‌عنوان بخشی از فعالیت‌های کارشناسان و تکنسین‌های این مجموعه بوده است.

از اهم فعالیت‌های این آزمایشگاه می‌توان به طراحی و ساخت دستگاه‌های مانیتورینگ محیطی پرتوهای یونساز، طراحی و ساخت دزیمترهای فردی و دستی، طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری اکتیویته رادیوداروها (کوری‌متر)، طراحی و ساخت و راه‌اندازی شبکه رادیومترهای محیطی برای سیکلوترون کرج، مرکز پرتودهی بناب و پسماندای انارک، همکاری و مشاوره در عیب‌یابی و یا تعمیر بعضی از دستگاه‌های الکترونیکی حساس که در مرکز کرج وجود دارد و یا راه‌اندازی آن‌ها، همکاری در انجام بخش‌های الکترونیکی پروژه‌های همکاران در این آزمایشگاه یا سایر آزمایشگاه‌های سازمان انرژی اتمی اشاره نمود. کارشناسان و تکنسین‌های این آزمایشگاه در پروژه‌های متعددی در سازمان که نیاز به طراحی و ساخت مدارات الکترونیکی بوده همکاری فعالی داشته‌اند. مشاوره و همکاری در طراحی و ساخت بردهای تقویت‌کننده و یا آنالیز و نمایشگر داده‌های مربوط به آشکارسازهای حساس به پرتو بخشی از این فعالیت‌ها بوده است.

همچنین اعضای هیأت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها شاغل در آزمایشگاه SSDL، ضمن تعریف پروژه‌هایی مرتبط با فناوری‌های مدرن در زمینه آشکارسازی و دزیمتری پرتوهای یونساز، به ارائه راهنمایی و مشاوره به دانشجویان تحصیلات تکمیلی مراکز پژوهشی و دانشگاهی کشور پرداخته و تاکنون دستاوردهای مختلفی از جمله طراحی و ساخت سیستم‌های دزیمتری پیشرفته و چاپ کتب و مقالات متعددی در این زمینه ارائه نموده‌اند. در اینجا چند مورد از آخرین مقالات چاپ شده در ژورنال‌های بین‌المللی معتبر توسط پژوهشگران آزمایشگاه دزیمتری SSDL ذکر می‌شود:

1. Mehrara, Rojin, Shahryar Malekie, Seyed Mohsen Saleh Kotahi, and Sedigheh Kashian. "Introducing a novel low energy gamma ray shield utilizing Polycarbonate Bismuth Oxide composite." Scientific Reports 11, no. 1 (2021): 13-1.

2. Feizi, Shahzad, Anita Alipour, Parviz Ashtari, and Milad Samii Matin. "γ-Ray dosimeters based on magnetic nanoparticles in graphene oxide nanocomposites: novel resistive dosimeters." Applied Physics A 127, no. 6 (2021): 6-1.

۱۱ Weighting Factor

Surface Science 488 (2019): 680-671.

10. Malekie, Shahryar, Farhood Ziaie, Shahzad Feizi, and Abdolreza Esmaeli. "Dosimetry characteristics of HDPE–SWCNT nanocomposite for real time application." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 833 (2016): 133-127.

11. Ebrahimi, Nesa, Mohammad Amin Hosseini, and Shahryar Malekie. "Preliminary study of linearity response of γ-irradiated graphene oxide as a novel dosimeter using the Raman spectroscopy." Bulletin of Materials Science 43, no. 1 (2020): 5-1.

12. Feizi, Shahzad, Shahryar Malekie, Reza Rahighi, Ahmad Tayyebi, and Farhood Ziaie. "Evaluation of dosimetric characteristics of graphene oxide/PVC nanocomposite for gamma radiation applications." Radiochimica Acta 105, no. 2 (2017): 170-161.

13. Mosayebi, A., S. Malekie, and F. Ziaie. "A feasibility study of polystyrene/CNT nano-composite as a dosimeter for diagnostic and therapeutic purposes." Journal of Instrumentation 12, no. 05 (2017): P05012.

14. Shafaei, Mostafa, Farhood Ziaie, and Nahid Hajiloo. "Thermoluminescence properties of micro and nano structure hydroxyapatite after gamma irradiation." Kerntechnik 81, no. 6 (2016): 654-651.

- Malekie, S., and F. Ziaie. "Study on a novel dosimeter based on polyethylene–carbon nanotube composite." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 791 (2015): 5-1.

3. Hosseini, Mohammad Amin, Shahryar Malekie, and Nesa Ebrahimi. "The analysis of linear dose-responses in gamma-irradiated graphene oxide: Can FTIR analysis be considered a novel approach to examining the linear dose-responses in carbon nanostructures?." Radiation Physics and Chemistry 176 (2020): 109067.

4. Rahimi, Abbas, Farhood Ziaie, Nasrin Sheikh, and Shahryar Malekie. "Calorimetry System Based on Polystyrene/MWCNT Nanocomposite for Electron Beam Dosimetry: A New Approach." Nanotechnologies in Russia 15, no. 2 (2020): -175 181.

5. Mosayebi, Armin, Shahryar Malekie, Abbas Rahimi, and Farhood Ziaie. "Experimental study on polystyrene-MWCNT nanocomposite as a radiation dosimeter." Radiation Physics and Chemistry 164 (2019): 108362.

6. Mohammadi, S. M., and K. Arbabi. "Determination of the humidity correction factor for use in dosimetry calculations." Journal of Instrumentation 14, no. 09 (2019): P09015.

7. Akbari, Mahmoudreza, and Alireza Karimian. "Monte Carlo assessment of beam deflection and depth dose equivalent variation of a carbon-ion beam in a perpendicular magnetic field." Physica Medica 61 (2019): 43-33.

8. Malekie, Shahryar, and Nahid Hajiloo. "Comparative study of micro and nano size WO3/E44 epoxy composite as gamma radiation shielding using MCNP and experiment." Chinese Physics Letters 34, no. 10 (2017): 108102.

9. Vatankhah, Ahmad Reza, Mohammad Amin Hosseini, and Shahryar Malekie. "The characterization of gamma-irradiated carbon-nanostructured materials carried out using a multi-analytical approach including Raman spectroscopy." Applied