



میزان حفاظت بتن حاوی نانو اکسید تنگستن در برابر تابش پرتو گاما

آناهیتا سراوانی^۱، سید علی آقایان^۲، بهزاد سعیدی رضوی^{۳*}

پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۹/۱۰

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۰۶

چکیده

محدودیت‌ها و معایب مواد محافظ فعلی (همچون وزن بسیار زیاد سرب، ترک‌خوردگی و تخلخل بتن، خوردگی و سمیت فلزات، و انعطاف‌پذیری پایین پلیمرها) منجر به افزایش علاقه به نانوکامپوزیت‌ها برای محافظت در برابر پرتوهای یونیزان در صنعت و پزشکی شده است. در این میان، نانوکامپوزیت‌ها به دلیل خواص مکانیکی برتر و کارایی بالا در تضعیف پرتو، به عنوان سپرهای موثر و نازک‌وزن برای پرتوهای گاما و نوترون معرفی شده‌اند. عوامل کلیدی مانند فراوانی طبیعی، سادگی در فرآیند ساخت نانوکامپوزیت، عدد اتمی بالا (High-Z) فلزات تشکیل‌دهنده (و تأثیر آن‌ها در مکانیسم‌های جذب فوتوالکتریک و تولید زوج که منجر به کاهش شار تابش می‌شود)، چگالی، و همچنین مقرون‌به‌صرفه بودن، نقش مهمی در انتخاب مواد محافظ دارند. با در نظر گرفتن این عوامل، این مطالعه به ارزیابی عملکرد محافظتی بتن اصلاح‌شده با نانوذرات، که در آزمایشگاه مرجع بتن در پژوهشگاه استاندارد ساخته شده و با نانوذرات اکسید تنگستن (WO_3) و رزین اپوکسی تقویت شده است، در برابر تشعشعات گامای ناشی از منبع کبالت-۶۰ (با انرژی ۱،۱۷ و ۱،۳۳ مگاالکترون‌ولت) می‌پردازد. با تغییر درصد وزنی نانوذرات اکسید تنگستن (در بازه ۵ تا ۳۰ درصد)، طیف تابش گاما توسط دکتور سدیم یدید $[NaI(Tl)]$ اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد وزنی نانوذرات، ضریب تضعیف خطی (Linear Attenuation Coefficient) نمونه‌ها به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این بهبود به دلیل پراکندگی و جذب موثر پرتوها توسط نانوذرات با عدد اتمی بالا در ماتریس کامپوزیت است. بر این اساس، سپرهای نانو ساختار با درصد وزنی بهینه و ضخامت کمتر می‌توانند به طور موثر جایگزین سپرهای بتنی معمولی ضخیم‌تر شوند که این امر منجر به صرفه‌جویی در فضای مورد نیاز، کاهش وزن سازه‌های حفاظ پرتی و افزایش کارایی در کاربردهای پزشکی و صنعتی می‌گردد.

کلمات کلیدی: حفاظ سازی، نانوذره تنگستن، خطرات بیولوژیکی اشعه، سرطان^۱

۱- دانشکده فیزیک و مهندسی هسته ای، دانشگاه آزاد شاهرود، شاهرود، سمنان

۲- دانشیار گروه مهندسی هسته ای، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، سمنان، ایران

۳*-نویسنده مسئول: استادیار پژوهشی گروه پژوهشی ساختمانی و معدنی پژوهشگاه استاندارد، سازمان ملی استاندارد، کرج، ایران

۱. مقدمه

امروزه، با گسترش روزافزون کاربرد پرتوهای یونیزان (اشعه ایکس و گاما) در حوزه‌های مختلف پزشکی (از جمله رادیولوژی تشخیصی، سی‌تی‌اسکن، پرتودرمانی و پزشکی هسته‌ای)، صنعت و پژوهش، حفاظت پرتوی به یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین مسائل تبدیل شده است. مواجهه حتی با دزهای پایین این پرتوها می‌تواند به دلیل برهمکنش با بافت‌های بیولوژیکی، اثرات مضر کوتاه‌مدت و بلندمدتی همچون جهش‌های ژنتیکی، بروز انواع سرطان‌ها و نقص‌های مادرزادی را به دنبال داشته باشد (نوری و همکاران، ۱۴۰۳). بنابراین، توسعه و بهینه‌سازی مواد حفاظتی با کارایی بالا، به موضوعی بسیار مورد توجه در جامعه علمی جهان بدل گشته است. مواد متعارف و سنتی مورد استفاده در حفاظت پرتوی، همچون صفحات سرب، فولاد و انواع بتن‌های سنگین، اگرچه نقش بسزایی ایفا کرده‌اند، اما دارای معایب ذاتی هستند. این معایب شامل وزن بسیار زیاد، قابلیت شکل‌پذیری محدود، پتانسیل سمیت (به ویژه سرب)، و در مورد بتن، مسائل مربوط به ترک‌خوردگی و تخلخل می‌باشد. به همین دلیل، تحقیقات اخیر به سمت استفاده از مواد کامپوزیتی و به ویژه نانوکامپوزیت‌ها سوق یافته است. نانوکامپوزیت‌ها با ترکیب ذراتی با عدد اتمی بالا (High-Z) در یک ماتریس پلیمری، امکان دستیابی به موادی با وزن کمتر، انعطاف‌پذیری بالاتر، و کارایی حفاظتی برتر را فراهم می‌کنند (احمدیان و همکاران، ۱۳۹۹). از جمله نانوذرات امیدبخش در این حوزه می‌توان به اکسید بیسموت (Bi_2O_3)، اکسید تنگستن (WO_3)، انواع اکسیدهای سرب (PbO , PbO_2 , Pb_3O_4)، اکسید آهن (Fe_2O_3) و اکسید گادولینیم (Gd_2O_3) اشاره کرد. ایننانوذرات را می‌توان در ماتریس‌های گوناگونی مانند بتن، پلیمرها (مانند لاستیک‌های سیلیکونی) و به

ویژه رزین‌های اپوکسی بارگذاری کرد. این پژوهش به دنبال طراحی، ساخت و ارزیابی یک نانوکامپوزیت جدید بر پایه رزین اپوکسی حاوی نانوذرات اکسید تنگستن با درصد‌های وزنی مختلف است که به عنوان یک پوشش نازک و کارآمد بر روی سطح بتن اعمال می‌شود. نوآوری اصلی این مطالعه در تلفیق عملکرد سازه‌ای و حفاظتی است؛ به گونه‌ای که پوشش اپوکسی علاوه بر محافظت بتن در برابر عوامل مخرب محیطی مانند رطوبت و خوردگی (که کاربرد رایج آن در صنعت ساختمان است)، نقش یک سپر پرتوی نازک‌وزن و بسیار موثر را نیز ایفا کند. این امر می‌تواند منجر به کاهش ضخامت لازم برای دیواره‌های حفاظتی و در نتیجه صرفه‌جویی اقتصادی و معماری چشمگیر شود. این تحقیق برای اولین بار در ایران با این رویکرد و با این ترکیب خاص انجام می‌پذیرد. روش کار بدین صورت است که پس از ساخت نمونه‌های نانوکامپوزیت اپوکسی/نانوذرات تنگستن با درصد‌های وزنی متفاوت، ضریب تضعیف خطی (μ - Linear Attenuation Coefficient) و نیم‌لایه حفاظتی (Half Value Layer - HVL) این نمونه‌ها در برابر پرتوهای گامای پارانرژی (۱۷، ۱ و ۱۳۳ مگاالکترون‌ولت) منتشر شده از چشمه کبالت-۶۰ اندازه‌گیری می‌گردد. سپس عملکرد حفاظتی این پوشش‌های نانوساختار با نمونه بتن معمولی بدون پوشش به طور دقیق مقایسه خواهد شد. هدف نهایی این پروژه، ارائه یک راهکار عملی و مقرون به صرفه برای ارتقای سطح حفاظت پرتوی در مراکز پزشکی و صنعتی کشور است تا با بهره‌گیری از فناوری نانو، گامی موثر در جهت تضمین ایمنی پرتوی پرسنل، بیماران و عموم مردم برداشته شود (Bagheri et. al. 2018).

۲. روش شناسی، هدف و مسیر پژوهش

از آنجاییکه استفاده از پوشش نانو اکسید تنگستن بعنوان پوشش بتن میتواند منجر به کاهش میزان تابش پرتو گاما شود، در این پژوهش ضخامت های مختلفی از بتن حاوی نانو اکسید تنگستن تحت تابش پرتو گاما قرار میگیرند و در نهایت میزان حفاظت این ماده را مشخص میکنیم. در این پروژه سعی شده تا از اپوکسی رزین حاوی ذرات نانو تنگستن با درصد های وزنی مختلف به عنوان پوشش بر روی بتن استفاده شود. هدف اصلی این پژوهش، طراحی و ارزیابی یک سیستم حفاظتی نانوکامپوزیتی سبک وزن و کارآمد برای جایگزینی بخشی از بتن های سنتی مورد استفاده در مراکز پرتودرمانی و تصویربرداری پزشکی است.

روش شناسی پژوهش به شرح زیر است:

تهیه نمونه ها: ساخت نمونه های بتن با پوشش نانوکامپوزیتی اپوکسی-نانو اکسید تنگستن با درصدهای وزنی مختلف (۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪) و ضخامت های متفاوت پوشش (۲، ۵ و ۱۰ میلی متر). منبع تابش: استفاده از منبع پرتو گامای کبالت-۶۰ (انرژی ۱۰۱۷ و ۱۰۳۳ مگا الکترون ولت) برای شبیه سازی شرایط واقعی تابش.

اندازه گیری پارامترهای حفاظتی: محاسبه ضریب تضعیف خطی (μ)، نیم لایه (HVL) و لایه دهم (TVL) برای هر نمونه.

مقایسه عملکرد: مقایسه کارایی حفاظتی نمونه های نانوکامپوزیت با بتن معمولی از نظر کاهش ضخامت و وزن مورد نیاز برای رسیدن به سطح حفاظتی یکسان. تجزیه و تحلیل آماری: استفاده از روش های آماری برای تعیین بهینه ترین درصد نانوذره و ضخامت پوشش از نظر کارایی و اقتصادی.

مسیر پژوهشی این مطالعه به این صورت است که پس از ساخت نمونه ها، آزمایش های پرتوی انجام شده و داده های حاصل از طیف سنجی پرتو گاما ثبت می شود. سپس با استفاده از نرم افزارهای تخصصی (مانند MCNP یا Geant4) شبیه سازی عددی انجام می گیرد تا نتایج آزمایشگاهی اعتبارسنجی شوند. در نهایت، امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از این پوشش در مقیاس واقعی مورد بررسی قرار می گیرد. از آنجاییکه استفاده از بتن مشکلات عدیده ای از جمله وزن زیاد سازه را برای مراکز کار با اشعه در پی دارد، کاهش بتن به کار گرفته شده و جایگزینی آن با مواد سبک میتواند حجم بار مرده ساختمان را کاهش بسیار داده و این امکان را نیز به وجود آورد که بتوانیم سازه های سبک تر را برای مراکز تصویر برداری درمانی در طبقاتی به غیر از طبقات هم کف ساختمان ها مورد بهره برداری قرار دهیم. این پژوهش می تواند راهکاری نوین برای بهینه سازی فضای مراکز پزشکی و کاهش هزینه های ساخت ارائه دهد.

۳. مفاهیم حفاظت در برابر پرتو

تضعیف پرتوهای ایکس و گاما از یک الگوی نمایی پیروی می کند. برخلاف آلفا، بتا و دیگر ذرات باردار، پرتوهای ایکس و گاما قادر به نفوذ عمیق در ماده هستند بنابراین، آنها را نمی توان به طور کامل توسط حفاظ جذب یا متوقف کرد. توانایی حفاظ تشعشی یک کامپوزیت به ضریب تضعیف جرم آن، لایه نیم جذب HVL، لایه یک دهم جذب TVL، پوشش آزاد میانگین MFP و ضریب ساخت بستگی دارد (Mheemeeed et al., 2012).

۴. ضریب تضعیف

ضریب تضعیف خطی (μ) به عنوان احتمال برهمکنش تابش با یک ماده در هر مسیر تعریف

کامپتون و تولید جفتی) و پارامترهایی مانند عدد اتمی موثر، چگالی الکترون موثر، HVL، MFP و فاکتورهای انتقال اشعه ایکس و گاما را می‌توان با استفاده از ضریب تضعیف جرمی محاسبه کرد.

می‌شود. این احتمال به جنس حفاظ و انرژی پرتوهای ایکس و گامای مورد نظر بستگی دارد و ضریب تضعیف جرم (μ/ρ) است. ضریب تضعیف جرم احتمال هر نوع بر هم کنش فتوالکتریک، کامپتون و تولید جفت است. هر نوع فعل و انفعال (فتوالکتریک،

$$\begin{aligned} (\mu/\rho) &= -1/\rho x \text{Ln}(I/I_0) \\ \text{TVL} &= \text{Ln}10/\mu \quad \text{HVL} = \text{Ln}2/\mu \end{aligned} \quad \text{معادله (۱)}$$

ساطع کند فوتون های پراورزی پوشش را تعیین می‌کنند (Kamat et al., 2019).

۵. معیارهای انتخاب محافظ اشعه ایکس و گاما هر ماده‌ای را می‌توان برای محافظت در برابر تشعشع استفاده کرد، اگر ضخامت کافی برای کاهش تابش را داشته باشد. هر چه عدد اتمی ماده استفاده شده در حفاظ بیشتر باشد ضخامت حفاظ کمتر است و بالعکس. در واقع، اهداف تولید بر کاهش ضخامت و بهبود توانایی محافظتی متمرکز شده است. مواد استفاده شده با چگالی کم اگر چه بازده ضعیفی دارند اما میتوان نقص حفاظ را با افزایش ضخامت جبران کرد (Cember, 1969). استفاده از مواد با چگالی بالا باعث کاهش شدت تابش برخورد می‌شود که مقرون به صرفه ترین گزینه است. قابل ذکر است که راندمان بیشتر کامپوزیت های مورد استفاده برای محافظت در برابر تابش مستقیماً با عدد اتمی مؤثر و چگالی الکترون مؤثر ماده محافظ مرتبط است. بهترین مواد برای محافظت از اشعه ایکس و گاما آنهایی هستند که از عناصر سنگین (مواد با چگالی بالا و عدد اتمی بالا) ساخته شده اند به این دلیل که احتمال فعل و انفعالات در آن مواد زیاد و در نتیجه جذب انرژی بیشتری از فوتون ها اتفاق می افتد (Mansori et al., 2020). مواد با عدد اتمی بالا، از جمله سرب، بیسموت و ترکیبات تنگستن، از پرتوهای گامای ۱۵۰۰-۲۰۰۰ کیلو ولت عمدتاً از طریق ترکیبی از پراکندگی کامپتون و جذب فتوالکتریک محافظت می‌کنند. اگر منبعی فوتون‌ها را با انرژی‌های مختلف

۶. تنگستن

تنگستن (عدد اتمی ۷۴، چگالی ۱۹,۲۵ گرم سانتی‌مترمکعب در ۲۰ درجه سانتی‌گراد) می‌تواند به عنوان یک جایگزین عالی برای حفاظ های سربی باشد (Nambiar et al., 2013). ضریب تضعیف آن کمی کمتر از سرب است اما چگالی بیشتر تنگستن امکان ضخامت مشابه را برای رسیدن به تضعیف مشابه سرب فراهم می‌کند (Burgio et al., 2018). علاوه بر این، بر خلاف سرب، تنگستن یک ماده سازگار با محیط زیست و سمیت کمتر با بالاترین نقطه ذوب است (۳۴۲۲ درجه سانتیگراد) و کمترین فشار بخار (برای دماهای بالاتر ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد) است.

۷. پیشینه تحقیق

این آزمایش در سال ۲۰۱۵ که به همت Hassan و همکاران انجام شده و هدف از آن بررسی پاسخ این سوال که آیا افزودنی‌هایی با اندازه‌ی نانو در مقایسه با افزودنی با اندازه میکرو به همراه سرب باعث تضعیف اشعه گاما می‌شوند یا خیر (Grassetti et al., 2015). در این مطالعه (اکسید سرب و تیتانات سرب) با درصد‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. علاوه بر این، این مطالعه به همبستگی بین ضریب تضعیف اشعه گاما و ساختار مورفولوژیکی می‌پردازد. نمونه

از (سیستم Osbrey NaI TI) آشکارسازی صورت گرفت. برای حفاظ‌هایی که با غلظت‌های مختلف تهیه شده‌اند به این نتیجه رسیدند که ضریب تضعیف با کاهش انرژی افزایش می‌یابد و غلظت (۳۰)٪ از حفاظ‌های میکرو و (۵) درصد حفاظ‌های نانو به عنوان بهترین حفاظ‌ها انتخاب شدند. نتیجه این مطالعه این است که برای ضخامت یکسان باهمان غلظت حفاظ‌های نانو کارآمدتر از حفاظ‌های میکرو هستند (Shik and Gholamzadeh, 2018).

۸. مواد و روش‌ها

۸-۱- آماده سازی نمونه های بتنی

برای ساختن بتن مورد نظر از ماسه استاندارد استفاده شده است. این ماسه بر اساس استاندارد EN 196-1 ساخته شده که ۱۳۵۰ گرم وزن داشته و ساخت المان است به همراه ۴۵۰ گرم سیمان و ۲۵۰ سی سی آب. برای اندازه گیری نمونه ها از بشر و ترازو استفاده میکنیم و ابتدا وزن بشر را روی ترازو صفر میکنیم. سپس حجمی بین ۲۲۵ سی سی تا ۲۵۰ سی سی آب را در بشر میریزیم. سپس با استفاده از بشر دیگری ابتدا وزن بشر را صفر میکنیم و ۴۵۰ گرم سیمان را در بشر میریزیم و با آب توسط همزن مخلوط میکنیم. بعد از آن ماسه استاندارد را اضافه کرده و با استفاده از میکسر آزمایشگاه که کالیبره شده است همه را با هم مخلوط میکنیم به این ترتیب که ابتدا یک دقیقه با دور کند سپس ۳۰ ثانیه استراحت میدهیم و یک دقیقه با دور تند میکسر مخلوط میکند (شکل ۱).

های بتن را با استفاده از تکنیک PAL و PADB مورد بررسی قرار دادند. استانداردهای مصالح ساختمانی با درصدهای مختلف نانو پودر PbO و PbTiO₃ که به ترتیب با استفاده از روش هم رسوبی و پیش ساز اگزالات تهیه شدند تعیین شدند. از منابع Cs^{۱۳۷} و Co^{۶۰} استفاده شد. افزایش چگالی الکترونی بتن احتمال تعامل با اشعه گاما را افزایش می دهد و در تضعیف اشعه گاما موثر هستند. نتایج بدست آمده بیانگر آن است افزودن nan-PbO به بتن می تواند ضریب تضعیف جرم اشعه گاما آن را افزایش دهد تا به ۳۳ درصد ورق های سرب خالص در ۶۶۲ کیلو ولت برسد. پارامترهای به دست آمده از PAL و PADB نشان داد که هر دو تکنیک نسبت به تغییراتی که در اثر افزودن ترکیبات نانو سرب رخ می دهند بسیار حساس هستند (Abo-El-Enein et al., 2018). نوری و همکاران در سال ۱۴۰۳ مطالعاتی در خصوص میزان مقاومت نانو ذرات اکسید تنگستن در مقابل رطوبت در فاز های آبی (Hassan et al., 2015) و نیز احمدیان و همکاران در سال ۱۴۰۳ مطالعاتی در خصوص دمای هیدروترمال بر خواص فیزیکی و شیمیایی ساختار اکسید تنگستن ارائه دادند (Nawab et al., 2013). این مطالعه در سال ۲۰۱۹ به همت Sabri و همکاران انجام شده است هدف تحقیق آنها طراحی یک حفاظ کامپوزیت خوب با ویژگی هایی مانند (وزن سبک، چقرمگی بالا و ارزان) بود (Sabri and Mahdi, 2019). حفاظ کامپوزیت با رزین اپوکسی و اکسید سرب یک بار به صورت میکرو ذرات با (۵،۱۰،۱۵،۲۰،۳۰) درصد وزنی و بار دیگر به صورت نانو ذرات با (۱،۲،۳،۴،۵) درصد وزنی ساخته شدند. از دو چشمه رادیواکتیو (CS^{۱۳۷}) با انرژی (MeV^{۰،۶۶۲}) و (CO^{۶۰}) با انرژی (۱،۱۷۳) و (MeV^{۱،۳۳۲}) به عنوان چشمه استفاده شد. و با استفاده



شکل ۱. مراحل آماده سازی نمونه های بتنی

میکنیم. بعد از آنکه قالب بتن ها آماده شد قالب ها را در دستگاه عمل آوری با دما و رطوبت مخصوص به مدت ۲۴ ساعت میگذاریم سپس قالب ها را باز میکنیم و در ابعاد لازم برش میدهیم (شکل ۲).

سپس سه قالب $30 * 4 * 4$ سانتی متر آماده میکنیم و بتن ها را طی سه مرحله لایه لایه در قالب ها میریزیم و در میز لرزه میگذاریم میز لرزه ۶۰ دفعه لرزه به قالب ها وارد میکند و زمانی که لایه آخر را اضافه میکنیم با کمچه یا ماله سطح قالب ها را صاف

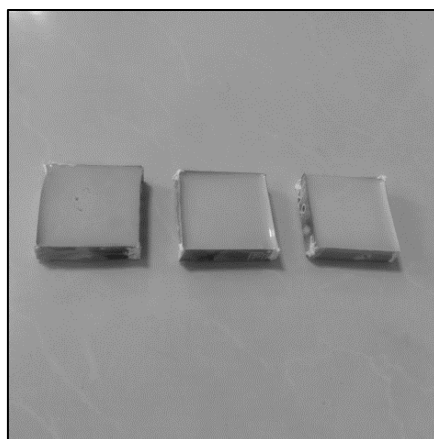


شکل ۲. عمل آوری نمونه های بتنی

۹. پوشش بتن با رزین و نانو تنگستن

بعد از آنکه نمونه های بتن را با ضخامت های مختلف در واحد میلی متر برش دادیم نمونه ها را به طور دقیق با ترازویی با دقت $0/001$ گرم وزن میکنیم. سپس هاردنر و رزین را به نسبت یک به دو ترکیب میکنیم و نانو ذرات تنگستن را با درصد های وزنی مختلف 10% ، 20% ، 30% و 40% وزنی را به ترکیب

رزین و هاردنر اضافه کرده و به صورت اختلاط کامل و طی ده دقیقه هم زدن متوالی در می آوریم و به صورت یک پوشش یکنواخت بر روی نمونه ها پوشش می دهیم. نمونه ها معمولاً بعد از دو روز کاملاً خشک و آماده استفاده میگردند. در شکل ۳ چند نمونه ارقالب ها آورده شده است.



شکل ۳. پوشش نمونه های بتنی

۱۰. ست آپ آزمایشگاهی

برای اندازه گیری تابش و ثبت طیف انرژی بایستی از آشکار ساز استفاده نمود در این میان انواع آشکار ساز ها با سازکارهای مختلف مورد استفاده قرار میگیرد. در این تحقیق ما با آشکار ساز سوسوزن یا سنتیلاتور یدور سزیم کار کردیم.

مراحل کار آماده سازی به ترتیب زیر انجام گردید:

- انتخاب ظرف شمارش و شکل هندسی شمارش مناسب

- آماده سازی نمونه براساس دستورالعمل های آزمایشگاه

- فرایند تنظیمات

- آزمایش آشکار ساز

- کالیبراسیون انرژی

- جمع آوری طیف شمارش

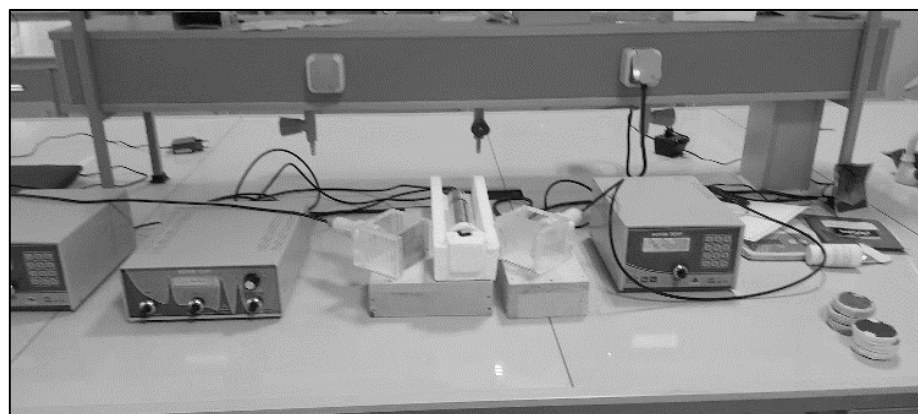
- شمارش نمونه و جمع آوری طیف های گاما
کالیبراسیون دستگاه MCA با چشمه گامای کبالت- 60 انجام شده و سپس شمارش زمینه طی چند بازه 450 ثانیه ای اندازه گیری و ثبت گردید. در مرحله بعد بدون استفاده از فیلتر شدت تابش کبالت- 60 بدون استفاده از حفاظ در فاصله 4 سانتی متری از سطح دتکتور قرار داده شد و طیف گامای آن طی 450 ثانیه با نرم افزار NTMCA جمع آوری گردید. در مرحله بعد با قرار دادن حفاظ های تهیه شده حد فاصل چشمه رادیواکتیو و آشکار ساز طیف انرژی تابشی اندازه گیری و ثبت گردید. برای تنظیم دقیق فاصله چشمه تا سطح آشکار ساز از یک تثبیت کننده استفاده شد تا شرایط در تمام آزمایش یکسان باشد. در این تحقیق به دو صورت ارزیابی حفاظ صورت گرفت:
۱- بررسی طیف انرژی با بتن ۲- بررسی طیف انرژی بتن شامل نانو مواد با درصد وزنی مختلف و رزین. در تمام آزمایش ها از چشمه آزمایشگاهی کبالت- 60

آزمایشی در شکل ۹-۳-ب آورده شده است. در تنظیمات MCA تعداد کانال ها ۱۰۲۴ بوده و ولتاژ منبع تغذیه ۴۵۰ ولت با بازده ۱۰۰ در نظر گرفته شد. خواص فیزیکی چشمه تابش کبالت در جدول ۱ آمده است.

استفاده گردید که خواص فیزیکی آن در جدول ۱ آورده شده است. نانو مواد تهیه شده با درصدهای وزنی متفاوتی به نمونه‌های بتن اضافه شد. این نمونه ها شامل تنگستن WO_3 با درصد وزنی ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ می باشند. آشکارساز مورد استفاده در شکل ۹-۳-الف نشان داده شده است. ست آپ

جدول ۱. مشخصات فیزیکی چشمه کبالت

Microcurrent activity	Gamma radiation energy. Mev	Radiation type	Half-life (years)	source
	1.33			
7	1.17	Gamma	5.27	Co-60



شکل ۴. آشکارساز سدیم یدید، ست آپ آزمایشگاه

۱۱. نتایج ثبت شده از دستگاه MCA

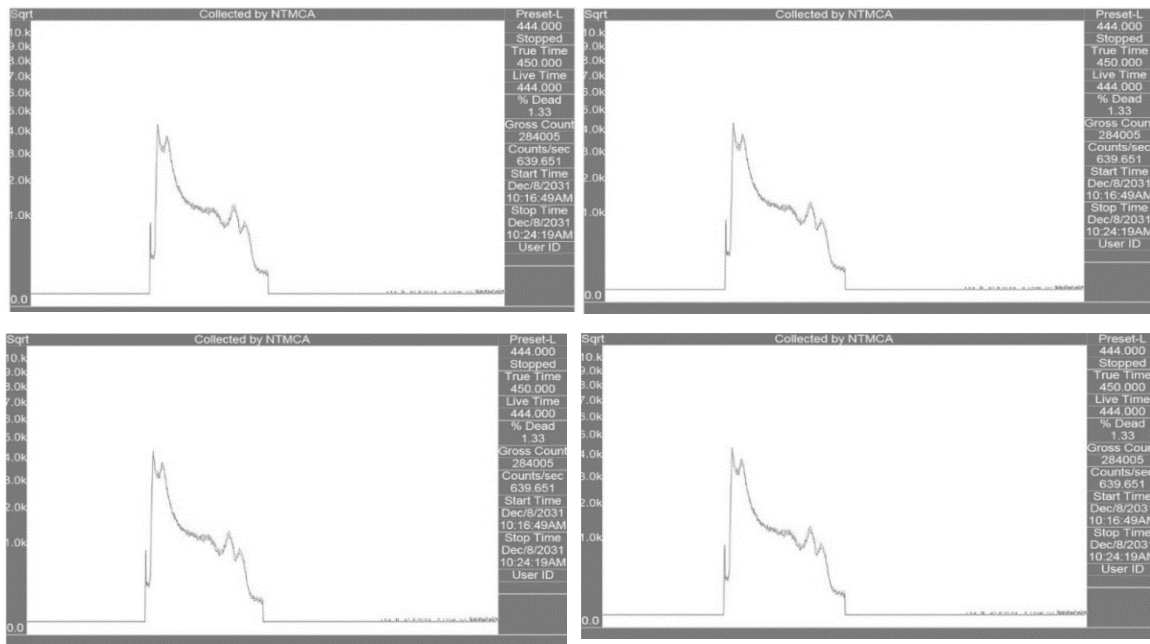
۱۱-۱- محاسبه HVL

مساوی در مقابل چشمه رادیواکتیو قرار داده و طیف انرژی هر کدام را توسط MCA بدست آوردیم. در

در این مرحله از آزمایش برای هر نمونه ۳ ضخامت متفاوت انتخاب نموده و به ترتیب برای زمان های

این بخش خواص حفاظ را صورت شماتیک از نتایج حاصل از MCA بررسی و با یکدیگر مقایسه نموده ایم. برای مقایسه تاثیر نانو مواد مختلف با درصد های متفاوت از یک شاخص در طیف انرژی گامای کبالت استفاده شده است. این شاخص توتال فوتوپیک مربوط به انرژی $1/17 \text{ MeV}$ انتخاب گردید و توسط نرم افزار، شمارش مربوط به این پیک شاخص در هر مورد اندازه گیری و ثبت شد. همچنین برای مقایسه بهتر بین نانو مواد مختلف در ضخامت های متفاوتی طیف های انرژی بصورت مقایسه ای ترسیم گردید. کارایی حفاظ های مختلف در اشکال زیر نمایش داده شده است. همانطور که می دانیم با افزایش ضخامت حفاظ میزان شمارش کاهش یافته و از این واقعیت برای محاسبه میزان ضریب جذب خطی (μ) متعاقباً استفاده خواهیم نمود. مشخصاً تغییر درصد وزنی نانو مواد تنگستن تغییرات قابل توجهی در میزان حفاظ بوجود آورده است که در این میان در شکل ۵ پیداست مقدار عدد اتمی و تاثیر آن در افزایش مقدار μ به دلیل جذب فوتوالکتریک می باشد. مقایسه های مختلف برای بتن حاوی تنگستن 10% و 20% و 30% و 40% درصد وزنی آورده شده است. جدول ۲. کاهش نسبی شمارش در ضخامت های مختلف ماده حفاظ مورد مطالعه در مقایسه با یکدیگر شده است. بعنوان نمونه در شکل ۲-۴ تعداد شمارش ثبت شده توسط آشکارساز در انرژی $1/17 \text{ MeV}$ در مقایسه بین ضخامت ۵ میلی متر از بتن بدون نانو مواد و بتن شامل $WO_3(10\%)$ از میزان 6882 شمارش به 6192 ثبت شده است که نشان دهنده کاهش نسبی 10% در استفاده از بتن شامل $WO_3(10\%)$ بعنوان حفاظ می باشد. به صورت مشابه در شکل ۵ نیز با افزایش درصد وزنی تنگستن در ضخامت ۵ سانتیمتر از بتن $WO_3(10\%)$ مشاهده می شود که میزان شمارش در نقطه شاخص از 6010 شمارش در بتن $WO_3(10\%)$ به 6130 شمارش در $WO_3(20\%)$ کاهش یافته که حاکی از کاهش نسبی $98/0\%$ می باشد.

این بخش خواص حفاظ را صورت شماتیک از نتایج حاصل از MCA بررسی و با یکدیگر مقایسه نموده ایم. برای مقایسه تاثیر نانو مواد مختلف با درصد های متفاوت از یک شاخص در طیف انرژی گامای کبالت استفاده شده است. این شاخص توتال فوتوپیک مربوط به انرژی $1/17 \text{ MeV}$ انتخاب گردید و توسط نرم افزار، شمارش مربوط به این پیک شاخص در هر مورد اندازه گیری و ثبت شد. همچنین برای مقایسه بهتر بین نانو مواد مختلف در ضخامت های متفاوتی طیف های انرژی بصورت مقایسه ای ترسیم گردید. کارایی حفاظ های مختلف در اشکال زیر نمایش داده شده است. همانطور که می دانیم با افزایش ضخامت حفاظ میزان شمارش کاهش یافته و از این واقعیت برای محاسبه میزان ضریب جذب خطی (μ) متعاقباً استفاده خواهیم نمود. مشخصاً تغییر درصد وزنی نانو مواد تنگستن تغییرات قابل توجهی در میزان حفاظ بوجود آورده است که در این میان در شکل ۱-۴ تا ۵ پیداست مقدار عدد اتمی و تاثیر آن در افزایش مقدار μ به دلیل جذب فوتوالکتریک می باشد. مقایسه های مختلف برای بتن حاوی تنگستن 10% و 20% و 30% و 40% درصد وزنی آورده شده است. در این مرحله از آزمایش برای هر نمونه ۳ ضخامت متفاوت انتخاب نموده و به ترتیب برای زمان های مساوی در مقابل چشمه رادیواکتیو قرار داده و طیف انرژی هر کدام را توسط MCA بدست آوردیم. در این بخش خواص حفاظ را صورت شماتیک از نتایج حاصل از MCA بررسی و با یکدیگر مقایسه نموده ایم. برای مقایسه تاثیر نانو مواد مختلف با درصد های متفاوت از یک شاخص در طیف انرژی گامای کبالت استفاده شده است. این شاخص توتال فوتوپیک مربوط به انرژی $1/17 \text{ MeV}$ انتخاب گردید و توسط نرم افزار، شمارش مربوط به این پیک شاخص در هر مورد اندازه گیری و ثبت شد. همچنین برای مقایسه بهتر



شکل ۵. مقایسه طیف انرژی پرتوگاما با تنگستن ۱۰٪ درصد وزنی و بتن ۵ میلی متر-شکل ۲-۴ مقایسه طیف انرژی پرتوگاما با تنگستن ۲۰٪ درصد وزنی و بتن ۵ میلی متر-شکل ۳-۴ مقایسه طیف انرژی پرتوگاما با تنگستن ۳۰٪ درصد وزنی و بتن ۵ میلی متر-شکل ۴-۴ مقایسه طیف انرژی پرتوگاما با تنگستن ۴۰٪ درصد وزنی و بتن ۵ میلی متر

جدول ۲. مقایسه درصد کاهش نسبی شمارش در ضخامت حفاظ ۵ میلی متر

Percentage decrease	protection
10	WO3(10%)
11	WO3(20%)
11.7	WO3(30%)
12.7	WO3(40%)

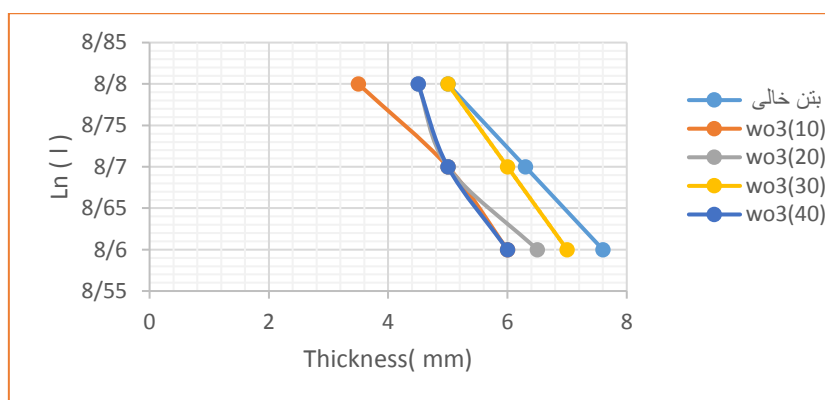
۱۲. نتایج ضریب تضعیف و HVL

برای محاسبه مقدار ضریب تضعیف خطی از قانون جذب نمایی و بصورت لگاریتمی مواد مختلف بررسی و مطالعه گردید. متعاقبا با استفاده از مقدار μ ، مقدار ضخامت لایه نیمه کننده محاسبه شده است. این مقادیر برای تمامی حالت های نشان داده شده در شکل ۶ محاسبه و در جدول ۳ آورده شده است.

از لحاظ وزن بکار گرفته شده به نظر می رسد بکار گیری بتن همراه با تنگستن در مواردی که محدودیت وزن به دلیل سنگینی بتن خالی برای بنا وجود داشته باشد می توان با بکارگیری تنگستن این محدودیت را مرتفع نمود.

از لحاظ وزن بکار گرفته شده به نظر می رسد بکار گیری بتن همراه با تنگستن در مواردی که محدودیت وزن به دلیل سنگینی بتن خالی برای بنا وجود داشته باشد می توان با بکارگیری تنگستن این محدودیت را مرتفع نمود.

مقایسه مقادیر HVL به دست آمده در مورد بتن و نانو مواد تنگستن در جدول ۳ بیانگر آنست که $6/3$ میلیمتر از بتن اثر تضعیف کننده معادل با 5 میلی متر از $WO_3(40\%)$ داراست که عبارتی با استفاده از نانو تنگستن 20% در ضخامت سیمان صرفه جویی می شود. مقدار ضخامت HVL برابر با $7,5$ ، $6,9$ ، $5,5$ و $8,7$ بترتیب برای $WO_3(30\%)$ و $WO_3(40\%)$ و $WO_3(10\%)$ و $WO_3(20\%)$ است.



شکل ۶. مقایسه لگاریتم شدت بر حسب تابعی از ضخامت برای حفظ های مختلف

جدول ۳. مقایسه مادیر μ و HVL برای حفاظ های مختلف

HVL (mm)	μ (mm ⁻¹)	Protective material
9	0.076	Empty concrete
8.7	0.078	WO ₃ (10%)
7.5	0.092	WO ₃ (20%)
6.9	0.1	WO ₃ (30%)
5.5	0.12	WO ₃ (40%)

از ویژگی HVL بررسی و مورد ارزیابی قرار گرفت. این دستاورد بیان میکند که اگر مرکز تشخیص طبی بعنوان مثال در طبقه دوم یک ساختمان طراحی شده باشد بار مرده ساختمان ۲۰٪ کاهش پیدا می نماید. می توان امید داشت که با تغییر ترکیبات نانو مواد به ساختار بهینه برای کاربرد های کلینیکی دسترسی پیدا نمود.

۱۳. نتیجه گیری: در این تحقیق طراحی حفاظ بتن با ترکیبات نانو تنگستن مورد بررسی گردید. در این راستا درصد نانو مواد مختلفی به بتن اضافه گردید. نتایج نشان می دهد که با افزایش درصد نانو مواد ضریب تضعیف نیز افزایش می یابد. نکته قابل توجه آنست که این نوع حفاظ می تواند جایگزین مناسبی برای حفاظ های بتن خالی و سربی باشد. خواص بتن بکار گرفته شده به همراه نانو تنگستن با استفاده

منابع

- نوری، محمد و صادقی. محمدتقی و رشیدی، علیمراد، ۱۴۰۳، مطالعه آزمایشگاهی تغییر ترشوندگی استیل ضدزنگ در اثر پوشش با نانوذرات اکسید تنگستن، <https://civilica.com/doc/2029982>.
- احمدیان، حمیدرضا و شریعتمدارطهرانی، فاطمه و علیان نژادی، مریم، ۱۳۹۹، بررسی اثر دمای هیدروترمال برخواص فیزیکی و شیمیایی نانو ساختارهای اکسید تنگستن، <https://civilica.com/doc/2074724>.
- Bagheri, K., Razavi, SM., Ahmadi, SJ., Kosari, M., Abolghasemi, H., Thermal resistance, tensile properties, and gamma radiation shielding performance of unsaturated polyester/nanoclay/PbO composites. *Radiation Physics and Chemistry*, 2018;146:5-10.
- Mheemeed, A., Hasan, H., Al-Jomaily, F., Gamma-ray absorption using rubber—lead mixtures as radiation protection shields. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2012;291(3):653-9.
- Cember, H., *Introduction to health physics*, 1969.
- Mansouri, E., Mesbahi, A., Malekzadeh, R., Mansouri, A., Shielding characteristics of nanocomposites for protection against X-and gamma rays in medical applications: effect of particle size, photon energy and nano-particle concentration. *Radiation and Environmental Biophysics*, 2020;59:583.600-
- Kamat, VA., Swaroop, K., Kiran, K., George, B., Somashekarappa, H., Effects of hematite-lead oxide combination in ethylene-propylene-diene-monomer on shielding 59.54 keV gamma rays. *Radiation Physics and Chemistry*, 2019;156:50-7.
- Nambiar, S., Osei, EK., Yeow, JT., Polymer nanocomposite-based shielding against diagnostic X-rays. *Journal of applied polymer science*, 2013;127(6):4939-46.
- Burgio, E., Piscitelli, P., Migliore, L., Ionizing radiation and human health: Reviewing models of exposure and mechanisms of cellular damage. An epigenetic perspective. *International journal of environmental research and public health*, 2018;15(9):1971.
- Grassetti, IL., Curran, SL., Petrilli, AM., O'Brien, J., Dow, DE., Martel, JM., editors. Application of polymer composite material for radiation protection of infusion pumps. 2015 17th International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom); 2015: IEEE.
- Abo-El-Enein, S., El-Hosiny, F., El-Gamal, S., Amin, M., Ramadan, M., Gamma radiation shielding, fire resistance and physicochemical characteristics of Portland cement pastes

modified with synthesized Fe₂O₃ and ZnO nanoparticles. *Construction and Building Materials*, 2018;173:687-706.

-Hassan, H., Badran, H., Aydarous, A., Sharshar, T., Studying the effect of nano lead compounds additives on the concrete shielding properties for γ -rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2015;360:81-9.

-Nawab, Y., Shahid, S., Boyard, N., Jacquemin, F., Chemical shrinkage characterization techniques for thermoset resins and associated composites. *Journal of Materials Science*, 2013;48:5387-409.

-Sabri, JH., Mahdi, KH., A Comparative Study for Micro and Nano shield of (PbO) composite for gamma Radiation. *Energy Procedia*, 2019;157:802.14-

-Shik, NA., Gholamzadeh, L., X-ray shielding performance of the EPVC composites with micro-or nanoparticles of WO₃, PbO or Bi₂O₃. *Applied radiation and isotopes*, 2018;139:61-5.