

استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تمایز مواد پرتوزای با منشأ طبیعی از مواد پرتوزای غیر مجاز، توسط آشکارساز سوسوزن پلاستیک

ضیایی سی سخت، رضا*^(۱) - قادری، روح اله^(۱)

۱- دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

چکیده:

تمایز مواد با منشأ طبیعی (مانند سرامیک، کود شیمیایی و...) از مواد پرتوزای غیر مجاز (مانند اورانیوم با خلوص بالا^۱ و پلوتونیوم^{۲۳۹} و...) یکی از ویژگی‌های مهم برای درگاه‌های نظارت بر پرتوزایی بوده که موجب کاهش هشدارهای اشتباه خواهد شد. در این‌جا با استفاده از روش پنجره‌بندی انرژی در طیف ناشی از شبیه‌سازی آشکارساز سوسوزن پلاستیک با کد MCNP^۲، و بهره‌گیری از یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی، روشی ارائه شده است که قادر به تمایز مواد با منشأ طبیعی و پتاسیم ۴۰ از ۴ چشمه‌ی غیر مجاز اورانیوم با خلوص بالا و پلوتونیوم^{۲۳۹} (به عنوان مواد هسته‌ای ویژه)، سزیم^{۱۳۷} (به عنوان نماینده‌ای از بمب‌های کثیف) و اورانیوم ضعیف شده^۳ می‌باشد.

کلمات کلیدی: *NBR*؛ *Energy windowing*، روش پنجره‌بندی انرژی، آشکارساز سوسوزن پلاستیک، آشکارسازی

مقدمه:

جلوگیری از حمل و نقل مواد پرتوزای قابل استفاده در تسلیحات هسته‌ای و همچنین بمب‌های کثیف از یک سو، و جستجو برای مواد پرتوزای به سرقت رفته و گم شده از سوی دیگر نقش بسیار مهمی را در برقراری امنیت یک کشور و در نتیجه امنیت جهانی ایفا می‌کند. درگاه‌های نظارت بر پرتوزایی که در نقاط مرزی، فرودگاه‌ها و سایر نقاطی که احتمال حمل و نقل مواد هسته‌ای غیر مجاز وجود دارند، نصب می‌گردند، از پروژه‌هایی است که در هر کشور بسیار مهم است. وظیفه اصلی این درگاه‌ها جلوگیری از عبور مواد پرتوزای غیر مجاز بوده، در حالیکه کم‌ترین تاثیر را در روند عبور و مرور و سایل نقلیه حامل مواد مجاز داشته باشند. آشکار سازهای سوسوزن پلاستیک مانند پلی‌وینیل تولوئن (PVT) به دلیل حساسیت نسبی بالا، هزینه‌ی ساخت پایین و همچنین مقاومت بالا در برابر تغییرات شدید محیطی مانند دما و رطوبت، گزینه‌های مناسبی برای استفاده در درگاه‌های نظارت بر پرتوزایی هستند [۱]. به دلیل پایین بودن عدد اتمی مواد تشکیل دهنده‌ی

^۱ High Enriched Uranium (HEU)

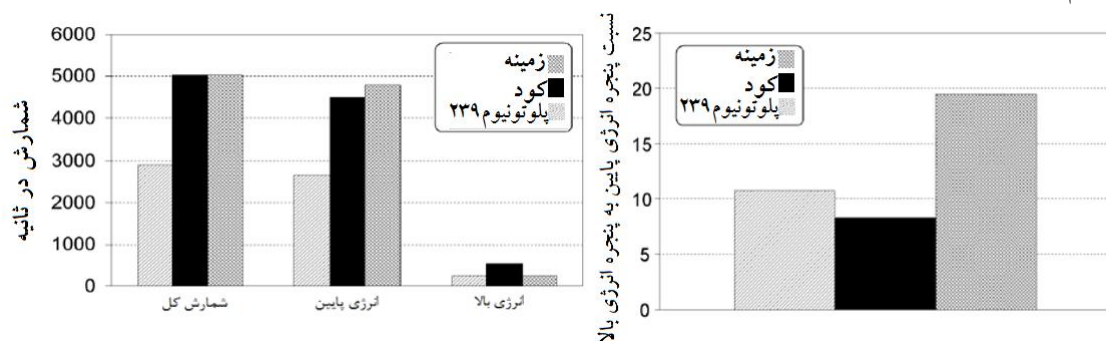
^۲ Monte Carlo N-Particle

^۳ Depleted Uranium

^۴ Natural background rejection

^۵ Polyvinyl Toluene

پلاستیک و همچنین چگالی پایین، این آشکارسازها نسبت به آشکارسازهای HPGe و NaI قدرت تفکیک به مراتب ضیف‌تری دارند، بنابراین برای استفاده از این آشکارسازها نیازمند استفاده از روش‌هایی برای بهبود قدرت شناسایی سیستم‌های مبتنی بر آشکارسازهای پلاستیک خواهیم بود. روش پنجره انرژی (Energy window)، یک تکنیک ساده برای جداسازی مواد پرتوزای مجاز (مانند سرامیک، کود شیمیایی و...) از مواد پرتوزای غیر مجاز (مانند اورانیوم غنی شده، پلوتونیوم و...) است [۲]. این روش معایب روش شمارش خالص را که مبتنی بر اندازه‌گیری پرتوهای زمینه پیش از عبور وسیله نقلیه از درگاه و مقایسه‌ی شمارش‌های آشکارساز هنگام عبور وسیله نقلیه با شمارش‌های زمینه بود، اصلاح می‌کند. در این جا ما برای یک آشکارساز پلاستیک پنجره‌های انرژی را بدست می‌آوریم، و سپس با به کارگیری یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی، قادر به تشخیص حضور یا عدم حضور مواد پرتوزای غیر مجاز خواهیم بود. در روش پنجره‌ی انرژی کل طیف آشکارساز را به چند پنجره‌ی کوچک تقسیم می‌کنیم و شمارش‌های این پنجره‌ها را با هم مقایسه می‌کنیم. مثلاً برای اینکه اورانیوم غنی شده را از مواد پرتوزای طبیعی تمایز دهیم، استفاده از دو پنجره‌ی انرژی کفایت: یکی در انرژی‌های پایین تر از ۲۰۰ keV و دیگری برای انرژی‌های بالاتر از این مقدار [۳]. ولی برای شناسایی مواد بیشتر ملزم به استفاده از پنجره‌های بیشتر و روش‌های پیچیده‌تری هستیم. در شکل (۱) نمونه‌ای از روش پنجره‌ی انرژی برای شناسایی پلوتونیوم ۲۳۹ قابل مشاهده است. همان طور که از شکل پیداست، چنانچه از روش شمارش خالص استفاده کنیم، برای هر دو نمونه‌ی پلوتونیوم ۲۳۹ و کود شیمیایی سیستم هشدار داده و هر دو نمونه را به عنوان مواد غیر مجاز معرفی خواهد کرد.



شکل ۱- تفاوت چشمه‌های با منشأ طبیعی با پلوتونیوم ۲۳۹ در انرژی‌های پایین و بالا (مرجع شماره ۲)

روش کار:

در این جا هدف شناسایی ۵ ماده‌ی پرتوزاست: اورانیوم با خلوص بالا و پلوتونیوم ۲۳۹ (به عنوان مواد هسته‌ای ویژه)، سزیم ۱۳۷ (به عنوان نماینده‌ی از بمب‌های کثیف)، اورانیوم ضعیف شده و پتاسیم ۴۰ به عنوان یک ماده‌ی طبیعی. به دلیل در دسترس نبودن اورانیوم با خلوص بالا، پلوتونیوم ۲۳۹ و همچنین اورانیوم فقیر شده از چشمه‌هایی که گاماها‌ی مشابه این مواد از خود ساطع می‌کنند استفاده می‌کنیم. اورانیوم ۲۳۵ یک قله‌ی

واضح در انرژی ۱۸۶ keV دارد بنابراین می‌توان از چشمه‌ی کبالت ۵۷ که دارای گامای با انرژی ۱۲۲ keV است استفاده کرد. پلوتونیوم ۲۳۹ نیز چند گامای بین ۳۳۰ keV تا ۴۲۰ keV دارد بنابراین به جای پلوتونیوم ۲۳۹ از باریوم ۱۳۳ استفاده می‌کنیم که دارای گامای با انرژی ۳۵۶ keV است. همچنین به جای اورانیوم فقیر شده که در زنجیره‌ی واپاشی آن، گاماها با انرژی ۱۰۰۱ keV و ۷۶۶ keV تولید می‌شوند، از کبالت ۶۰ با گاماها ۱۱۷۳ و ۱۳۳۲ استفاده می‌کنیم. برای اینکه بعداً بتوانیم نتایج شبیه‌سازی و واقعی را با هم مقایسه کنیم در شبیه‌سازی نیز از چشمه‌های معادل استفاده می‌کنیم. همچنین برای شبیه‌سازی طیف زمینه در نرم افزار MCNP باید چشمه‌های گامایی که بصورت طبیعی در خاک موجود هستند را به عنوان عامل اصلی شمارش‌های زمینه شناسایی کنیم. در همه جا این عناصر اصلی‌ترین عامل شمارش‌های زمینه‌اند (با صرف نظر از پرتوهای کیهانی).

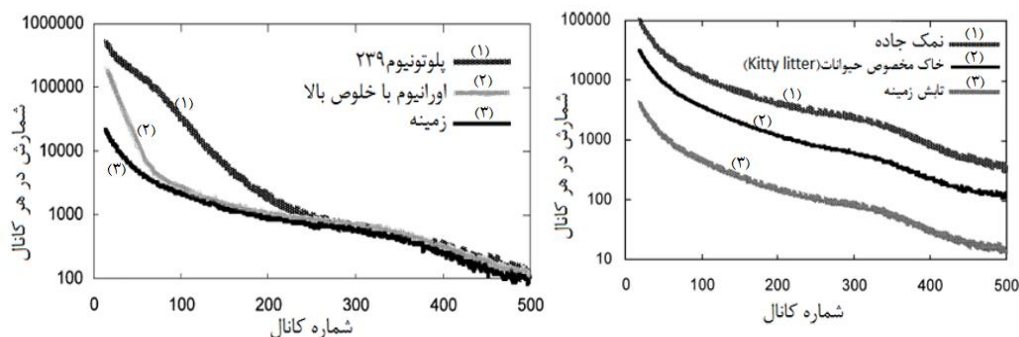
برای شبیه‌سازی تابش زمینه در MCNP از چشمه‌های موجود در مرجع شماره ۴ استفاده کرده و فعالیت هر چشمه را نیز از همین مرجع استخراج می‌کنیم.

جدول شماره (۱) چشمه‌های به کار رفته برای شبیه‌سازی تابش زمینه و فعالیت هر کدام را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱) مواد به کار رفته برای شبیه‌سازی تابش زمینه

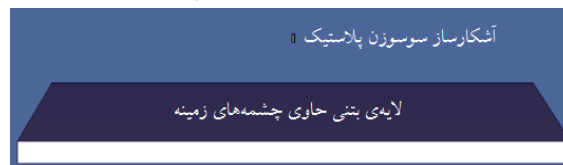
نام چشمه	پتاسیم ۴۰	رادیوم ۲۲۶	توریوم ۲۳۲	توریوم ۲۳۴
فعالیت ویژه (بکرل در هر کیلوگرم)	۴۲/۲۷	۱۰/۶۷	۴/۹۷	۱۲/۷۴

گرچه ممکن است فعالیت چشمه‌های موجود در تابش زمینه در نقاط مختلف کمی متفاوت باشد ولی شکل کلی طیف ناشی از آن‌ها در نقاط مختلف بسیار به هم نزدیک است. مواد پرتوزای طبیعی نیز هر کدام شامل درصدی از چشمه‌های فوق هستند به گونه‌ای که می‌توان اذعان کرد که طیف ناشی از مواد طبیعی کاملاً مشابه با طیف زمینه است. در شکل ۲ شباهت طیف زمینه با طیف مواد طبیعی کاملاً مشهود است، در حالیکه تفاوت طیف مواد غیر طبیعی با تابش زمینه نیز کاملاً قابل مشاهده است:



شکل ۲- تفاوت طیف مواد با منشأ طبیعی و مواد غیرمجاز (شکل از مرجع شماره ۳)

آشکارساز مورد استفاده، آشکارساز سوسوزن پلاستیک (PVT) به شکل استوانه‌ای با قطر ۲ و ارتفاع ۵ اینچ می‌باشد. از آنجا که در زیر درگاه‌های نظارت بر پرتوزایی از بتن استفاده می‌شود، برای شبیه‌سازی نقش پرتوهای زمینه، از یک لایه بتنی شامل مواد رادیواکتیو موجود در جدول یک استفاده می‌کنیم. ابعاد این لایه بتنی را نسبت به اندازه‌ی آشکارساز به قدر کافی بزرگ انتخاب می‌کنیم که نقش تابش زمینه را به خوبی ایفا کند. ابعاد این لایه بتنی را برابر با $۰/۳ \times ۸ \times ۸$ (متر مربع) قرار می‌دهیم. آشکارساز را در فاصله‌ی ۱ متر از سطح بتن قرار می‌دهیم. شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی این موضوع است.



شکل ۳- نمایی از آشکارساز و لایه بتنی

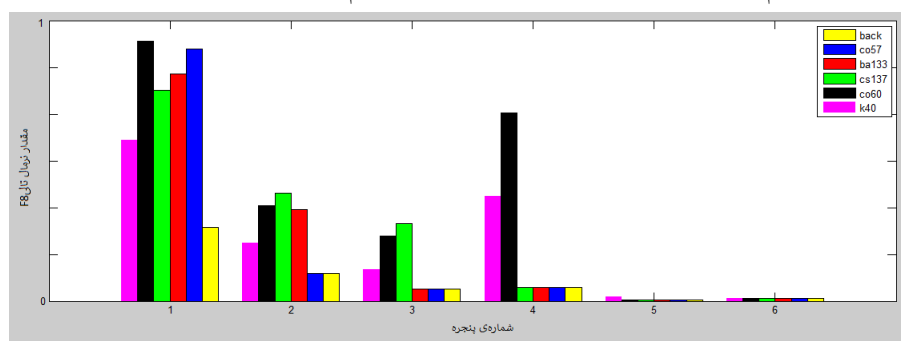
برای بدست آوردن پنجره‌های انرژی، ۱ میکروکوری از هر کدام از چشمه‌های کبالت ۵۷، باریوم ۱۳۳، سزیم ۱۳۷، کبالت ۶۰ و پتاسیم ۴۰ را به تنهایی در فواصل مختلف از آشکارساز (از ۵ سانتی‌متر تا ۲ متر با گام‌های ۱۰ سانتی‌متری) قرار می‌دهیم و نتایج شمارش تالی F8 را برای این چشمه‌ها بدست می‌آوریم. همچنین در حالتی که هیچکدام از چشمه‌های فوق در محیط حضور نداشته باشند، شمارش‌های ناشی از زمینه را نیز بدست می‌آوریم. در عمل چون حساسیت هر پنجره‌ی انرژی وابسته به جذر شمارش زمینه در آن پنجره است، برای بدست آوردن پنجره‌ی انرژی مربوط به هر چشمه نسبت انتگرال شمارش ناشی از چشمه به جذر انتگرال ناشی از زمینه را حساب کرده و در انرژی که این مقدار بی‌شینه شود، آن انرژی را به عنوان حد بالای پنجره‌ی انرژی آن چشمه در نظر می‌گیریم. اما در شبیه‌سازی برای بدست آوردن پنجره‌های انرژی، در هر انرژی که شمارش ناشی از چشمه و زمینه با هم برابر شوند، آن انرژی نشان‌دهنده‌ی پنجره‌ی انرژی خواهد بود. برای هر کدام از چشمه‌ها پنجره‌های انرژی بدست آمده به ازای تمام فواصل را بدست می‌آوریم. سپس میانگین این مقادیر را به عنوان حد بالای پنجره‌ی انرژی مربوط به آن چشمه در نظر می‌گیریم. حد پایین پنجره‌ی کبالت ۵۷ را در انرژی ۳۰ keV در نظر می‌گیریم که اثرات ناشی از نویز آشکارساز واقعی را نیز بتوانیم حذف کنیم. حد پایین پنجره‌ی سایر چشمه‌ها نیز برابر با حد بالای پنجره‌ی چشمه‌ی با انرژی کم‌تر از آنهاست. مثلاً برای باریوم ۱۳۳ حد پایین پنجره‌ی انرژی برابر با حد بالای پنجره‌ی کبالت ۵۷ است. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده پنجره‌های انرژی به صورت جدول شماره (۲) بدست آمدند:

جدول شماره (۲)

شماره پنجره	۱	۲	۳	۴	۵	۶
-------------	---	---	---	---	---	---

چشمه	کبالت ۵۷ (اورانیوم با خلوص بالا)	باریم ۱۳۳ (پلوتونیوم ۲۳۹)	سزیم ۱۳۷	کبالت ۶۰ (اورانیوم ضعیف شده)	پتاسیم ۴۰	برای سنجش زمینه
حد پایین (keV)	۳۰	۱۵۹	۳۹۲	۶۷۱	۱۴۰۳	۱۵۲۲
حد بالا (keV)	۱۵۸	۳۹۱	۶۷۰	۱۴۰۲	۱۵۲۱	۲۰۰۰

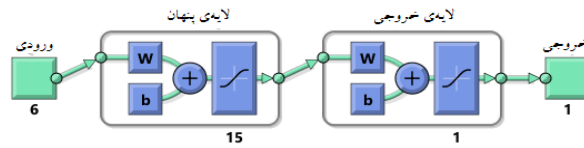
در شکل ۴ برای هر کدام از چشمه‌ها، اندازه‌ی تالی F8 در هر کدام از پنجره‌های انرژی قابل مشاهده است:



شکل ۴- مقدار نورال تالی F8 در هر کدام از پنجره‌های انرژی برای چشمه‌های مختلف

پس از به دست آوردن پنجره‌های انرژی مورد نیاز برای تشخیص چشمه‌های مورد نظر، ابتدا نتایج ۳۲ حالت حضور یا عدم حضور چشمه‌های فوق، در MCNP را جمع آوری می‌کنیم. این نتایج را برای مقادیر مساوی و نامساوی از فعالیت چشمه‌ها (کمترین مقدار برای فعالیت چشمه‌ها یک میکروکوری بوده است) و همچنین در فواصل مختلف (از ۱۰ سانتی متر تا ۸ متر بصورت تصادفی) بدست می‌آوریم. سپس از این داده‌ها برای آموزش یک شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) استفاده می‌کنیم. در اینجا هدف ما تشخیص ۴ چشمه‌ی غیر مجاز است و چشمه‌ی پتاسیم ۴۰ یک چشمه‌ی مجاز بوده که خطری ندارد. دلیل آنکه برای این چشمه نیز یک پنجره‌ی مجزا در نظر گرفتیم این بود که چون مواد حاوی این چشمه زیادند، به منظور افزایش قدرت تصمیم‌گیری سیستم استفاده از یک پنجره مخصوص این چشمه موجب کاهش هشدارهای اشتباه ناشی از آن می‌گردد. بنابراین خروجی سیستم ۲ مقدار ۱ یا ۱- می‌تواند داشته باشد. مقدار ۱ بیانگر حضور چشمه‌های غیرمجاز و مقدار ۱- نشان‌دهنده‌ی عدم حضور چشمه‌ی خطرناک در اطراف آشکارساز است. هرگاه خروجی ۱ شود بیانگر حضور یک ماده‌ی غیر مجاز بوده و هشدار محسوب خواهد شد. شبکه عصبی که طراحی خواهیم کرد، یک لایه‌ی ورودی (با ۶ داده‌ی ورودی) یک لایه‌ی خروجی (با یک داده‌ی خروجی) و یک لایه‌ی پنهان خواهد داشت. نمایی از شبکه‌ی طراحی شده، بصورت شکل ۵ خواهد بود.

Multilayer perceptron^۱



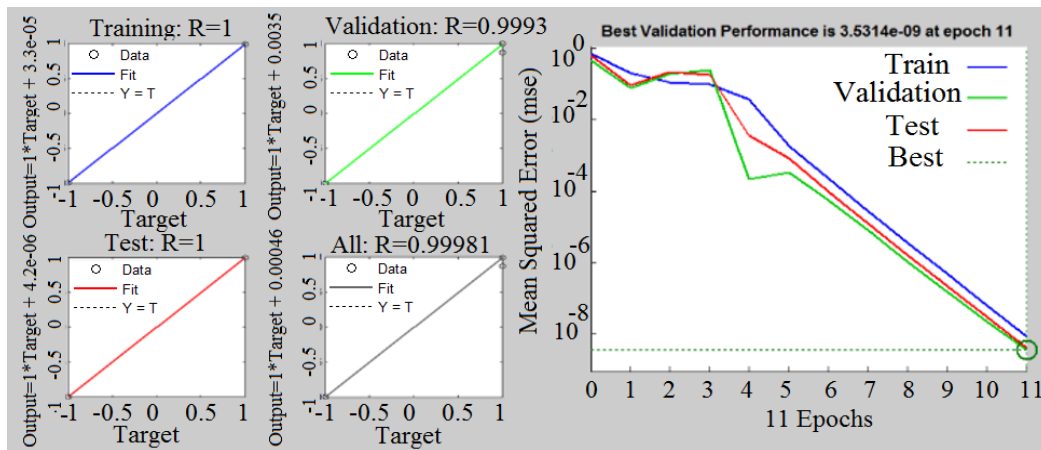
شکل ۵- نمایی از شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده

۶ داده‌ی ورودی همان شمارش‌های هر کدام از ۶ پنجره‌ی انرژی است که بر بزرگترین مقدار خود، تقسیم شده‌اند تا همه‌ی اعداد ورودی از ۱ کوچکتر باشند.

۱۵۰ دسته داده را توسط شبیه‌سازی در MCNP برای طراحی شبکه عصبی جمع‌آوری کردیم که از این مقدار ۱۵ درصد (۲۲ نمونه) برای تست، ۱۵ درصد (۲۲ نمونه) برای اعتبار‌سنجی و بقیه داده‌ها نیز برای آموزش مورد استفاده قرار گرفتند. انتخاب این داده‌ها به صورت تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار متلب انجام گرفت. این داده‌ها شامل مواردی بوده که ترکیب‌های مختلفی از چشمه‌ها با فواصل مختلف و همچنین مواد طبیعی (مثل نمونه خاک‌های موجود در مرجع شماره ۴) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

نتایج :

برای شبکه‌ی طراحی شده نمودار رگرسیون و کارایی سیستم در متلب بصورت شکل ۶ بدست آمد:



شکل ۶- نمودار رگرسیون و کارایی شبکه عصبی طراحی شده

بنابراین شبکه‌ی عصبی مصنوعی طراحی شده به خوبی قادر است چشمه‌های غیرمجاز را از تابش زمینه و همچنین مواد دارای منشا طبیعی تمایز دهد.

بحث و نتیجه‌گیری :

در این‌جا با استفاده از یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی و همچنین روش پنجره‌بندی انرژی در آشکارساز پلاستیک، توانستیم مواد دارای منشأ طبیعی را از مواد غیرمجاز تمایز دهیم. استفاده از این تکنیک در موارد

عملی نیز امکان‌پذیر بوده که در آینده‌ای نزدیک نتایج آن نیز ارائه خواهند شد. اگر تمایز چشمه‌ها از یکدیگر نیز برای ما مهم باشد، می‌توانیم برای هر چشمه یک شبکه‌ی عصبی جداگانه طراحی کنیم که خروجی آن نشان‌دهنده‌ی حضور یا عدم حضور آن چشمه خواهد بود.

مراجع :

- [1] E.R. Siciliano, J.H. Ely, R.T. Kouzes, B.D. Milbrath, J.E. Schweppe, D.C. Stromswold. Comparison of PVT and NaI(Tl) scintillators for vehicle portal monitor applications. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 550 (2005) 647–674.
- [2] J. Ely, K. Anderson, D. Bates, R. Kouzes, C. Lo Presti, R. Runkle, E. Siciliano, D. Weier. The use of energy information in plastic scintillator material. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 276, No.3 (2008) 743–748
- [3] J. H. Ely, R. T. Kouzes, Senior Member, IEEE, B. D. Geelhood, J. E. Schweppe, and R. A. Warner. Discrimination of Naturally Occurring Radioactive Material in Plastic Scintillator Material. IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 51, NO. 4, AUGUST 2004.
- [4] C. M. RYAN, “Determining the Impact of Concrete Roadways on Gamma Ray Background Readings for Radiation Portal Monitoring Systems”, Master’s Thesis, Texas A&M University, May 2011.