

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

فعالسازی نوترونی جهت آنالیز نسبی عناصر اصلی سیمان (PGNAA) با بهینه سازی چیدمان

آزمایش با کد MCNP

صغری، صفرعلی*^(۱) - ابراهیم خانی، مرضیه^(۱) - خاکساری قیری، سلمان^(۲)

۱ - سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده چرخه سوخت، صندوق پستی: ۱۳۳۹۱۴۱۵۵، تهران

۲ - دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، صندوق پستی: ۴۴۱۳ - ۱۵۸۷۵، تهران - ایران

چکیده:

در دستگاه‌های آنالیزگر خط نقاله سیمان از روش آنالیزگامای آنی با فعالسازی نوترون (PGNAA)، استفاده می‌شود. در این پژوهش بر اساس همین روش، آنالیز نسبی عناصر سیمان با فعالسازی نوترون، در آزمایشگاه نوترون دانشگاه صنعتی امیرکبیر برای سه نمونه سیمان با درصد عناصر مشخص انجام گرفت. قبل از آزمایش اندازه نمونه‌ها، ضخامت کند کننده و ... برای نتیجه بهتر با کد MCNP بهینه سازی شدند. در این آزمایش، از طیف‌های گرفته شده از سه نمونه سیمان، با کم کردن زمینه پیوستار هر یک از پیک‌های انرژی عناصر اصلی سیمان، شمارش نسبی آنها محاسبه و رسم شدند. و سپس آنالیز کیفی و نسبی عناصر اصلی سیمان صورت گرفت و با مقادیر واقعی مقایسه شدند؛ و در نهایت با محاسبه خطاهای هر یک از هفت پیک انرژی عناصر اصلی، امکان سنجی آزمایش و آزمایشگاه نیز صورت گرفت.

کلمات کلیدی: آنالیز عناصر سیمان، بهینه سازی با MCNP، آنالیز گامای آنی ناشی از فعالسازی نوترونی (PGNAA).

مقدمه:

استفاده از فناوری هسته‌ای در زمینه‌های مختلف قابلیت‌هایی به ما می‌دهند که می‌توانیم در تشخیص میزان عناصر تشکیل دهنده مواد اظهار نظر کنیم [۱]. یکی از کاربردهای این فناوری استفاده از دستگاه‌های آنالیزگر خط نقاله سیمان در کارخانه هاست، که بر اساس روش آنالیز گامای آنی با فعالسازی نوترون یا PGNAA^۱ کار می‌کنند. در اصول این روش از یک چشمه نوترون، جهت بمباران نمونه تحت آنالیز استفاده می‌شود؛ که با گیراندازی نوترون‌ها توسط نمونه، هسته‌های آنها ناپایدار شده، و به سرعت با گسیل یک یا چند گامای آنی به پایداری می‌رسند، این گامای گسیلی با آشکارساز، آشکار سازی شده و برای شناسایی میزان عناصر، تجزیه و تحلیل می‌شوند [۲]. بر این اساس، ما در این تحقیق، روش آنالیز گامای آنی حاصل از فعالسازی نوترون را به صورت تجربی در آزمایشگاه با چیدمان بهینه شده توسط کد MCNP، جهت صحت این روش، مورد تجزیه و تحلیل و بررسی قرار دادیم.

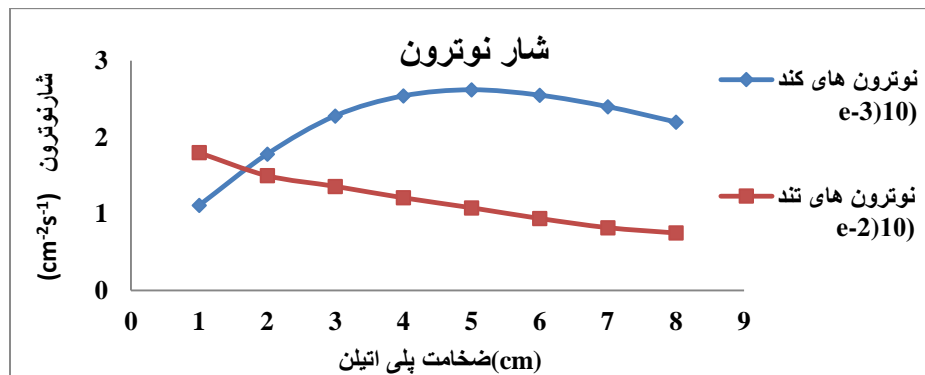
1- Prompt Gamma Neutron Activation Analysis

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

بعد از بهینه سازی و انجام آزمایشات، نتایج حاصله به صورت کیفی و نسبی با مقادیر واقعی مقایسه گردید؛ که در برخی موارد سازگاری قابل قبول با مقادیر واقعی داشتند. و در نهایت یک امکان سنجی برای این آزمایش و این آزمایشگاه نیز صورت گرفت.

روش کار:

آزمایشگاه نوترون شهید دکتر مجید شهریاری مجهز به یک چشمه نوترون (Am-Be) داخل یک تانک استوانه ای پر از آب معمولی که دارای یک کولیماتور افقی جهت پرتودهی خاص می باشد، است (شکل ۴).
برای آزمایش PGNA ابتدا محیط آزمایشگاه جهت بهینه سازی ضخامت کند کننده و اندازه نمونه با کد MCNP شبیه سازی شد. در آنالیز با فعالسازی نوترون باید بیشترین میزان نوترون کند در نمونه فراهم شود تا نرخ برهمکنش (n, γ) و در نتیجه آن، شمارش پیک انرژی های عناصر در آشکارساز بیشترین مقدار شود [۱] [۳]. برای این منظور ابتدا شار نوترون تند و کند برای ضخامت های مختلف پلی اتیلن مکعبی در کد محاسبه گردید.

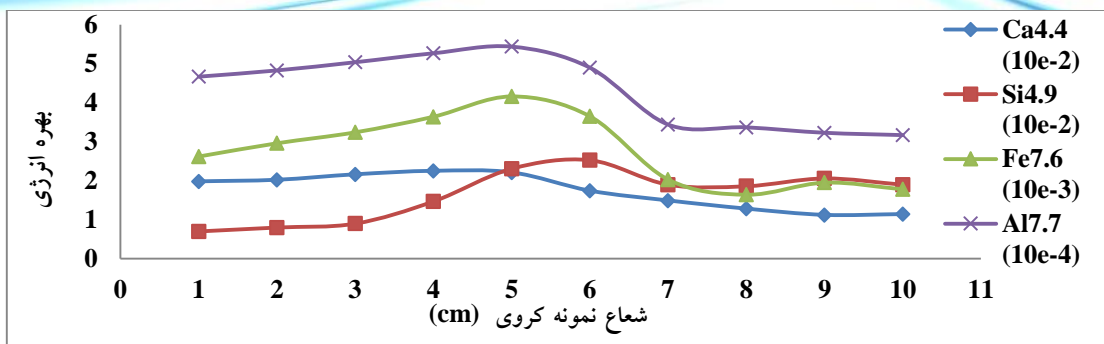


شکل ۱- میزان شار نوترون های تند و کند در داخل نمونه سیمان در ضخامت های مختلف پلی اتیلن مکعب در کد MCNP

شکل ۱ نتایج حاصل از این محاسبات را نشان می دهد که ضخامت بهینه ی (بیشینه نوترون کند) حدوداً ۵cm می باشد. آنالیز عنصری با فعالسازی نوترون وقتی بهتر انجام خواهد شد که میزان "بهره انرژی" (نسبت گامای رسیده و ثبت شده در آشکار ساز به کل شار گاما) نیز بیشترین مقدار را داشته باشد [۳] [۴]. بنابراین مقادیر بهره انرژی $(\text{Si } (4/935 \text{ Mev}))$ ، $(\text{Ca } (4/418 \text{ Mev}))$ ، $(\text{Fe } (7/630 \text{ Mev}))$ و $(\text{Al } (7/725 \text{ Mev}))$ در شعاع های مختلف نمونه کروی سیمان با استفاده از کد MCNP محاسبه شدند و نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۲ دیده می شود شعاع بهینه نمونه سیمان ۵cm می باشد. بعد از بهینه سازی سه نمونه سیمان، با درصدهای مشخص که در شکل ۳ مشاهده می کنید انتخاب شدند.

²- Energy Yield

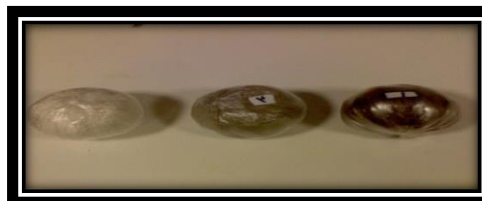
۱۶ و ۵ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



شکل ۲- بهره انرژی چهار عنصر اصلی سیمان در آشکارساز در شعاع های مختلف نمونه کروی سیمان در کد MCNP

در ابتدا یکی از نمونه های کروی سیمان در داخل مکعب پلی اتیلنی (با ضخامت بهینه)، روی به روی دهانه کولیماتور و نزدیک آشکارساز یدورسدم قرار داده شد. در ادامه، با وصل کردن آشکارساز، MCA، کامپیوتر و سایر تجهیزات چیدمان آزمایش برای انجام آزمایش PGNAA آماده شدند (شکل ۴).

	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳
CaO	۶۴/۷۵	۶۳/۱۲	۶۵/۳۲
SiO ₂	۲۱/۱۳	۲۲/۵	۲۳/۵۲
Al ₂ O ₃	۳/۸۲	۵/۰۶	۴/۶۵
Fe ₂ O ₃	۲/۹۵	۳/۹	۱/۴۴



شکل ۳- نمونه های سیمان انتخاب شده و درصد مواد آنها



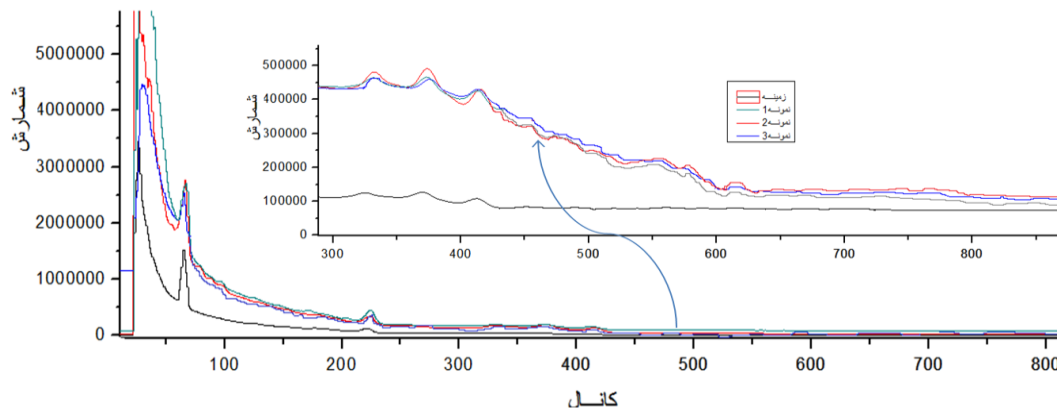
شکل ۴- تانک چشمه آزمایشگاه و تجهیزات چیدمان آزمایش PGNAA استفاده شده در آزمایشگاه شهید دکتر شهریار

بعد از اتمام چیدمان آزمایش، کامپیوتر شروع به ثبت نتایج آنی گاماها ی گسیل از نمونه تحت بمباران نوترونی کرد. برای جبران تعداد آشکارساز کمتر (۱ عدد) مدت زمان شمارش نسبتاً طولانی (حدود ۱۲ ساعت) انتخاب شد. تمام عملیات برای هر سه نمونه و همچنین تابش زمینه (بدون نمونه) بدون تغییر چیدمان آزمایش تکرار شدند.

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

نتایج آزمایش‌ها و آنالیز کیفی آنها:

نتایج شمارش برای سه نمونه سیمان و تابش زمینه در یک نمودار رسم شدند که در شکل ۵ نشان داده شده است. در آنالیز کیفی و شمارش‌های مقایسه‌ای با اندکی خطا، می‌توان با کم کردن زمینه پیوستار هر یک از پیک‌ها در طیف از آنها بهره جست. این روش که به مساحت زیر قله پیک^۳ معروف است، برای محاسبات دستی با دقت کم، مفید است [۵] [۶]. بنابراین برای آنالیز کیفی و نسبی طیف‌ها از این روش استفاده شد. برای این منظور، شمارش سطح زیر قله پیک، برای هر یک از هفت انرژی عناصر اصلی سیمان محاسبه شدند (جدول ۱).



شکل ۵- طیف‌های شمارشی ثبت شده حاصل از آزمایش PGNAA برای سه نمونه سیمان و تابش زمینه

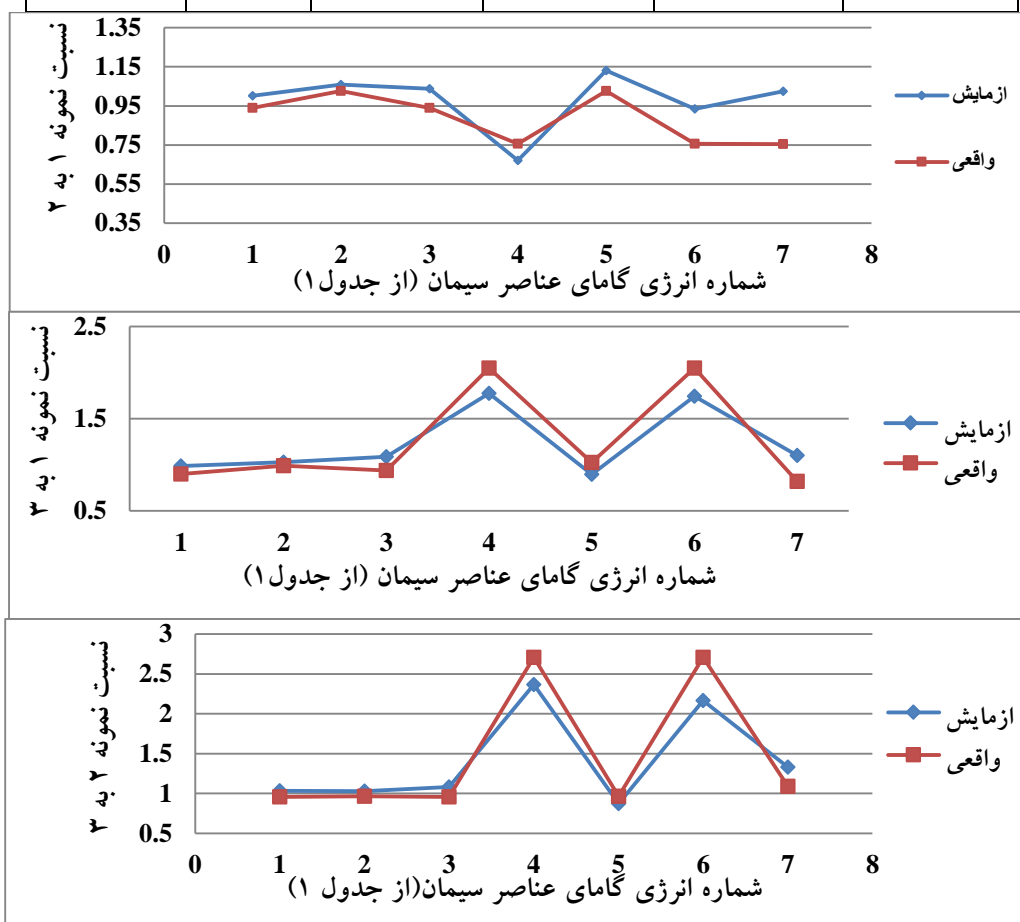
مقایسه میزان شمارش‌های هر یک از انرژی‌های عناصر اصلی سیمان برای هر سه نمونه در جدول ۱، با مقادیر واقعی این سه نمونه در جدول شکل ۳، مقرر شد. نتایج آن را نشان می‌دهد. برای دقیق‌تر و بهتر نشان دادن نتایج مقایسه‌ای آزمایش‌ها، نسبت شمارش‌های نمونه ۱ به نمونه ۲، نمونه ۱ به نمونه ۳ و نمونه ۲ به نمونه ۳ برای هر یک از هفت انرژی عناصر اصلی سیمان به همراه مقادیر واقعی این نسبت‌ها (نسبت درصد نمونه ۱ به نمونه ۲ و ...) محاسبه و در سه نمودار مجزا در شکل ۶ رسم شده‌اند. در نهایت برای ارزیابی کلی از نتایج آزمایش، متوسط خطای سه نسبت، برای انرژی‌های مختلف عناصر اصلی سیمان به صورت یک نمودار میله‌ای در شکل ۷ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۱- میزان شمارش محاسبه شده با روش مساحت زیر قله پیک برای انرژی‌های گاماها عناصر اصلی سیمان برای سه نمونه

شماره انرژی	عنصر	انرژی (MeV)	شمارش نمونه ۱	شمارش نمونه ۲	شمارش نمونه ۳
۱	Si	۳/۵۳۹	۳۸۱۲۵۴۵	۴۱۷۲۲۰۳	۴۴۳۴۲۷۸

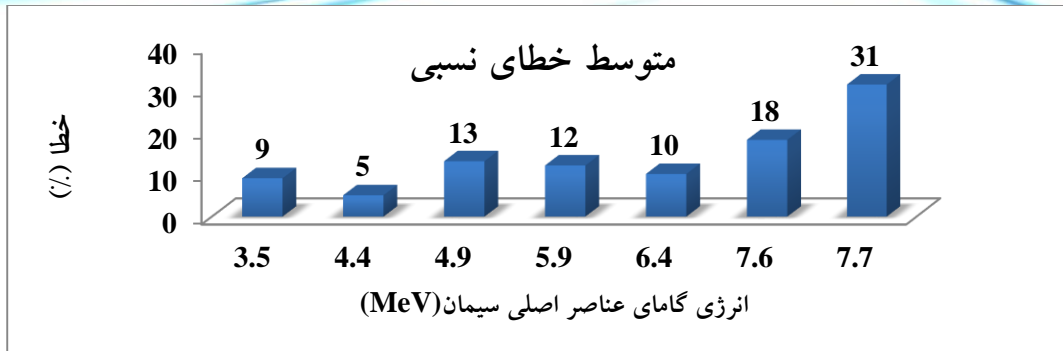
۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

۲	Ca	۴/۴۱۸	۲۲۵۶۸۲۴	۲۰۸۳۲۲۱	۲۴۷۲۸۷۱
۳	Si	۴/۹۳۵	۴۰۹۹۲۳	۴۲۵۷۹۲	۴۴۰۸۱۱
۴	Fe	۵/۹۲	۲۶۰۳۹۸	۲۸۴۸۵۲	۱۸۴۱۰۹
۵	Ca	۶/۴۱۹	۱۸۴۷۸۶	۱۵۳۸۵۲	۲۰۷۸۷۷
۶	Fe	۷/۶۳	۶۲۸۷۲	۶۹۰۲۴	۴۸۶۹۴
۷	Al	۷/۷۲۵	۴۱۴۱۹	۴۱۴۲۴	۴۲۴۶۷



شکل ۶- مقایسه نسبت مقادیر واقعی نمونه ها با نسبت شمارش حاصل از آزمایش نمونه ها، برای ۷ پیک انرژی عناصر اصلی سیمان

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



شکل ۷- خطای متوسط هر یک از هفت انرژی عناصر اصلی سیمان

بحث و نتیجه گیری:

نتایج حاصل از شمارش آزمایش، آنالیز نسبی و موافقت نمودارهای واقعی و آزمایش (شکل ۷) و همچنین خطاهای نسبی (شکل ۸) بیانگر این واقعیت بودند که برای این آزمایش در این آزمایشگاه در انرژی‌ها کمتر از $6/4 \text{ MeV}$ خطای تقریباً قابل قبولی مشاهده می‌شود، ولی برای انرژی‌های بالاتر، این خطا به مراتب بیشتر می‌شود و آزمایش از اطمینان کمتری برخوردار است؛ کاهش بازده و قدرت تفکیک آشکار ساز با افزایش انرژی می‌تواند یکی از دلایل آن باشد.

بنابراین به طور کلی از لحاظ امکان سنجی این آزمایش در این آزمایشگاه (حتی برای مواد مشابه) به دو عامل بستگی دارد: ویژگی‌های عنصری که می‌خواهد آنالیز شود و میزان در دسترس بودن امکانات آزمایش. از ویژگی‌های عناصر، یکی مقدار سطح مقطع جذب نوترونی آنهاست که میزان برهمکنش (n, γ) و در نهایت میزان گاماها را گسیلی را نشان می‌دهد. هر چه سطح مقطع جذب عنصری و میزان گاماها گسیلی بعد از جذب نوترون بیشتر باشد آنالیز با دقت بیشتری انجام می‌شود. از میزان دسترسی به امکانات آزمایشگاهی به تعداد آشکار ساز بیشتر، چشمه نوترونی قویتر (برای شار نوترونی بیشتر)، نرم افزار دقیق آنالیزگر شمارش و غیره می‌توان اشاره کرد. استفاده از دو یا تعداد بیشتر آشکار ساز و یا استفاده همزمان از آشکار سازهای دیگر مثل آشکار ساز نیمه رسانا تا حد زیادی می‌تواند در کاهش خطا موثر باشد؛ و امکان انجام بهتر آزمایش را فراهم کند. این کار برای آنالیز دقیق سیمان بعنوان یک موضوع تحقیق پیشنهادی نیز توصیه می‌شود.

مراجع:

1. A. A. Naqvi, M. A. Garwan, M. Maslehuddin, M. M. Nagadi, O.S.B.Al-Amoudi, M. Raashid, "Response of a PGNAА setup for pozzolan-based cement concretespecimens," Applied Radiation and Isotopes, p. 635–638, 2010.
۲. صادقی محمد؛ "شبیه ساز تحلیلگر لحظه ای خط نقاله در فرایند تولید سیمان به روش آنالیز عنصری پرتوی گامای آبی ناشی از فعالسازی نوترونی"؛ پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، سال ۱۳۹۱



بیست و دومین کنفرانس هسته‌ای ایران



۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

3. M. I. Al-Jarallah, A. A. Naqvia, Fazal-ur-Rehmana, M. Maselehuddinc, F. Abu-Jarada, M. Raashida, "Neutron moderation in a bulksample and its effects on PGNA setup geometry," Radiation Measurements, p. 471 – 474, 2003.
4. A. A. Naqvia, M. M. Nagadib, Khateeb-ur-Rehmanb, M. Maslehuddinc, S. Kidwai, "Monte Carlo simulations for design of the KFUPM PGNA facility," Radiation Physics and Chemistry, p. 89–98, 2003.
5. G. E. Knoll, Radiation Detectibn and Measurement, New YorW: John Wiley & Sons, Inc, 2000.
۶. قنادی مراغه، محمد؛ شیرمردی، سیدپژمان؛ کاربرد عملیاتی رادیو اکتیویته و تابش های هسته ای؛ پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، چاپ اول، سال ۱۳۹۰