

## اندازه‌گیری مقدار سلنیوم موجود در گندم نواحی مختلف شهر کاشان به روش فعالسازی نوترونی در رآکتور مینیاتوری اصفهان

محمد ترکیهای اصفهانی<sup>۱\*</sup>، سیده‌لیلی هاشمی موخر<sup>۱</sup>، مهدی رضوانی فرد<sup>۲</sup>، رامین شیرینی<sup>۲</sup> و احمد رضوانی مقدم<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، اصفهان، ایران.

<sup>۲</sup>پژوهشکده کاربرد پرتوها، سازمان انرژی اتمی، اصفهان، اصفهان، ایران.

اصفهان، کاشان، دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک، کدپستی: ۸۷۳۱۷۵۳۱۳۵

پست الکترونیکی: [torkiha@kashanu.ac.ir](mailto:torkiha@kashanu.ac.ir)

### چکیده

در این تحقیق میزان عنصر سلنیوم در گندم مصرفی مردم کاشان با استفاده از روش فعالسازی نوترونی (Neutron Activation Analysis) در رآکتور مینیاتوری اصفهان تعیین گردید. با توجه به امکان انتقال سریع نمونه از رآکتور جهت اندازه‌گیری طیف ایزتوپ‌های <sup>76</sup>Se با نیمه‌عمر کوتاه (۱۷/۴ ثانیه) استفاده شد. ابتدا مقادیر اندازه‌گیری شده با استانداردهای (B<sub>06</sub> Wheat Flour NBS-1567a, B<sub>12</sub> Hard Red Spring Wheat Flour RM-8437, B<sub>18</sub> Bovine Liver NIST-1577b) مورد آزمایش مربوط به نمونه وارداتی قرمز با مقدار کمتر از ۰/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم (کمترین مقدار قابل اندازه‌گیری) و بیش‌ترین مقدار مربوط به میانگین داخلی با مقدار ۰/۳۵±۰/۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد.

**کلیدواژگان:** سلنیوم، آنالیز به روش فعالسازی نوترونی، گندم، چشمه نوترونی رآکتور مینیاتوری.

### ۱. مقدمه

که بدن در مقادیر متفاوتی به آن‌ها نیاز دارد. مواد معدنی بر اساس میزان نیازشان در بدن به دو دسته‌ی مواد معدنی ماکرو<sup>۱</sup> که نیاز روزانه‌ی بدن به آن‌ها بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم است و مواد معدنی میکرو<sup>۲</sup> (عناصر کمیاب) که نیاز روزانه‌ی بدن به

بررسی ریزمغذی‌ها در مواد گیاهی و تأثیر آن بر بیماری‌های سخت همچون سرطان مورد توجه بسیاری از دانشمندان در حوزه‌های مختلف علوم از جمله علوم پایه، علوم پزشکی و کشاورزی می‌باشد. مواد معدنی، از جمله ریزمغذی‌هایی هستند

<sup>۱</sup> Macro mineral

<sup>۲</sup> Micro mineral

آن‌ها کمتر از ۱۵ میلی گرم است، تقسیم می‌شوند. دسته‌ی دیگری نیز وجود دارد که به نام عناصر بسیار کمیاب شناخته می‌شوند و نیاز روزانه‌ی آن‌ها در حد میکروگرم است. از جمله این عناصر کمیاب ید، سلنیوم، مولیبدنیوم، کروم و ... را می‌توان نام برد. سلنیوم یکی از عنصرهای شیمیایی غیرفلزی و کمیاب است. این عنصر بیشتر به صورت ترکیب یافت می‌شود و به طور خالص کمتر دیده می‌شود. مصرف مقدار زیاد آن سمی است ولی در مقدار کم برای فعالیت سلول‌ها لازم است. این ماده ضد اکساینده قوی است بنابراین از واکنش شیمیایی زیان‌آور که در یاخته‌های بدن اتفاق می‌افتد، جلوگیری می‌کند. بدین ترتیب یاخته‌های حمایت شده بهتر قادرند در مقابل بیماری‌هایی نظیر بیماری قلبی، سرطان و اختلالات وابسته به سن از خود مقاومت نشان دهند. با توجه به میزان کم سلنیوم (در حدود میکروگرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری آن با روش‌های معمول شیمیایی مقدور نبوده و روش فعالسازی نوترونی قادر به شناسایی این مقدار کم می‌باشد. اولین توجه به تأثیر کمبود سلنیوم در ایجاد تحلیل و فساد عضلانی<sup>۱</sup> در گوسفندان و گوساله‌ها در سال ۱۹۵۸ بود. در سال ۱۹۷۳ نقش محوری سلنیوم در آنزیم GPX<sup>۲</sup> که در تخریب پراسیداز نقش دارد به عنوان نخستین نقش سلنیوم در انسان شناخته شد [۱].

سلنیوم نقش مهمی در حفاظت بدن در برابر رادیکال‌های آزاد دارد، زیرا همان‌طور که ذکر شد قسمت اصلی GPX را تشکیل می‌دهد و این آنزیم مسئول تبدیل هیدروژن پراکسید به دو مولکول آب است و همچنین از چربی غشاء سلولی در برابر پراکسیداسیون حفاظت می‌کنند. جذب سلنیوم تا حدودی بستگی به فرم شیمیایی آن دارد. سلنومیتوین بهترین به‌تر از سلنیت سدیم و سلنات سدیم جذب می‌شود ولی اولی بیشتر در ماهیچه‌ها ذخیره می‌شود و برای استفاده خوراکی یا تزریقی

بهتر است از دو نوع آخری استفاده شود. درصد جذب سلنیوم خوراکی بین ۶۰ تا ۸۰ درصد متغیر است. بیشترین غلظت سلنیوم در بدن در کبد، عاج دندان‌ها و ناخن‌ها یافت می‌شود اما بیش‌ترین مقدار سلنیوم بدن در بافت‌های عضلانی است. میزان سلنیوم یک فرد بالغ آمریکایی ۱۵۰µg است، در مناطقی که کمبود متوسط سلنیوم وجود دارد این میزان به ۶۰µg می‌رسد [۱]. در طی تحقیقات به‌عمل آمده در چین به اثبات رسیده که جهت پیش‌گیری از بیماری کشان باید سلنیوم روزانه رژیم افراد بالغ مرد و زن به ترتیب ۱۹µg و ۱۳µg باشد، و جهت حفظ بیشینه سطح پلاسمایی GPX میزان توصیه شده روزانه سلنیوم در زنان و مردان چینی به ترتیب ۵۵µg و ۷۷µg پیشنهاد شده است [۲،۱].

حدود سال‌های ۱۹۳۰ جورج هیوسی و دانشجویش هیلد لیوی اثرات پرتودهی نوترونی روی عناصر نادر خاکی را بررسی کردند و دریافتند این عناصر به‌طور متفاوتی نسبت به پرتودهی واکنش می‌دهند [۳]. یکی از این عناصر دیسپرسیوم (Dy) است که پس از پرتودهی به میزان زیاد رادیواکتیو می‌شود [۴]. در زمان اعمال این روش (سال ۱۹۳۶)، شناسایی بر اساس تشخیص نیمه‌عمر عناصر رادیواکتیو بوده و بر مبنای انرژی تشعشع نشر شده از آن‌ها نبوده است. پس از کشف آنالیز به روش فعالسازی نوترونی (NAA)، به‌علت در دسترس نبودن چشمه‌های نوترونی، این روش به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفت. در واقع این نوع آنالیز تا سال ۱۹۴۲ که اولین راکتور گرافیتی در آمریکا ساخته شد به‌عنوان روشی با حساسیت بالا شناخته نمی‌شد. کاربرد این روش با استفاده از راکتورهای هسته‌ای و تولید آشکارساز NaI(Tl) در سال ۱۹۵۳ آغاز گردید که با تولید آشکارسازهای Ge(Li) که قدرت تفکیک بالایی داشت به‌طور مؤثر در سال ۱۹۶۰ به صحنه آمد و همراه با راکتورهایی با شار بالا به‌شدت گسترش یافت [۵].

<sup>1</sup> Dystrophy

<sup>2</sup> Glutathione provi des

## ۲. روش آزمایش

راکتور مینیاتوری یا  $MNSR^1$  یک راکتور غیرهمگن حرارتی، متراکم، ایمن، با قدرت کم و از نوع مخزن-استخری است که در آن از اورانیوم با غنای بالا به‌عنوان سوخت، آب سبک کندکننده و سردکننده، با انتقال حرارت طبیعی به‌صورت همرفت و خصوصیت زیرکندکنندگی (Under Moderated) و همچنین از فلز برلیوم به‌عنوان بازتابنده استفاده شده است.

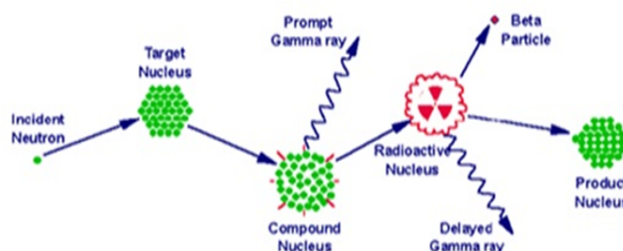
راکتور  $MNSR$  دارای قدرت حرارتی نامی  $30\text{KW}$  بوده است در این توان حداکثر  $2/5$  ساعت قابل استفاده می‌باشد.  $MNSR$  همانند یک چشمه‌ی نوترونی، می‌تواند شار نوترون  $1 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  ایجاد نماید. در  $MNSR$  با این سطح شار کاربردهای متفاوتی از قبیل آنالیز با فعالسازی نوترونی، تهیه‌ی مقادیر کم رادیوایزوتوپ با نیمه‌عمرهای کوتاه برای مقاصد تحقیقاتی و همچنین آموزش در زمینه علوم و فن‌آوری هسته-ای و غیره، امکان‌پذیر است [۶،۷،۸].

فرآیند  $NAA$  می‌تواند به سه مرحله آماده‌سازی، پرتودهی و گرفتن طیف گاما تقسیم‌بندی شود. که البته طیف گرفته شده را باید با کمک نرم‌افزارهای مناسب تفسیر کرد. در این قسمت به نحوه انجام آزمایش می‌پردازیم.

### ۱.۲. آماده سازی

در قدم اول تعداد ۷ نمونه از گندم مصرفی مردم کاشان از سیلوهای شهر با همکاری اداره غلات شهر کاشان جمع‌آوری گردید که از این تعداد سه نمونه وارداتی و چهار نمونه مربوط به استان اصفهان می‌باشد. در جمع‌آوری نمونه‌ها استانداردهای نمونه‌گیری در نظر گرفته شده است.

$NAA$  به‌عنوان یک روش قدرتمند برای آنالیز نمونه‌ها و تعیین کیفی و کمی عناصر موجود در نمونه به‌کار می‌رود. اساس این روش بر پایه تبدیل عناصر مختلف موجود در نمونه به ایزوتوپ‌های رادیواکتیو در اثر تابش‌دهی با نوترون توسط چشمه‌های نوترون و راکتور هسته‌ای استوار است. در اثر تابش‌دهی ایزوتوپ‌های پایدار که اکثر عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌های معدنی، مواد زیست‌شناسی و ... می‌باشند، طی جذب نوترون به مواد رادیواکتیو تبدیل می‌شوند. این عناصر رادیواکتیو متناسب با مشخصه‌ی نیمه‌عمرشان که از ثانیه تا سال متغیر است شروع به واپاشی می‌کنند که بیشتر به‌صورت گسیل پرتوهای گاما با انرژی مشخص صورت می‌گیرد. این روش برای تعیین هم‌زمان  $30-25$  عنصر با دقت ppm-ppb در نمونه‌های مختلف از جمله نمونه‌های زمین‌شناسی، محیطی و زیست‌شناسی به‌شمار می‌رود. از مشخصه‌های فعالسازی نوترونی می‌توان به قدرت انتخاب بالا و حساسیت زیاد اشاره کرد. روش  $NAA$  می‌تواند نسبت به زمان طیف‌گیری به دو گروه تقسیم‌بندی شود: (۱)  $PGNAA$  که در آن طیف‌گیری در حین تابش‌دهی صورت می‌گیرد. (۲)  $DGNAA$  که طیف‌گیری بعد واپاشی رادیواکتیو صورت می‌گیرد. شکل ۱ فرآیند فعالسازی نوترون را نشان می‌دهد.



شکل (۱): شمای فرآیند  $NAA$ .

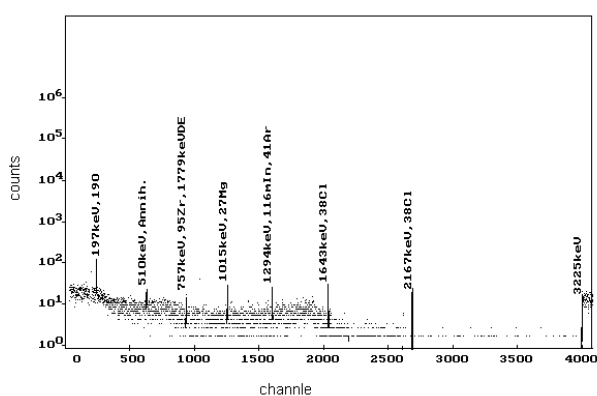
<sup>1</sup> Minatory Neutron Source Reactor

است. برای تعیین غلظت این عنصر از گامای انتقالی طی فرآیند جذب نوترون از ایزوتوپهای  $^{77}\text{Se}$  با نیمه عمر کوتاه ۱۷/۴ ثانیه استفاده شده است. گذارهای سلنیوم برای PGNAA را در جدول ۱ می توان دید.

جدول (۱): مشخصات ایزوتوپهای مورد استفاده در PGNAA [۹].

ایزوتوپ	درصد	محصول	نیمه عمر	انرژی پرتو (MeV)
$^{76}\text{Se}$	۹/۳۷	$^{77}\text{Se}$	۱۷/۳۶ s	۱۶۱/۹۲
$^{78}\text{Se}$	۲۳/۷۷	$^{79}\text{Se}$	۳/۹۲ m	۹۵/۷۳
$^{80}\text{Se}$	۴۹/۶۱	$^{81}\text{Se}$	۵۷/۲۸ m	۱۰۲/۸۹

در اتاق شمارش طیف پرتو گامای نمونه ها و استانداردها به وسیله سیستم اسپکتروسکوپی اندازه گیری و سپس به وسیله سیستم تحلیل گر چندکاناله ( $MCA^1$ ) جمع آوری و در فایل با پسوند CHN ذخیره گردیدند. در شکل ۲ نمونه ای از طیف به دست آمده ارائه شده است.



شکل (۲): قسمتی از طیف پرتوهای گاما توسط MCA مربوط به قله عناصر مهم و پس زمینه.

به منظور دقت بیشتر در تعیین غلظت ها، از هر نمونه سه عدد آماده شد و در کل ۲۱ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. برای اجرای هر چه بهتر آنالیز، نمونه ها کدگذاری شدند. سپس نمونه های گندم جمع آوری شده جهت آماده سازی و آنالیز به آزمایشگاه نمونه سازی بخش راکتور مینیاتوری اصفهان پژوهشکده ی راکتور و ایمنی هسته ای برده شدند.

کلیه نمونه ها بر اساس روش توصیه شده توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی، بعد از جدا کردن ضایعات از آن ها، سه مرتبه با آب یون زدایی شده، شستشو داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای متوسط ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد خشک گردیدند. در قدم بعدی نمونه های کاملاً خشک شده جداگانه تا حد آرد شدن درون یک هاون برقی آسیاب شدند.

## ۲.۲. روش آزمایش با فعال سازی نوترون

حدود ۳۰۰ mgr از هر نمونه با ترازوی فوق دقیق با دقت ۰/۱ mgr (METTLER TOLEDO scale model AT200) اندازه گیری شدند. نمونه ها به همراه نمونه استاندارد درون کپسول های پلی اتیلنی مهر و موم و به مدت ۳۰ ثانیه با شار نوترونی  $5 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  در قلب راکتور تحت تابش قرار داده شدند. در این کار از آشکارساز HPGc (ژرمانیوم فوق خالص) با قدرت تفکیک پذیری کم تر از ۲ keV برای انرژی ۱/۳۳ MeV که متناظر انرژی پرتو گامای کبالت-۶۰ می باشد، استفاده شد و از منبع مولد ولتاژ EG&G ORTEC 459 تقویت کننده ی EG&G ORTEC 627 برای استخراج طیف استفاده شد. در این آزمایش از طریق مقایسه طیف نمونه ها با طیف نمونه استاندارد غلظت عناصر تعیین می گردد.

نمونه استاندارد نمونه ای است که میزان غلظت عناصر در آن با دقت قابل قبولی در آزمایشگاه های معتبر اندازه گیری شده

<sup>1</sup> Multi-Channel Analyzer

جدول (۲): میزان سلیونیوم اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها

منطقه	مقدار ugr/kg	خطا ugr/kg
کاشان	۱۶۰	۴۰
بندر امام	۲۲۰	۴۰
آران و بیدگل	۱۹۰	۵۰
بندرعباس	۱۲۰	۴۰
میانگین داخلی	۳۵۰	۶۰
وارداتی قرمز	۷۰<	۷۰

جدول (۳): میزان کالر، منیزیم و منگنز اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها

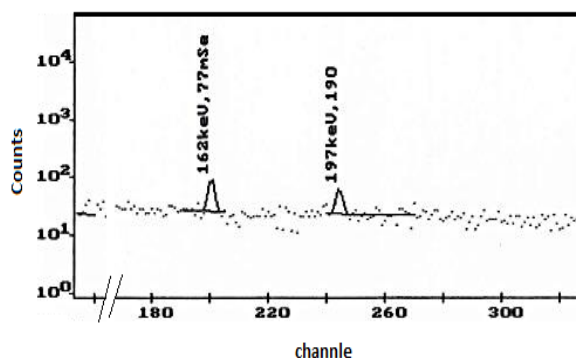
منطقه	کالر mgr/kg	منیزیم mgr/kg	منگنز mgr/kg
کاشان	۱۰۹۷	۹۳۷	۴۶
بندر امام	۸۵۰	۷۸۰	۳۴
آران و بیدگل	۹۶۷	۸۸۰	۴۴
بندرعباس	۷۳۷	۷۴۳	۴۳
میانگین داخلی	۱۲۳۳	۹۸۰	۴۱
وارداتی قرمز	۶۴۰	۹۱۰	۲۱

### ۳. نتیجه‌گیری

نتایج جدول ۱ نشانگر این است که، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار سلیونیوم موجود در نمونه‌ها به ترتیب مربوط به نمونه وارداتی قرمز ( $0.07 \text{ mg/Kg}$ ) و میانگین داخلی ( $0.35 \pm 0.06 \text{ mg/Kg}$ ) می‌باشد. طبق مقایسه‌های به عمل آمده می‌توان نتیجه گرفت که غلظت این عناصر به منطقه کشت و نوع خاک و شرایط آب و هوایی بستگی دارد. منظور از میانگین داخلی نمونه‌ای است که از سوله گندم تهیه شد و ترکیبی به نسبت مساوی از گندم‌های کشت داخل مربوط به

برای به دست آوردن غلظت‌های عناصر، قله‌های مهمی که حتماً در طیف وجود دارند، شناسایی شدند و برای کالیبره کردن استفاده شدند. سپس قله‌های دیگر با توجه به انرژی آن‌ها شناسایی شدند و با توجه به میزان شمارش، غلظت عنصری استخراج شد.

برای این کار نیاز به کتابخانه انرژی مشخصه هسته‌ای برای عناصر مختلف است. برای این منظور از نرم SPAN V4.0 استفاده شد و غلظت عناصر تعیین گردید. شکل ۳ نمونه طیف مربوط به سلیونیوم را نشان می‌دهد.



شکل (۳): قسمتی از طیف پرتوهای گاما توسط MCA مربوط به قله گذار سلیونیوم با نیمه‌عمر ۷۷ ms.

برای تمامی نمونه‌ها و استاندارد انتخاب شده آنالیز به همین ترتیب انجام شد و نتایج در جدول ۲ آمده است. انتخاب استاندارد متناسب با نوع نمونه و انرژی گامای مشخصه صورت می‌گیرد. در مورد نمونه‌های استفاده شده، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که استانداردهای به کار رفته از دقت بالایی در استخراج نتایج برخوردارند. در روش فعالسازی نوترونی با توجه به اینکه تمامی عناصر نمونه، تحت تابش قرار می‌گیرند، احتمال برهم‌کنش‌های مشابه برای عناصر دیگر نمونه نیز وجود دارد. در مورد نمونه‌های انتخابی به‌طور همزمان عناصر منیزیم، منگنز و کالر هم آنالیز شدند که مقادیر اندازه‌گیری شده در جدول ۳ آورده شده است.

روش برای اندازه‌گیری میزان سلنیوم موجود در مواد غذایی مورد استفاده در ایران، پیشنهاد می‌گردد.

جدول (۴): وزن گندم برای دریافت ۵۵-۷۷ میکروگرم سلنیوم از انواع

گندم جدول ۲

میزان مصرف زنانه - مردان (gr)	منطقه
۴۱۸-۳۴۳	کاشان
۳۵۰-۲۵۰	بندر امام
۴۰۵-۲۸۹	آران و بیدگل
۶۴۲-۴۵۸	بندرعباس
۲۲۰-۱۰۷	میانگین داخلی
۷۸۵>	وارداتی قرمز

#### ۴. تشکر و قدردانی

از کارکنان اداره غلات شهر کاشان برای همکاری در تهیه نمونه‌ها سپاسگزاری می‌شود.

یک سال زراعی اخیر می‌باشد. نمونه‌های وارداتی گندم از بندر امام، بندرعباس و نمونه گندم قرمز مقادیر متفاوتی از سلنیوم را دارا می‌باشند و نمونه‌های داخلی هم در بازه گسترده‌ای از میزان ذخیره سلنیوم قرار می‌گیرند. همانطور که در مقدمه اشاره شده است میزان سلنیوم روزانه مصرفی برای حفظ سلامتی در مردان و زنان ۵۵ و ۷۷ میلی‌گرم برآورد شده است که اگر همین مقدار تنها از گندم به دست آید می‌توان مقادیر جدول ۴ را گزارش کرد.

همانطور که در جدول ۴ مشخص شده دریافت سلنیوم مورد نیاز از گندم بسیاری از مناطق ممکن نیست و استفاده از منابع غنی مانند گردو و ماهی توصیه می‌گردد. به‌طور متوسط میزان سلنیوم موجود در گندم‌های داخلی از میزان گزارش شده در الجزیره (۵۲ میکروگرم در کیلوگرم) بیش‌تر است [۲].

با توجه به اثرات ضد سرطانی سلنیوم و قوت غالب جامعه از گندم، مدیریت میزان مصرف سلنیوم با بهره‌گیری از این

#### ۵. مراجع

- [1] رحیمی جامی آبادی، حمید. مقایسه سطح فلزات کمیاب در کودکان بزرگ‌تر از ۶ ماه مبتلا به عفونت‌های حاد شدید دستگاه تنفسی تحتانی با گروه شاهد در بیمارستان الزهرا. پایان‌نامه جهت اخذ درجه تخصص پزشکی (رشته کودکان)، فروردین (۱۳۸۰).
- [2] B. Bladel, B. Nedjimi, A. Mansouri, D. Tahtat, M. Belamri, A. Tchanchane, F. Khelfaoui, M.E.R. Benamar. Selenium content in wheat and estimation of the selenium daily intake in different regions of Algeria. Applied radiation and isotopes. 71 (2013) 7-10.
- [3] Z.B. Alfassi. Chemical analysis by nuclear methods, Wiley, Chichester, (1994).
- [4] شهابی، ایرج. آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی، کارگاه آموزشی آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی، مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته‌ای اصفهان، (۱۳۸۶).
- [5] M. N. Nasrabadi, D. Forghani, I. Shahabi. Determination of trace elements in blood samples of patients affected by multiple sclerosis from Iran by neutron activation analysis. J. Radiational. Nucl. Chem. 293 (2012) 479-482.
- [6] Y.A. Ahmed & et al. THE LOW POWER MINIATURE NEUTRON SOURCE REACTORS: IC/(2006)/020.
- [7] رضوانی فرد، مهدی. آشنایی با رآکتور مینیاتوری اصفهان، کارگاه آموزشی آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی، مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته‌ای اصفهان، (۱۳۸۶).
- [8] خورسندی، جمشید. معرفی رآکتور مینیاتوری چشمه نوترون MNSR، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده‌ی تحقیقات و توسعه‌ی رآکتورها، (۱۳۸۸).
- [9] R.B. Firestone, V.S. Shirley. Table of isotopes. 2 (1998).