مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۵، شمارهٔ ۲، بهار ۱۳۹۶

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

محمد ترکیهای‌اصفهانی[1*]، سیده‌لیلی هاشمی‌موخر[1]، مهدی رضوانی‌فرد[2]، رامین شیرینی[2] و احمد رمضانی‌مقدم[1]

[1]دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، اصفهان، ایران.

[2]پژوهشکده کاربرد پرتوها، سازمان انرژی اتمی، اصفهان، اصفهان، ایران.

[*]اصفهان، کاشان، دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک، کدپستی:۸۷۳۱۷۵۳۱۳۵

پست الکترونیکی: 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 راکتور مینیاتوری اصفهان تعیین گردید. با توجه به امکان انتقال سریع نمونه از راکتور جهت اندازه‌گیری طیف ایزوتوپ‌های ^{77}Se با نیمه‌عمر کوتاه (۱۷/٤ ثانیه) استفاده شد. ابتدا مقادیر اندازه‌گیری شده با استانداردهای (B_{06} Wheat Flour NBS-1567a, B_{12} Hard Red Spring Wheat Flour RM-8437, B_{18} Bovine Liver NIST-1577b) مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که کم‌ترین مقدار سلنیوم موجود در نمونه‌های 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 ۰/۰٦±۰/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد.

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

۱. مقدمه

بررسی ریزمغذی‌ها در مواد گیاهی و تأثیر آن بر بیماری-های 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 که بدن در مقادیر متفاوتی به آن‌ها نیاز دارد. مواد معدنی بر اساس میزان نیازشان در بدن به دو دسته‌ی مواد معدنی ماکرو[1] که نیاز روزانه‌ی بدن به آن‌ها بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم است و مواد معدنی میکرو[2] (عناصر کمیاب) که نیاز روزانه‌ی بدن به

[1] Macro mineral
[2] Micro mineral

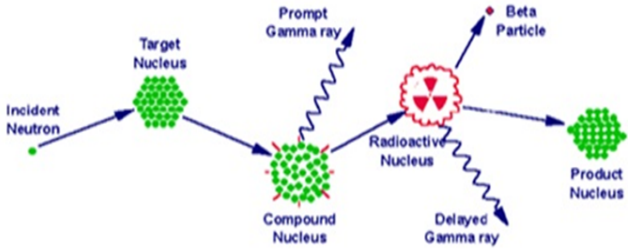
آن‌ها کمتر از ۱۵ میلی‌گرم است، تقسیم می‌شوند. دسته‌ی دیگری نیز وجود دارد که به‌نام عناصر بسیار کمیاب شناخته می‌شوند و نیاز روزانه‌ی آن‌ها در حد میکروگرم است. از جمله این عناصر کمیاب ید، سلنیوم، مولیبدنیوم، کروم و ... را می‌توان نام برد. سلنیوم یکی از عنصرهای شیمیایی غیرفلزی و کمیاب است. این عنصر بیشتر به‌صورت ترکیب یافت می‌شود و به‌طور 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[1] در گوسفندان و گوساله‌ها در سال ۱۹۵۸ بود. در سال ۱۹۷۳ نقش محوری سلنیوم در آنزیم GPX[2] 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. سلنومیتونین 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 ٦٠ تا ٨٠ 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 ۱۵μg است، در مناطقی که کمبود متوسط سلنیوم وجود دارد این میزان به ٦μg 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 به‌ترتیب 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 دیسپریسیوم (Dy) است که پس از پرتودهی به میزان زیاد رادیواکتیو می‌شود [٤]. در زمان اعمال این روش (سال ۱۹۳٦)، 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 ۱۹٤۲ 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 ۱۹٦۰ به صحنه آمد و همراه با راکتورهایی با شار بالا به‌شدت گسترش یافت [۵].

[1] Dystrophy
[2] Glutathione provi des

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 ۳۰-۲۵ 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 طیف-گیری در حین تابش‌دهی صورت می‌گیرد. ۲) DGNAA که طیف-گیری بعد واپاشی رادیواکتیو صورت می‌گیرد. شکل ۱ فرآیند فعالسازی نوترون را نشان می‌دهد.



شکل (۱): شمای فرآیند NAA.

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 ۳۰KW بوده است در این توان حداکثر ۲/۵ ساعت قابل استفاده می‌باشد. MNSR همانند یک چشمه‌ی نوترونی، می‌تواند شار نوترون 1×10^{12} $n/cm^2.s$ 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.

[1] Minatory Neutron Source Reactor

به‌منظور دقت بیشتر در تعیین غلظت‌ها، از هر نمونه سه عدد آماده شد و در کل ۲۱ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. برای اجرای هر چه بهتر آنالیز، نمونه‌ها کدگذاری شدند. سپس نمونه‌های گندم جمع‌آوری شده جهت آماده‌سازی و آنالیز به آزمایشگاه نمونه‌سازی بخش راکتور مینیاتوری اصفهان پژوهشکده‌ی راکتور و ایمنی هسته‌ای برده شدند.

کلیه نمونه‌ها بر اساس روش توصیه شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، بعد از جدا کردن ضایعات از آن‌ها، سه مرتبه با آب یون‌زدایی شده، شستشو داده شدند و به مدت ۲٤ ساعت در دمای متوسط ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. در قدم بعدی نمونه‌های کاملاً خشک شده جداگانه تا حد آرد شدن درون یک هاون برقی آسیاب شدند.

۲.۲. روش آزمایش با فعالسازی نوترون

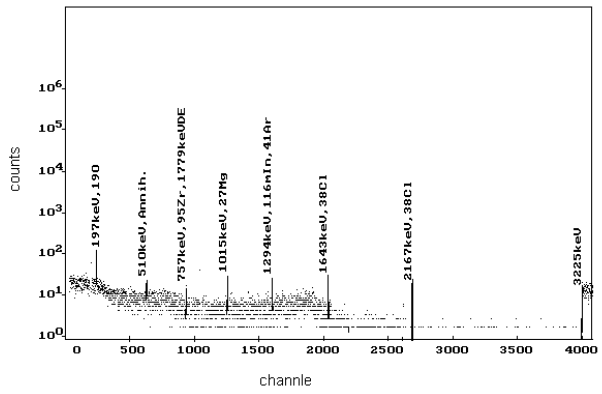
حدود ۳۰۰mgr از هر نمونه با ترازوی فوق دقیق با دقت ۰/۱mgr (METTLER TOLEDO scale model AT200) اندازه‌گیری شدند. نمونه‌ها به‌همراه نمونه استاندارد درون کپسول‌های پلی‌اتیلنی مهروموم و به‌مدت ۳۰ ثانیه با شار نوترونی 5×10^{11} n/cm^2.s در قلب راکتور تحت تابش قرار داده شدند. در این کار از آشکارساز HPGe (ژرمانیوم فوق خالص) با قدرت تفکیک‌پذیری کم‌تر از ۲ keV برای انرژی ۱/۳۳ MeV که متناظر انرژی پرتو گامای کبالت–۶۰ می‌باشد، استفاده شد و از منبع مولد ولتاژ EG&G ORTEC 459 و تقویت‌کننده‌ی EG&G ORTEC 627 برای استخراج طیف استفاده شد. در این آزمایش از طریق مقایسه طیف نمونه‌ها با طیف نمونه استاندارد غلظت عناصر تعیین می‌گردد.

نمونه استاندارد نمونه‌ای است که میزان غلظت عناصر در آن با دقت قابل قبولی در آزمایشگاه‌های معتبر اندازه‌گیری شده است. برای تعیین غلظت این عنصر از گامای انتقالی طی فرآیند جذب نوترون از ایزوتوپ‌های ^{77}Se با نیمه‌عمر کوتاه ۱۷/٤ ثانیه استفاده شده است. گذارهای سلنیوم برای PGNAA را در جدول ۱ می‌توان دید.

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

ایزوتوپ پایدار	درصد فراوانی	محصول	نیمه عمر	انرژی پرتو(MeV)
^{76}Se	۹/۳۷	^{77}Se	۱۷/۳٦ s	۱٦۱/۹۲
^{78}Se	۲۳/۷۷	^{79}Se	۳/۹۲ m	۹۵/۷۳
^{80}Se	٤۹/٦۱	^{81}Se	۵۷/۲۸ m	۱۰۲/۸۹

در اتاق شمارش طیف پرتو گامای نمونه‌ها و استانداردها به‌وسیله سیستم اسپکتروسکوپی اندازه‌گیری و سپس به‌وسیله سیستم تحلیل‌گر چندکاناله (MCA[1]) جمع‌آوری و در فایلی با با پسوند CHN ذخیره گردیدند. در شکل ۲ نمونه‌ای از طیف به‌دست آمده ارائه شده است.

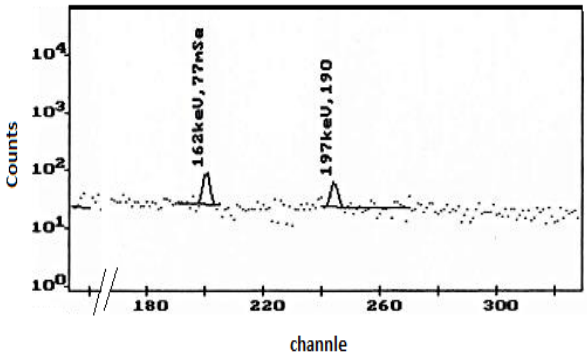


شکل (۲): قسمتی از طیف پرتوهای گاما توسط MCA مربوط به قله عناصر مهم و پس‌زمینه.

[1] Multi-Channel Analyzer

برای به‌دست 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 آن-ها 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 سلنیوم را نشان می‌دهد.



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

برای تمامی نمونه‌ها و استاندارد انتخاب شده آنالیز به‌همین 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 به‌کار 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 کلر هم آنالیز شدند که مقادیر اندازه-گیری شده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول (۲): میزان سلنیوم اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها

منطقه	مقدار ugr/kgr	خطا ugr/kgr
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 کلر، منیزیم و منگنز اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها

منطقه	کلر mgr/kgr	منیزیم mgr/kgr	منگنز mgr/kgr
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 سلنیوم موجود در نمونه‌ها به‌ترتیب مربوط به نمونه وارداتی قرمز (<۰/۰۷(mg/Kg)) و میانگین داخلی (۰/۳۵±۰/۰۶(mg/Kg)) می‌باشد. طبق مقایسه‌های به‌عمل 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

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 و۷۷ میلی‌گرم برآورد شده است که اگر همین مقدار تنها از گندم به دست آید می‌توان مقادیر جدول ٤ را گزارش کرد.

همانطور که در جدول ٤ مشخص شده دریافت سلنیوم مورد نیاز از گندمِ 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 روش برای اندازه‌گیری میزان سلنیوم موجود در مواد غذایی مورد استفاده در ایران، پیشنهاد می‌گردد.

جدول (٤): وزن گندم برای دریافت۵۵-۷۷ میکروگرم سلنیوم از انواع گندم جدول ۲

منطقه	میزان مصرف زنان- مردان (gr)
کاشان	٤١٨-٣٤٣
بندر امام	٣٥٠-٢٥٠
آران و بیدگل	٤٠٥-٢٨٩
بندرعباس	٦٤٢-٤٥٨
میانگین داخلی	٢٢٠-١٠٧
وارداتی قرمز	٧٨٥>

٤. تشکر و قدردانی

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

۵. مراجع

[۱] رحیمی جامی آبادی، حمید. مقایسه سطح فلزات کمیاب در کودکان بزرگ‌تر از ٦ 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).

[٤] شهابی، ایرج. آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی، کارگاه آموزشی آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی، مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته‌ای اصفهان، (۱۳۸٦).

[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.

[۷] رضوانی فرد، مهدی. آشنایی با رآکتور مینیاتوری اصفهان، کارگاه آموزشی آنالیز به روش فعالسازی نوترونی، مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته ای اصفهان، (۱۳۸٦).

[۸] خورسندی، جمشید. معرفی راکتور مینیاتوری چشمه نوترون MNSR، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده‌ی تحقیقات و توسعه‌ی راکتورها، (۱۳۸۸).

[9] R.B. Firestone, V.S. Shirley. Table of isotopes. 2 (1998).