

## مقایسه دو عصاره گیر در تعیین اورانیوم ( $^{238}\text{U}$ ) قابل جذب گیاه در خاک لومی شنی

سعید باقریفام<sup>۱\*</sup> - امیر لکزبان<sup>۲</sup> - سید جواد احمدی<sup>۳</sup> - امیر فتوت<sup>۴</sup> - محمد فرهاد رحیمی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۸۷/۵/۵

### چکیده

اورانیوم از گروه فلزات سنگین بوده و پرتوزاست. در اثر گسترش صنایع هسته‌ای و استفاده از کودهای فسفوری حاوی اورانیوم احتمال آلودگی خاک‌ها به این عنصر وجود دارد. به منظور مقایسه دو عصاره‌گیر شیمیایی رایج در استخراج اورانیوم مطالعه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل شامل دو نوع گیاه آفتابگردان و سویا، و شش غلظت اورانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. گیاهان بعد از یک دوره ۴۰ روزه و قبل از ورود به مرحله زایشی برداشت شدند. نمونه‌های خاک بوسیله دو عصاره‌گیر DTPA و AAACEDTA عصاره‌گیری شدند. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار اورانیوم خاک، مقدار اورانیوم در گیاهان افزایش پیدا کردند. مقدار اورانیوم در ریشه آفتابگردان و سویا ۲۰ تا ۱۰۰ برابر مقدار آن در بخش هوایی گیاه بود. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که عصاره‌گیرهای فوق با افزایش غلظت اورانیوم خاک، غلظت بالاتری از اورانیوم را استخراج کردند اما AAACEDTA در تمام غلظت‌ها اورانیوم بیشتری را عصاره‌گیری کرد. مطالعات همبستگی نشان داد که هر دو عصاره‌گیر همبستگی خوبی را با غلظت اورانیوم در نمونه‌های گیاهی داشتند. هم‌چنین غلظت اورانیوم در نمونه‌های گیاهی با AAACEDTA همبستگی بالاتری را نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** اورانیوم، زیست‌فراهمی، لیزر فلوریمتری، آفتابگردان، سویا

### مقدمه

اورانیوم سنگین‌ترین فلز موجود در طبیعت با ۱۰ ایزوتوپ می‌باشد که مهم‌ترین آنها  $^{235}\text{U}$  و  $^{238}\text{U}$  است. تمامی این ایزوتوپها رادیواکتیو هستند و با پرتوزایی به آرایش پایدار الکترونی می‌رسند. اورانیوم در دو سری تخریبی اورانیوم و اکتینیوم قرار می‌گیرد که با تبدیل به ایزوتوپ سرب به فرم پایدار میرسد. پرتوزایی اورانیوم به صورت آلفا و گاما انجام شده اما گسیل ذرات اصلی آن به صورت تشعشع اشعه آلفا است. این ذرات از دو پروتون و دو نوترون تشکیل یافته‌اند و انرژی بسیار بالایی را دارند اما قادر به نفوذ بیشتر از چند سانتی متر در هوا نبوده و از پوست بدن عبور نمیکنند. در طول جنگ جهانی دوم از آن به عنوان منبع انرژی برای تولید بمب اتمی استفاده شده است (۲). اعداد اکسیداسیون اورانیوم از ۳+ تا ۶+ تغییر می‌کند که مهم‌ترین

فرمهای شیمیایی آن ۴+ و ۶+ هستند. مهم‌ترین حالت اورانیوم در محیط زیست یون اورانیل ( $\text{UO}_2^{2+}$ ) می‌باشد (۱). مقدار اورانیوم در خاک از ۰/۱ تا ۱۱ میلی گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند که در اثر فعالیت‌های انسانی مانند استخراج معادن اورانیوم و آزمایش تسلیحات اتمی مقدار آن از حد عادی فراتر رفته و موجبات آلودگی آبهای زیرزمینی و خاک رافراهم کرده است (۳). مقدار اورانیوم در سنگهای فسفوری بین ۳۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۴ و ۵). بنابراین استفاده از کودهای فسفوری در زمینهای کشاورزی و فاضلاب صنایع تولید اسید فسفریک و کودهای فسفوری نیز می‌توانند خاکها را به اورانیوم آلوده کنند. اورانیوم از طریق خاک آلوده وارد گیاه شده و بوسیله چرخه غذایی وارد بدن انسان می‌شود. اورانیوم سبب ایجاد مشکلات ساختاری در کلیه شده و با تجمع در ششها و استخوانها، اندامهای داخلی بدن را مورد پرتوزایی آلفا قرار می‌دهد و از این طریق می‌تواند ساختار DNA و سلولهای جنسی را تغییر دهد (۶). مطالعات بسیار کمی در مورد یافتن یک شاخص مناسب برای زیست‌فراهمی<sup>۱</sup> اورانیوم انجام شده است (۷). با مطالعه زیست‌فراهمی اورانیوم درک تشخیص دامنه سمیت آن در خاکهای مختلف آسانتر

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد  
(\* - نویسنده مسئول: Email:saeed\_bagherifam@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار سازمان انرژی اتمی ایران

۴- استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۵- استاد گروه فیزیک دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

و کاربرد کودهای فسفری، خطر ناشی از ورود اورانیوم به چرخه غذایی بشر افزایش یافته است. با وجود اینکه اورانیوم منشأ بسیاری از رادیو نوکلئوتیدهای موجود در محیط زیست مانند  $^{234}\text{Pa}$ ،  $^{234}\text{Th}$ ،  $^{210}\text{Pb}$ ،  $^{210}\text{Tl}$ ،  $^{214}\text{Bi}$ ،  $^{218}\text{Po}$ ،  $^{218}\text{At}$ ،  $^{222}\text{Rn}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  شیمیایی آن در محیط زیست به درستی شناخته نشده است. این امر میتواند به سختی مطالعه اورانیوم با توجه به سمیت شیمیایی و رادیو اکتیویته آن، سختی کنترل شرایط در مطالعه موادی با رفتار شیمیایی پیچیده و سختی آنالیز اورانیوم با توجه به دستگاه‌های خاص مورد استفاده مربوط باشد. تمایل بالای اورانیوم در ترکیب با گروه‌های اکسی آنیونی، سیلانولی و کربوکسیلیک اسید باعث جذب بالای اورانیوم توسط خاک میشود (۲). بنابراین مطالعه زیست‌فراهمی اورانیوم به ما در درک صحیح از دامنه سمیت و رفتار شیمیایی آن در محیط زیست و ارائه راه‌های کاهش انتقال آن از طریق خاک آلوده به چرخه غذایی کمک خواهد کرد. در مطالعه اخیر به منظور یافتن شاخصی برای زیست‌فراهمی اورانیوم در خاک، روابط همبستگی بین دو عصاره گیر  $^4\text{DTPA}$ ،  $^3\text{AAAcEDTA}$  و گیاهان آفتابگردان و سویا مطالعه شد.

## مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در این آزمایش (تیبیک هاپل اورتید) از محل پردیس دانشگاه فردوسی مشهد جمع آوری شد. نمونه‌های خاک هوا خشک شد و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد. بذور سویا (رقم سحر) و آفتابگردان (رقم‌های سان) از مرکز تحقیقات کشاورزی گرگان بخش دانه‌های روغنی تهیه شدند. این آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در قالب فاکتوریل انجام شد. به منظور آلوده کردن نمونه خاک به غلظت‌های مختلف اورانیوم (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلو گرم) مقادیر مناسب از نمک نترات اورانیوم محاسبه و در آب مقطر لازم حل شد و سپس به نمونه‌های خاک اضافه گردید. با اضافه کردن هر یک از غلظت‌های فوق مقدار رطوبت نمونه‌های خاک در ۷۰٪ ظرفیت زراعی<sup>۵</sup> تنظیم شد. بمنظور تهیه یکنواخت نمونه‌های خاک و با توجه به سمی بودن اورانیوم، خاکها در ظروف پلاستیکی درب دار قرار داده شده، با غلظت‌های مورد نظر محلول پاشی و کاملاً مخلوط شدند. گلدانهای پلاستیکی با مقدار یک کیلوگرم از نمونه‌های خاک آلوده پر شد و سپس به مدت ۲ هفته در در دمای ۲۸ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. سپس در هر گلدان تعداد ۵ عدد از بذور ضدعفونی شده قرار داده شد و سطح گلدانها با ۲۰۰ گرم ماسه شسته شده پر شد. گلدانها

می‌شود (۸). مطالعه زیست‌فراهمی اورانیوم از نظیر صنایع مختلف وابسته به اورانیوم، استفاده از فاضلاب و کودهای حاوی اورانیوم و به لحاظ پالایش مناطق آلوده به این عنصر اهمیت می‌یابد (۱۰). گیاهان معمولاً به عنوان شناساگر بیوشیمیایی برای اورانیوم بکار رفته‌اند. از گیاهان به طور گسترده‌ای در مطالعه زیست‌فراهمی عناصر استفاده شده و دلیل این امر ارتباط نزدیک گیاهان با استفاده جوامع انسانی از خاک می‌باشد (۹). کری ولتکسی از کرم‌های خاکی به عنوان شاخص زیست‌فراهمی برای فلزاتی نظیر اورانیوم و توریم استفاده کرد (۱۱). برای مطالعه زیست‌فراهمی اورانیوم عصاره‌گیرهای شیمیایی هم مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما باید به این نکته اشاره کرد که این عصاره گیرها میتوانند بعنوان شاخصهای غیرمستقیم زیست‌فراهمی مطرح باشند و مقایسه آنها با شاخصهای بیولوژیک ضروری می‌باشد. شاخص زیست‌فراهمی باید بتواند تصویر خوبی از بخشهای قابل استفاده اورانیوم برای موجودات زنده خاک را ارائه دهد. شپرد و همکاران در مطالعه‌ای بر روی ۱۱ نوع خاک مختلف دریافتند که مقدار اورانیوم عصاره‌گیری شده بوسیله عصاره‌گیر استات آمونیم همبستگی بالایی با غلظت اورانیوم در کرم‌های خاکی و گیاهان دارد. در این مطالعات مشخص شد که همبستگی بالا و منفی بین CEC و مقدار ماده آلی خاک با غلظت اورانیوم در عصاره‌گیر استات آمونیم وجود دارد. بنابراین مطالعات، خاکهایی با قدرت جذب بالاتر زیست‌فراهمی کمتری دارند (۷). واندن هوف و همکاران در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که غلظت اورانیوم در محلول خاک شاخص مناسبی برای زیست‌فراهمی اورانیوم نیست. هم‌چنین در مطالعات بر روی توزیع گونه‌هایی<sup>۱</sup> اورانیوم در محلول خاک دریافتند که  $\text{UO}_2^{2+}$ ، کمپلکسهای اورانیل کربنات و اورانیل فسفات احتمالاً گونه‌هایی هستند که به طور انتخابی توسط ریشه گیاهان جذب می‌شوند. نتایج حاصل از آزمایش واندن هوف نشان داد که جذب اورانیوم توسط گیاهان به یک شاخص زیست‌فراهمی وابسته نیست و تنها مدلهای ترکیبی که ویژگیهای مختلفی از خاک را در نظر گرفته باشند می‌توانند جذب اورانیوم را تخمین بزنند (۱۲). فاکتورهای متفاوتی بر روی زیست‌فراهمی اورانیوم در خاک موثر هستند که از آن جمله می‌توان به مواد شیمیایی موجود در خاک مانند فسفر محلول اشاره کرد که به علت تمایل برای تشکیل گونه رسوبی اورانیل فسفات باعث کاهش زیست‌فراهمی اورانیوم و در نتیجه کاهش انتقال آن به چرخه غذایی می‌گردد. به طور کلی pH خاک، مقدار ماده آلی و توزیع گونه‌های اورانیوم در محلول خاک زیست‌فراهمی اورانیوم را تغییر میدهند (۲). با گسترش صنایع هسته‌ای در جهان، استفاده از جنگ افزارهای حاوی اورانیوم تهی شده<sup>۲</sup> مانند جنگ عراق و کوزوو

3- Acid-ammonium-acetate-EDTA

4- Diethylene triamine pentaacetic acid

5- Filed capacity

1- Speciation

2- Depleted uranium

بوسیله ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۴ مولار هضم، و از کاغذ صافی واتمن ۴۰ عبور داده شد و به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد (۱۳).

### آماده سازی عصاره های خاک برای تعیین اورانیوم

عصاره های خاک حاوی مواد آلی هستند که در عمل تعیین غلظت اورانیوم اختلال ایجاد می کنند (۱۳). به این منظور پنج میلی لیتر از عصاره های خاک به کروماتوگرافی مایع با جاذبه یونی منتقل و در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد تا تبخیر کامل حرارت داده شده و مواد باقیمانده در هر کروماتوگرافی به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد (۲). سپس محتوی کروماتوگرافی بوسیله ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۴ مولار هضم شده و پس از صاف کردن به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد.

### عمل عصاره گیری از محلول<sup>۱</sup>

اورانیوم عصاره گیری شده در اسید نیتریک یک مولار بوسیله عمل استخراج از محلول پیش تغلیظ<sup>۲</sup> شد (۱۳). ۲۰ میلی لیتر از عصاره نمونه های فوق در یک قیف جدا کننده ۵۰ میلی لیتر قرار گرفته و بوسیله ۵ میلی لیتر از محلول ۰/۰۳ مولار تری ان استیل فسفین اکساید (TOPO) عصاره گیری شد. سپس اورانیوم بوسیله ۷ میلی لیتر پیروفسفات سدیم ۰/۰۳۲ مولار (۷،۷ pH) مجدداً از TOPO استخراج می شد. پیروفسفات سدیم فلورسانس اورانیوم را شدیداً افزایش می دهد.

### تعیین غلظت اورانیوم در نمونه ها

به منظور تعیین غلظت اورانیوم، نمونه ها به سازمان انرژی اتمی ایران انتقال یافت و مقدار اورانیوم موجود در آنها بوسیله دستگاه اورانیوم آنالایزر (Nitrogen laser based scintrex UA-3) ساخت کمپانی Scintrex کانادا تعیین گردید. ۵ میلی لیتر از عصاره نهایی حاصل از عصاره گیری با پیروفسفات سدیم در سلول های دستگاه لیزر فلوریمتر قرار گرفته و شدت فلورسانس آن اندازه گیری گردید و پس از قرائت استانداردها و کسر عدد حاصل از نمونه شاهد، غلظت اورانیوم در نمونه ها تعیین شد (۱۳).

### نتایج و بحث

نتایج آزمایش های خاک نشان داد که بافت خاک، شنی لومی و غلظت کل اورانیوم در خاک مورد استفاده ۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۱).

روزانه وزن شده و رطوبت آنها در طول آزمایش در ۷۰٪ ظرفیت زراعی به طور ثابت نگهداری شد. برای حفظ غلظت اورانیوم در نمونه های خاک، زه آب خروجی مجدداً به گلدانها برگردانده شد. پس از ظهور گیاهچه ها تعداد آنها در هر گلدان به ۲ عدد تقلیل یافت. گیاهان پس از ۴۰ روز و قبل از ورود به مرحله زایشی از ارتفاع ۱ سانتی متری سطح خاک برداشت شدند. ریشه ها و ساقه های جدا شده بطور کامل به وسیله آب مقطر شستشو داده شد. ساقه و ریشه گیاهان فوق برای تعیین وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. خاک تمام گلدانها هوا خشک گردید و سپس عصاره گیری AAACEDTA به روش لاکان و ارویو (۱۹۷۱) و عصاره گیری DTPA به روش لیندزی و نورول (۱۹۷۸) انجام پذیرفت (۲). مقدار نیتروژن کل خاک به روش کجلدال اندازه گیری شد (۱۹). EC توسط دستگاه هدایت سنج Jenway 4310 و pH به وسیله pH متر مدل Metrohm 632 در نسبت خاک به آب ۱:۵ اندازه گیری گردید. فسفر قابل دسترس به روش اولسن (۲۰) و مقدار پتاسیم قابل دسترس نمونه های خاک با استفاده از استات آمونیم یک نرمال عصاره گیری و توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل PFP 7 Jenway اندازه گیری شدند (۲۱).

### آماده سازی نمونه های گیاهی برای تعیین اورانیوم

برای ایجاد یک نمونه گیاهی همگن، گیاهان خشک شده کاملاً خرد شده و از الک ۲ میلی متر عبور داده شدند. مقدار یک گرم از ماده خشک الک شده در کروماتوگرافی مایع با جاذبه یونی قرار چهار ساعت در دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. خاکستر نمونه های گیاهی به منظور هضم کامل در بشرهای ۱۰۰ میلی لیتری قرار گرفتند و به وسیله ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ تا خشک شدن اسید روی حمام بخار حرارت داده شدند. فرآیند هضم اولیه مجدداً تکرار شد و ماده باقیمانده در هر کروماتوگرافی بوسیله ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۴ مولار هضم شده و عصاره های حاصله بوسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شدند. حجم نمونه ها بوسیله آب مقطر به ۵۰ میلی لیتر رسید (ملاریته حدود ۱ برای عمل عصاره گیری در مرحله بعد بهترین کارایی را دارد) (۱۳).

### آماده سازی نمونه های خاک برای تعیین اورانیوم

یک گرم از نمونه خاک هوا خشک از الک ۲۰۰ مش عبور داده شده و در کروماتوگرافی مایع با جاذبه یونی قرار گرفت. سپس بوسیله ۱۵ میلی لیتر هیدروفلوریک اسید و ۵ میلی لیتر نیتریک اسید، تا تبخیر کامل اسید بر روی حمام بخار حرارت داده شد. این عمل مجدداً تکرار گردیده و سپس ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک به کروماتوگرافی اضافه گردید و تا تبخیر کامل حرارت داده شد. سپس محتوی کروماتوگرافی همانند نمونه های گیاهی

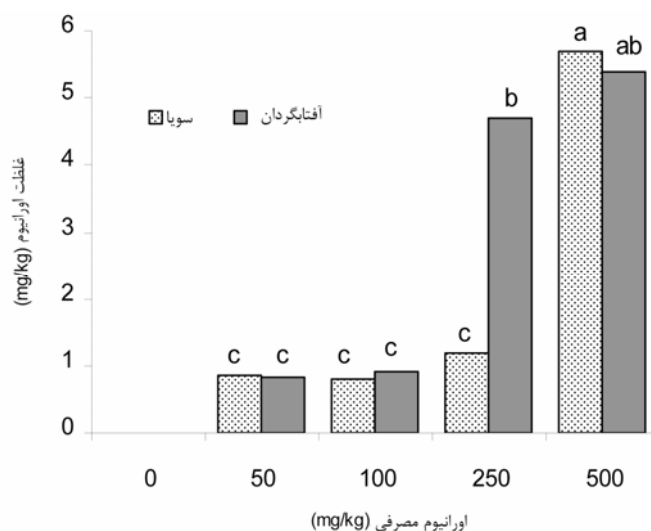
1- Solvent extraction  
2- Preconcentration  
3- Tri-n-octylphosphine oxide

(جدول ۱) - ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه

نیتروژن	پتاسیم	فسفر	اورانیوم	هدایت الکتریکی	pH (dS/m)	رس	سیلت	شن
			(mg/kg)			%	%	%
۶۱۳	۸۲/۲۶	۸۶/۴۲	۰/۶	۲/۱	۷/۲	۱۵	۳۲	۵۳

در این آزمایش بین گیاهان سویا و آفتابگردان از نظر جذب اورانیوم تفاوت‌های معنی‌داری وجود داشت (شکل ۱ و ۲). با افزایش غلظت اورانیوم خاک، غلظت اورانیوم در گیاه هم افزایش یافت. با افزایش غلظت اورانیوم از ۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت اورانیوم در آفتابگردان از ۰/۸۳ تا ۵/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، و در سویا از ۰/۸۷ تا ۵/۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. در غلظت‌های پایین اورانیوم خاک (۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بین غلظت‌های اورانیوم در بخش هوایی آفتابگردان و سویا تفاوت‌های معنی‌داری مشاهده نشد. در گیاه آفتابگردان از سطح ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش قابل ملاحظه و معنی‌داری در جذب اورانیوم مشاهده شد. در گیاه سویا افزایش قابل ملاحظه جذب اورانیوم در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. این تفاوت‌ها می‌توانند به اختلاف در مکانیزم‌های دفاعی گیاهان مربوط باشد (۷). به علت ایجاد سمیت بالا توسط اورانیوم و تولید زیست توده بسیار کم در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اورانیوم این آزمایش تا غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر

کیلوگرم اورانیوم انجام شد. تقریباً در بیشتر غلظت‌ها اورانیوم در آفتابگردان بالاتر از سویا بود اما بالاترین مقدار جذب اورانیوم در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اورانیوم و در گیاه سویا مشاهده شد. آفتابگردان در منابع مختلف به عنوان گونه‌ای مقاوم و دارای قابلیت بالا برای جذب اورانیوم ذکر شده است. البته عمده موفقیت اورانیوم در پالایش مناطق در محیط‌های آبی صورت می‌پذیرد. چنانچه در منابع ذکر شده، آفتابگردان با تنظیم مناسب اسیدیته محیط قادر است تا ۹۵٪ از غلظت اورانیوم را از آب آلوده به این عنصر جذب نماید (۱۴)، ۱۵ و ۱۶). در مورد غلظت اورانیوم در ریشه گیاهان مطالعات زیادی انجام نشده که این امر می‌تواند به آسیب دیدگی ریشه‌ها در طول عملیات برداشت و عدم کارایی کافی تکنیک‌های شستشو مربوط باشد. در این مطالعه مقدار اورانیوم در ریشه آفتابگردان از ۳۷ تا ۲۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در سویا از ۳۱/۵ تا ۱۳۰/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد که نشان دهنده قدرت جذب ریشه گیاهان فوق است (شکل ۲).



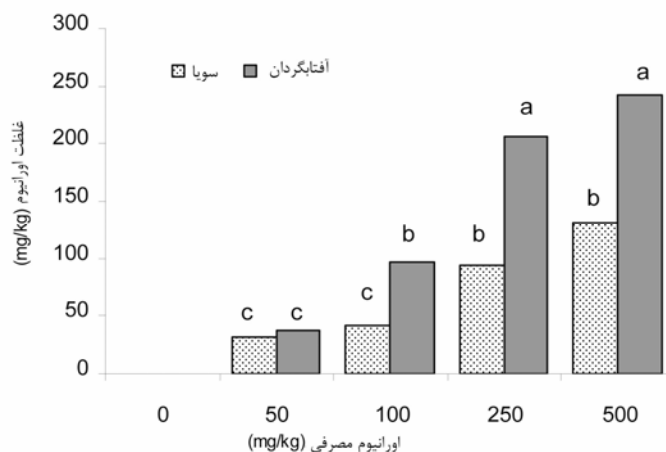
(شکل ۱) - مقایسه میانگین غلظت اورانیوم در بخش هوایی آفتابگردان و سویا در تیمارهای مختلف

غلظت اورانیوم در ریشه آفتابگردان حدود ۴۰ تا ۱۰۰ برابر بخش هوایی و در ریشه سویا ۲۰ تا ۴۰ برابر مقدار آن در بخش هوایی بود. بنابراین بیشتر تجمع اورانیوم جذب شده در ریشه گیاهان فوق است. از نظر غلظت اورانیوم بین ریشه گیاهان سویا و آفتابگردان در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اورانیوم خاک تفاوت معنی‌داری مشاهده

نشد. از سطح ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اورانیوم خاک بین غلظت اورانیوم در ریشه هر دو گیاه تفاوت‌های معنی‌داری مشاهده شد. در تمامی غلظت‌های اورانیوم خاک، ریشه آفتابگردان مقدار اورانیوم بیشتری را جذب کرده بود. بنابراین هر دو بخش هوایی و ریشه آفتابگردان در جذب اورانیوم عملکرد بالاتری داشتند. البته قضاوت در

اورانیوم در ریشه چندین برابر مقدار اورانیوم در بخش هوایی گزارش شد (۱۷). هم‌چنین شاهنده وهاسنر در مطالعه‌ای بر چندین نوع خاک و گیاه زراعی، مقدار اورانیوم در ریشه را ۱۰ تا ۱۰۰ برابر مقدار آن در بخش هوایی گیاه گزارش کردند (۱۸).

مورد جذب ریشه‌ای در سیستم‌های خاکی به علت خطای حاصل و عدم کارایی کامل تکنیک‌های شستشو باید با احتیاط صورت پذیرد. اکثر مطالعات در مورد جذب ریشه‌ای اورانیوم در محیط‌های کشت هیدروپونیک انجام پذیرفته است. در مطالعه مورتی بر گیاه سویا که در محلول غذایی هوگلدن تیمار شده با اکسید اورانیوم انجام شد، مقدار



(شکل ۲) - مقایسه میانگین غلظت اورانیوم در ریشه آفتابگردان و سویا در تیمارهای مختلف

بین مقدار اورانیوم استخراج شده توسط عصاره گیرهای DTPA و AAACEDTA تفاوت‌های معنی داری مشاهده شد (جدول ۲).

میزان مصرفی اورانیوم در خاک

(جدول ۲) - مقایسه میانگین غلظت اورانیوم استخراج شده توسط دو عصاره‌گیر DTPA و AAACEDTA

اورانیوم استخراج شده از خاک (mg/kg)		میزان مصرفی اورانیوم در خاک (mg/kg)
DTPA	AAACEDTA	
<b>آفتابگردان</b>		
.	.	.
۳/۱ e	۶/۴ g	۵۰
۵/۹ d	۱۳/۴ f	۱۰۰
۱۵/۶ c	۳۹/۵ e	۲۵۰
۳۳/۴ b	۵۲/۳ d	۵۰۰
۴۹ a	۱۳۴/۲ a	۱۰۰۰
<b>سویا</b>		
.	.	.
۰/۸۵ f	۵/۲ g	۵۰
۴/۷ de	۱۶/۸ f	۱۰۰
۶/۳ d	۴۳/۲ e	۲۵۰
۱۴/۶ c	۷۴/۶ c	۵۰۰
۵۰/۳ a	۱۲۸/۳ b	۱۰۰۰

اعدادی که در هر ستون حداقل یک حرف مشترک دارند طبق آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۰/۰۵ ندارند.

استخراج شده از حد اندازه‌گیری دستگاه (۲۰ میکروگرم بر کیلو گرم) کمتر بود. میانگین اورانیوم استخراج شده توسط DTPA در خاکهای تحت کشت سویا ۱۲/۷ و در خاکهای تحت کشت آفتابگردان ۱۷/۸

با افزایش غلظت اورانیوم در خاک مقدار اورانیوم عصاره‌گیری شده بوسیله هر دو عصاره‌گیر افزایش معنی‌داری پیدا کردند. در خاک شاهد با غلظت اورانیوم ۰/۶ میلی گرم بر کیلو گرم مقدار اورانیوم

خصوصیات شیمیایی متفاوت و تاثیر بر روی توزیع گونه‌های اورانیوم در محلول خاک می‌تواند روی زیست‌فراهمی اورانیوم تاثیر بگذارند. شپرد و همکاران در مطالعات خود اعلام داشتند که بیکربنات سدیم به دلیل استخراج مقادیر بالای اورانیوم نمیتواند عصاره گیر مناسبی برای تعیین اورانیوم قابل جذب توسط گیاه باشد و همبستگی آن با اورانیوم کل خاک بالاتر است. آنها همچنین اعلام داشتند که یک عصاره گیر مناسب برای تعیین اورانیوم قابل جذب گیاهان نباید بازده عصاره گیری بالایی داشته باشد (۷). در مطالعه فوق مقادیر اورانیوم استخراج شده مناسب بوده و آنالیز رگرسیونی و مطالعات ضرایب همبستگی بین غلظت‌های اورانیوم در گیاهان و عصاره‌گیرهای مورد نظر همبستگی‌های بالا و معنی‌داری را در هر دو عصاره‌گیری نشان دادند (جدول ۳). همچنین بین غلظت‌های مختلف اورانیوم خاک و غلظت اورانیوم در هر دو عصاره گیر همبستگی بالا و معنی‌داری مشاهده شد.

بود. هم چنین میانگین اورانیوم استخراج شده توسط AAACEDTA در گلدانهای حاوی آفتابگردان ۴۰/۹ و در گلدانهای حاوی سویا ۴۴/۶ بود. با توجه به این ارقام بین مقادیر اورانیوم استخراج شده در غلظت‌های مختلف اورانیوم خاک، در کارایی دو عصاره گیر تفاوت‌های معنی‌داری مشاهده شد. با افزایش مقدار اورانیوم از تیمار ۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک، مقدار اورانیوم عصاره‌گیری شده توسط AAACEDTA از ۵/۲ تا ۱۲۸/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم اورانیوم تغییر کرد. در مورد DTPA نیز این مقدار از ۰/۸۵ تا ۵۰/۳ تغییر یافت. در کلیه غلظت‌های اورانیوم در خاک AAACEDTA مقدار اورانیوم بیشتری را استخراج کرد که با توجه به pH پایین این عصاره‌گیر (۴/۷) (مطابق انتظار بود. نکته قابل توجه وجود برخی تفاوت‌های معنی‌دار در مقادیر اورانیوم استخراج شده توسط یک نوع عصاره‌گیر و از یک تیمار در گلدانهایی با گیاه متفاوت است. این تفاوت را می‌توان به ترشح اسیدهای آلی مانند اسیدسیتریک و یا سایر مواد ترش‌ساز توسط ریشه گیاهان سویا و آفتابگردان مربوط دانست که در این حالت با ایجاد

(جدول ۳) - ضرایب همبستگی و معادلات رگرسیونی خطی بین پارامترهای مختلف

پارامتر	معادله رگرسیون خطی	r
آفتابگردان		
اورانیوم در (DTPA) با اورانیوم در خاک	$Y=0.050x+1.870$	0.98**
اورانیوم در (AAACEDTA) با اورانیوم در خاک	$Y=0.130x-0.196$	0.99**
اورانیوم در بخش هوایی با اورانیوم در خاک	$Y=0.011x+0.492$	0.93**
اورانیوم در (DTPA) با اورانیوم در بخش هوایی	$Y=5.0254x-0.3$	0.78**
اورانیوم در (AAACEDTA) با اورانیوم در بخش هوایی	$Y=0.1093x-0.072$	0.83**
سویا		
اورانیوم در (DTPA) با اورانیوم در خاک	$Y=0.0281x+0.311$	0.97**
اورانیوم در (AAACEDTA) با اورانیوم در خاک	$Y=0.129x+3.775$	0.99**
اورانیوم در بخش هوایی با اورانیوم در خاک	$Y=0.101x-0.325$	0.94**
اورانیوم در (DTPA) با اورانیوم در بخش هوایی	$Y=0.3672x-0.230$	0.88**
اورانیوم در (AAACEDTA) با اورانیوم در بخش هوایی	$Y=0.066x-0.148$	0.92**

\* معنی‌دار در سطح آماری ۰/۰۵

\*\* معنی‌دار در سطح آماری ۰/۰۱

### سپاسگزاری:

بدینوسیله از مسئولین محترم آزمایشگاه سالیابی رادیو کربن ۱۴ و کلیه پرسنل آزمایشگاه‌های تحقیقاتی سازمان انرژی اتمی ایران به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات لازم برای آنالیز اورانیوم ۲۳۸ در نمونه‌های گیاه و خاک قدردانی می‌گردد.

نتایج بدست آمده از آزمایش نشان داد که هر دو عصاره‌گیر همبستگی بالایی با غلظت اورانیوم در بخش هوایی گیاه ایجاد کردند. عصاره‌گیر AAACEDTA همبستگی بهتری را با غلظت اورانیوم در گیاهان سویا و آفتابگردان نشان داد که با نتایج لاماس و همکاران مطابقت داشت (۲). اما لزوم انجام مطالعات بیشتر در طیف وسیع‌تری از خاک‌ها و شاخص‌های بیولوژیکی و عصاره‌گیرهای شیمیایی متنوع‌تر به منظور یافتن مناسب‌ترین شاخص زیست‌فراهمی برای اورانیوم ضروری به نظر می‌رسد.

- 1- Sheppard, S. C., Sheppard, M. I. Gellerad., M. Sanipelli B. (2005). Derivation of Ecotoxicity thresholds for uranium. *Journal of Environmental Radioactivity*. 79: 55-83.
- 2- Lamas, C. M. D (2005). Factors affecting the uranium availability in soils. Fall agricultural research. PhD thesis: 1-86
- 3- Jagetia, B., Purhit P. (2006). Effect of various concentration of uranium tailings on certain growth and biochemical parameters in sunflower. *Biologica Bratislava* 61(1): 103-107.
- 4- Tadarovsky , R., Koler. I. (1993). On the uranium content in some technogenic products potential environmental pollutions. *Journal of radioanalytical and Nuclear Chemistry, letters*176(5):405-41
- 5- Ebaid, Y. Y. Eltenhavi., M. S. ALkani., A. Garciu., S. R. Brooks G. H. (1982). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 243(2):543-550
- 6- WHO (2001). Depleted uranium mission to Kosovo.report of the world health organization.
- 7- Sheppard, C., Evenden W. G. (1992). Bioavailability indices for uranium:effect of concentration in eleven soils. *Archives of Environmental Contamination and toxicology* 23: 117-124
- 8- Marquenie, J. M (1985). Bioavalability of micropollutants. *Environmental Technology letters* 6: 351-358
- 9- Dunn, C. E (1981). The biogeochemical expression of deply buried uranium mineralization in saskatchewan, Canada. *Journal of Geochemical Exploration* 15: 437-452
- 10- Patrick, W. H. R., Gambrel., R. P Khalid R. A (1977).Physicochemical factors resulting solubility and bioavailability of toxic heavy metals in contaminated dergedged sediment. *Journal of Environmental science and technology* , part A 12: 475-492
- 11- Krivolutsky, D., Turcaninova., V. Mikhaltosa Z. (1982). Earthwormes as bioindicators of radioactive soil pollution. *Pedologica* 23: 263-265
- 12- Vandenhove, H., Van hees., M. Wannijn., J. Wouters., K. Wang L. (2006).Can we peridict uranium bioavailability based on soil parameters? Part 2: soil solution uranium concentration is not a good bioavalability index . *Emnvironmental pollution* 105:1-10
- 13- Premadas, A., Srivastava P. K. (1998). Rapid laser flurimetric method for the determination of uranium in soil, ulterabasic rock, plant ash, coal fly ash and red mud samples. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry* 242(1): 23-27
- 14- Raskin, I., Ensley B. D. (2002). Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment.Chapter 14:247-269
- 15- Dushenkov, V., Kumar., P. Mutto., H. Raskin I. (1995). Rizofiltration the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Emnvironmental Science and Technology* 31:3468-3474
- 16- Huang, J. W., Blaylock., M. J. Ensly., B. D. Kapulink Y. K. (1997) phytoremediation of uranium contaminated soils. *Agronomy Abstracts ASM meeting*.26-31
- 17- Murthy, S. A., Weinberger., P. Measures M. P. (1984).Uranium effects on growth of soy bean (*Glycine max* (i) marr). *Bulletine of Environmental Contamination and Toxicology* 32: 580-586
- 18- Shahandeh, H., Hossner L. R. (2002). Role of soil properties in phytoaccumulation of uranium .*Water, Air, and Soil pollution*. 141: 165-180
- 19- Metzger, L (1987).The effect of sewage sludge on soil structure. *Soil Science Society of Americ Journal* 51: 346-351
- 20- Klute, A. Editor (1986).Method of soil analysis part 1: Physical and Mineralogical methods .ASA .Soil Science Society of America Madison.Wisconsin. USA.

## Comparison of two extractants for determination of uranium ( $^{238}\text{U}$ ) phytoavailability in sandy loam soil

S. Bagheri fam<sup>1\*</sup> – A. Lakzian<sup>2</sup> – J. Ahmadi<sup>3</sup> – A. Fotovat<sup>4</sup> – M. Farhad Rahimi<sup>5</sup>

### Abstract

Uranium is a radioactive heavy metal. Development of nuclear industries and application of phosphate fertilizers contain uranium impurity resulted in soil contamination with uranium. A Pot experiment had been conducted under controlled condition. The experiment carried out in completely randomized design with two factors, including two plants (soybean and sunflower) and six levels of uranium (0, 50, 100, 250, 500 and 1000 mg/kg). Plants harvested after 40 days of experiment and before the generative stages. Soil samples were extracted by DTPA and AAACEDTA. Uranium concentration in plant tissue increased by increasing the uranium in soil. The ratio of uranium in root:shoot was between 20-100 in sunflower and soy bean. Extraction efficiency of DTPA and AAACEDTA increased by increasing of uranium in soil. The results of the experiment showed that AAACEDTA extracts more uranium in all applied uranium concentrations. Both extractants had a good correlation with uranium in plants; however, extraction efficiency of AAACEDTA was well correlated by uranium concentration in plant tissues. The results of the experiment suggest that AAACEDTA is suitable extractant for uranium as phytoavailability indicator.

**Key word:** Uranium, phytoavailability, laser fluorometry, sunflower and soybean

1 - M.S.C of soil science, Department of soil Science, Ferdowsi University of Mashhad (\* - Corresponding author Email: saeed\_bagherifam@yahoo.com)

2 - Asso. Prof Proffesor, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

3 - Assistant professor Atomic Energy organization of Iran – Tehran

4 - Assistant professor Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

5 - professor Department of Nuclear physics Ferdowsi University of Mashhad