

## اثر زمان و غلظت در توزیع شکلهای مختلف اورانیوم در یک خاک آهکی

سعید باقریفام<sup>۱\*</sup> - امیر لکزیان<sup>۲</sup> - سید جواد احمدی<sup>۳</sup> - بهرام سلیمی آخرین<sup>۴</sup> - فرید اصغری زاده<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۱۰

### چکیده

اورانیوم به عنوان فلزی سنگین و رادیواکتیو به طور طبیعی در پوسته زمین پراکنده شده است. در بسیاری موارد پراکندگی طبیعی آن به علت فعالیت‌های انسانی افزایش یافته که این امر موجب آلودگی خاک و آبهای زیرزمینی به اورانیوم می‌شود و سپس اورانیوم می‌تواند از طریق خاک آلوده وارد چرخه غذایی بشر شود. بوسیله مطالعه توزیع شکل‌های مختلف اورانیوم و سایر آلاینده‌های رادیواکتیو در خاک قادر به بررسی توزیع و حرکت پذیری اورانیوم در طول زمان و در نتیجه خطرات آنی و بلند مدت آن برای خاک و محیط زیست خواهیم بود. در این مطالعه روش عصاره‌گیری دنباله‌ای تسیر برای بررسی توزیع دو سطح ۵۸۵ و ۳۲۴۰ Bq/kg اورانیوم (<sup>238</sup>U) در دو زمان ۳۰ و ۹۰ روز انکوباسیون در یک خاک آهکی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که اورانیوم عمدتاً با بخش کربناتی خاک پیوند یافته است (۶۲٪) و این مقدار با افزایش اورانیوم در خاک افزایش می‌یابد. همچنین ارتباط اورانیوم با بخشهای مختلف خاک در طول زمان انکوباسیون تغییر می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** توزیع اورانیوم، عصاره‌گیری دنباله‌ای، خاک آهکی

### مقدمه

کودهای فسفوری نیز می‌توانند در بلند مدت خاکها را به اورانیوم آلوده کنند. اورانیوم از طریق خاک آلوده وارد گیاه و چرخه غذایی بشر شده و پس از ورود به بدن انسان 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 (۱۹). از آنجاییکه غلظت کل یک عنصر در خاک شاخص خوبی از تحرک، فراهمی و سمیت آن برای محیط زیست نمی‌باشد، امروزه از روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای برای جداسازی شکل‌های مختلف اورانیوم در خاک استفاده می‌شود (۱۱). اساس این روش متمایز کردن شکلهای مختلف عناصر در فاز جامد خاک است (۱۰). با بکارگیری عصاره‌گیری دنباله‌ای، شکلهای فراهم در خاک و تغییر و تحول عناصر سنگین را در لجن، کود، خاکها، خاکهای تیمار شده با لجن و همچنین رسوبات می‌توان مطالعه کرد (۶). عصاره‌گیری دنباله‌ای توانایی استخراج شکلهای واقعی فلزات در خاک را ندارد اما می‌تواند روش مناسبی برای تفکیک و مقایسه شکلهای مختلف فلزات در خاک باشد (۹). عصاره‌گیری دنباله‌ای، قابلیت جداسازی شکل‌های فلزات با پویایی و حلالیت‌های مختلف در خاک را دارد. بنابراین می‌تواند اطلاعات مناسبی برای پیش‌بینی قابلیت دسترسی و سمیت فلزات برای گیاه، حرکت آنها در پروفیل خاک و انتقال بین شکل‌های مختلف فلزات در خاک را در اختیار

اورانیوم عنصری رادیواکتیو و جزء گروه اکتینیدها با عدد اتمی ۹۲ می‌باشد. این عنصر دارای ۱۰ ایزوتوپ رادیواکتیو است. سه ایزوتوپ فراوان آن <sup>238</sup>U (۹۹/۲۷٪)، <sup>235</sup>U (۰/۷۲٪) و <sup>234</sup>U (۰/۰۰۵۵٪) می‌باشند. ایزوتوپ غالب اورانیوم طبیعی، <sup>238</sup>U است که نیمه عمر آن حدود ۴/۵ میلیارد سال است. توجه جهانی به خطرات ناشی از آلودگی‌های اورانیومی پس از رها شدن هزاران تن اورانیوم به محیط زیست در طول جنگ‌های عراق و کوزوو افزایش یافته است. با گذشت بیش از نیم قرن از پایان جنگ جهانی دوم و فاجعه هیروشیما و ناکازاکی، آثار و بقایای آلودگی‌های ناشی از آن به یادگار مانده است. فاجعه اتمی چرنوبیل در اکرین نیز بار دیگر به جهانیان یادآوری کرد که خطر ناشی از آلودگی‌های اورانیومی هنوز یک خطر جدی محسوب می‌شود (۲۱). مقدار اورانیوم در سنگهای فسفوری بین ۳۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۵و۴). بنابراین استفاده از کودهای فسفوری در زمینهای کشاورزی و فاضلاب صنایع تولید اسید فسفریک و

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\* - نویسنده مسئول: (Email: Saeed\_bagherifam@yahoo.com)

۳، ۴ و ۵- استادیاران پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران

بگذارند (۸).

هسته‌ای در کشور، استفاده گسترده از سلاح‌های حاوی اورانیوم در دو جنگ بزرگ دهه اخیر و خطرات بالقوه این عنصر برای بشر لزوم انجام مطالعات گسترده در مورد رفتار شیمیایی این عنصر در خاک و محیط زیست ضروری به نظر می‌رسد. تا کنون در کشور ما مطالعه‌ای در مورد رفتار زیست محیطی اورانیوم صورت نپذیرفته است. مطالعه اخیر برای اولین بار در ایران و با هدف تعیین شکل‌های مختلف اورانیوم در خاک‌های آهکی، اثر افزایش مقدار این ماده بر توزیع مجدد آن در خاک، پویایی این عنصر در محیط زیست با توجه به تغییرات حرکت آن در خاک در طول زمان و تعیین قدرت پیوند این عنصر با ذرات خاک با توجه به شاخص تفکیک کاهشی<sup>۱</sup> (IR) صورت پذیرفت.

## مواد و روش‌ها

### آلوده سازی تیمارها با اورانیوم

خاک مورد استفاده در این آزمایش (تیپیک هاپل ارتید) از منطقه‌ای در اطراف مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد جمع آوری شد. نمونه‌های خاک هواخشک و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد. به منظور شبیه سازی آلودگی اورانیومی نمونه‌های خاک با اضافه کردن مقادیر مناسب از نمک نیترورات اورانیوم در آب مقطر لازم با مقادیر ۵۸۵ و ۳۲۴۰ Bq/kg اورانیوم (<sup>238</sup>U) آلوده شدند. با اضافه کردن هر یک از غلظت‌های فوق مقدار رطوبت نمونه‌های خاک در ۷۰٪ ظرفیت زراعی تنظیم شد. نمونه‌ها در طول دروره آزمایش در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ثابت انکوباتور گذاری شدند و در زمان‌های ۳۰ روز و ۹۰ روز نمونه برداری شده و توزیع گونه‌های شیمیایی اورانیوم در آنها به روش تسیر تعیین گردید.

### عصاره‌گیری دنباله‌ای به روش تسیر

روش تسیر (۱۲)، یکی از روش‌های بنیادین و اولیه برای عصاره‌گیری دنباله‌ای شناخته شده است. ابتدا ۲ گرم خاک وزن شده و در لوله‌های سانتریفوژ ریخته و از هر یک از محلول‌ها به ترتیب زیر افزوده شد. در این روش، شکل‌های عناصر سنگین موجود در خاک به ۵ بخش تقسیم شده که به شرح زیر می‌باشد:

تبادلی و جذب شده، بخش محلول در اسید (کربناتی)، بخش متصل به اکسیدهای به آسانی قابل احیا، بخش متصل به اکسیدهای کریستالی آهن و کمپلکس شده به وسیله مواد آلی و بخش تهمه. ۱- محلول و تبادلی: ۱۶ میلی لیتر  $MgCl_2$  یک مولار، در  $pH=7$

علی رغم محدودیت‌های موجود برای برای هر یک از روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای این روشها اطلاعات مفیدتری در رابطه با پیوند فلزات، تحرک، و قابلیت استفاده عناصر در اختیار می‌گذارد (۲ و ۶). توزیع عناصر سنگین افزوده شده به خاک بسته به نوع عنصر، سطح کاربرد، زمان افزودن عناصر و ویژگی‌های خاک می‌تواند متفاوت باشد. افزودن عناصر سنگین به خاکها به هر شکلی باعث تغییر الگوی اصلی توزیع عناصر سنگین در خاک می‌شود. پیش بینی تأثیر نشر آلاینده‌ها به محیط زیست تنها به اثر کوتاه مدت آنها مربوط نمی‌شود بلکه روابط متقابل آلاینده و اکوسیستم مورد نظر در بلند مدت اهمیت می‌یابد. اطلاعات بدست آمده می‌تواند در ارزیابی دامنه خطر و طراحی روش‌های پالایش آلاینده مورد نظر کمک کند (۲). فاکتورهایی از قبیل تغییر در pH خاک، گسترش آلاینده‌ها به مکان‌های داخلی جذب در آلومینوسیلیکات‌ها و رسوب سطحی آلاینده توسط فرآیندهای کاهشی می‌تواند باعث تثبیت فلز سنگین در خاک و کاهش حرکت پذیری آن در طول زمان شوند. بنابراین استفاده از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد تغییرات حرکت پذیری فلزات سنگین در طول زمان ارائه دهد (۲). چوی و همکاران (۵) در مطالعه‌ای بر خاک‌هایی در اطراف محل آزمایش تسلیحات اتمی در آمریکا گزارش کردند که بخش کمی از اورانیوم در بخش تبدیلی واقع شده است. ۴۱٪ از اورانیوم در ارتباط با بخش کربناتی، ۲۶٪ در ارتباط با اکسیدهای منگنز و ۱۶٪ در ارتباط با مواد آلی خاک هستند. شپرد و تیبالک (۴) در مطالعه خود بر خاک‌های شنی که به مدت ۴ سال بوسیله تزریق نیترات اورانیوم آلوده شده بودند به این نتیجه رسیدند که اورانیوم بیشترین تمایل را به پیوند با اکسیدهای منگنز در خاک دارد (بیش از ۵۸ درصد کل اورانیوم خاک) و بخش کربناتها با ۲۵ تا ۳۵ درصد اورانیوم کل خاک در مقام بعدی قرار دارد. در این آزمایش مقدار اورانیوم موجود در بخش تهمه و تبدیلی بسیار پایین بود. در آزمایش دیگری حدود ۵۰ درصد اورانیوم در بخش کربناتی خاک‌های خشک و قلیایی که به مدت ۲۲ سال در زیر مخزنی با نشر اورانیوم تهی شده قرار داشت یافت شد و تا عمق ۸ سانتی متری هیچ اورانیومی در بخش تبدیلی یافت نشد (۳). جانسون و همکاران (۳) حدود ۲۹ تا ۵۲ درصد اورانیوم را در بخش تهمه بعضی از خاک‌های مورد مطالعه خود یافتند. آنها پوشش‌های بی شکل سیلیکات‌ها و خاکدانه‌های حاوی رس و کربنات کلسیم را عامل افزایش بخش تهمه در عصاره‌گیری خود گزارش کردند. بنابراین تغییرات زیادی در توزیع شکل‌های مختلف اورانیوم در خاک بر حسب ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه، منبع آلاینده و زمان تماس با آلاینده مشاهده می‌شود. با توجه به گسترش صنایع

2- Reduced partitioning index

3- Field capacity

1- Depleted uranium

روش ریچارد و بوسيله اسيد هیدروکلریک تعیین گردید (۱۶).  
به منظور کمی کردن فرایند توزیع مجدد عناصر سنگین در خاک،  
از شاخص تفکیک نسبی استفاده شد (۷).  
شاخص تفکیک کاهشی: این شاخص شدت نسبی پیوند عناصر  
سنگین با ذرات خاک را به طور کمی توصیف می کند و مقدار آن از  
معادله زیر بدست می آید.

$$I_R = I / (k^2)$$

$k$ : تعداد مراحل عصاره گیری

$I$ : شاخص تفکیک و مقدار آن طبق معادله زیر محاسبه می گردد

$$I = \sum_{i=1}^k (F_i \times (i)^2)$$

$i$ : شماره مرحله عصاره گیری

$F$ : نسبت عنصر عصاره گیری شده در یک مرحله به کل آن عنصر  
در خاک

بطور کلی با پارامتر  $I_R$  می توان شدت پیوند یک عنصر در  
خاکهای مختلف و یا عناصر مختلف در یک خاک را با یکدیگر  
مقایسه نمود. در آزمایش انجام شده، حداقل  $I_R$  برابر ۰/۰۳ و حداکثر  
آن برابر ۱ خواهد بود. هر چه مقدار  $I_R$  کمتر باشد نشانگر این است که  
عنصر مورد نظر عمدتاً در شکلهای با قابلیت دسترسی بیشتر نظیر  
شکل تبدالی متمرکز شده است.

## نتایج و بحث

### توزیع اورانیوم در بخش های مختلف خاک

نتایج حاصل از آزمایشهای خاک نشان داد که بافت خاک شنی  
لومی است. pH خاک آزمایش خنثی و قابلیت هدایت الکتریکی آن  
۲/۱ دسی زیمنس بر متر بود. مقادیر کربن آلی، نیتروژن و فسفر نیز  
به ترتیب ۰/۴۱ درصد، ۶۱۳ و ۸۶/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم بود. مقدار  
آهک خاک ۳۶ درصد محاسبه شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد  
که بیشترین مقدار اورانیوم در بخش کربناتی واقع شده است. ۳۰ روز  
پس از اعمال تیمار  $^{238}\text{U}$  ۵۸۵ Bq/kg، حدود ۵۶ درصد از اورانیوم در  
این بخش مشاهده شد. (شکل ۱- الف). پس از آن بخش اکسیدهای  
منگنز با ۱۶ درصد و بخش تبدالی با ۱۵ درصد از مقدار کل اورانیوم  
خاک در مقام های بعدی قرار داشتند. سهم بخش آلی ۱۱ درصد و  
سهم بخش تنمه ۲ درصد مقدار اورانیوم کل خاک بود. مقدار بالای  
اورانیوم در بخش کربناتی در مطالعات سایر محققین نیز گزارش شده  
است. چوی و همکاران (۵) در مطالعه خود بر خاکهای آلوده به  
اورانیوم در اطراف آزمایش تسلیحات هسته ای در آمریکا ۴۱ درصد از  
اورانیوم را در ارتباط با بخش کربناتی یافتند در حالی که درصد  
اورانیوم موجود در بخش تبدالی و تنمه صفر گزارش شد. شپرد و  
تیبالک (۴) ۳۵ درصد و جانسون (۳) بیش از ۵۰ درصد اورانیوم را در

در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در این مرحله pH به وسیله HCl رقیق  
تنظیم شد (۱ ساعت تکان).

۲- متصل به کربنات: ۱۶ میلی لیتر NaOAc ۱ مولار، در ۵  
pH= در این مرحله pH به وسیله HOAc تنظیم شد (۵ ساعت  
تکان).

۳- متصل به اکسیدهای به آسانی قابل احیا: در واقع فلزات پیوند  
شده به اکسیدهای منگنز مورد نظر می باشد ۴۰ میلی لیتر  
۰/۰۴۰ NH<sub>2</sub>OH.HCl مولار، در pH=۲ در این مرحله pH به وسیله  
HOAc ۲۵٪ رقیق تنظیم و به مدت ۵ ساعت در حمام بخار در دمای  
۸۵ درجه سانتی گراد نگهداری شد.

۴- کمپلکس شده بوسيله مواد آلی و متصل به اکسیدهای آهن: ۶  
میلی لیتر HNO<sub>3</sub> ۰/۰۲ مولار، ۱۶ میلی لیتر ۳۰٪ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در pH=۲،  
۱۰ میلی لیتر NH<sub>4</sub>OAc یک مولار در HNO<sub>3</sub> ۱۰٪ و به مدت ۵  
ساعت در حمام بخار در دمای ۸۵ درجه سلسیوس نگه داری شد.

۵- تنمه: هشت میلی لیتر HNO<sub>3</sub> و ۲ میلی لیتر HCl غلیظ به  
مدت ۴۵ دقیقه در حمام بخار در دمای نزدیک نقطه جوش نگهداری  
شد.

عصاره ها در پایان هر مرحله ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در  
دقیقه سانتریفورژ شده و پس از عبور کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده  
شد.

### اندازه گیری مقدار اورانیوم موجود در نمونه ها

برای تعیین مقدار اورانیوم، نمونه ها به سازمان انرژی اتمی ایران  
انتقال یافت و مقدار اورانیوم بوسيله اندازه گیری میزان اشعه آلفا در  
نمونه ها بوسيله دستگاه آلفا اسپکتروفتومتر با دکتور PIPS تعیین  
گردید (۱۷).

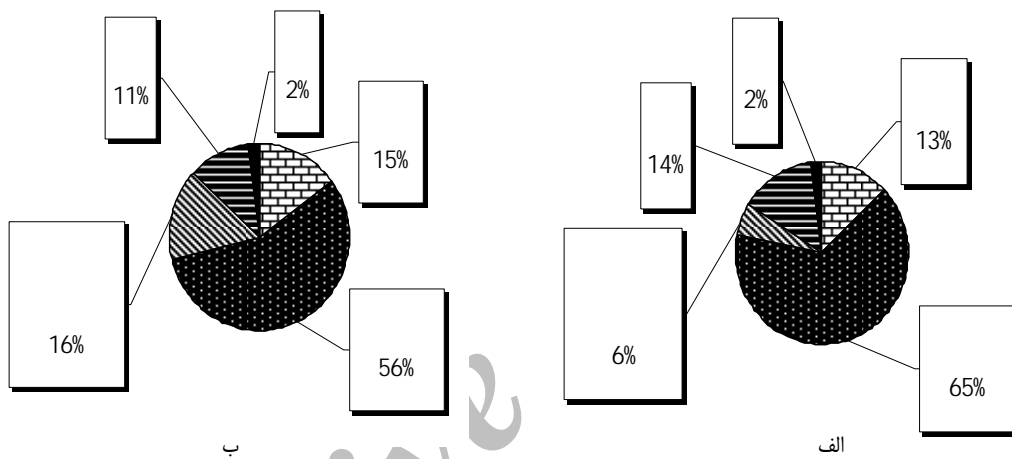
### تجزیه خاک

مقدار نیتروژن کل خاک به روش کج لیدال اندازه گیری شد  
(۱۳). EC توسط دستگاه هدایت سنج مدل 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 (۱۵) و  
مقدار پتاسیم قابل دسترس نمونه های خاک با استفاده از استات آمونیم  
یک نرمال عصاره گیری و توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل  
Jenway PFP 7 اندازه گیری شدند (۱۴). کربن آلی به روش اکسایش  
با دی کرومات اندازه گیری شد (۱۸). برای اندازه گیری مقدار جذب از  
دستگاه اسپکتروفتومتر مدل S2000 UV/Vis استفاده گردید. بافت  
خاک به روش هیدرومتری تعیین شد (۲۰). مقدار آهک خاک مطابق

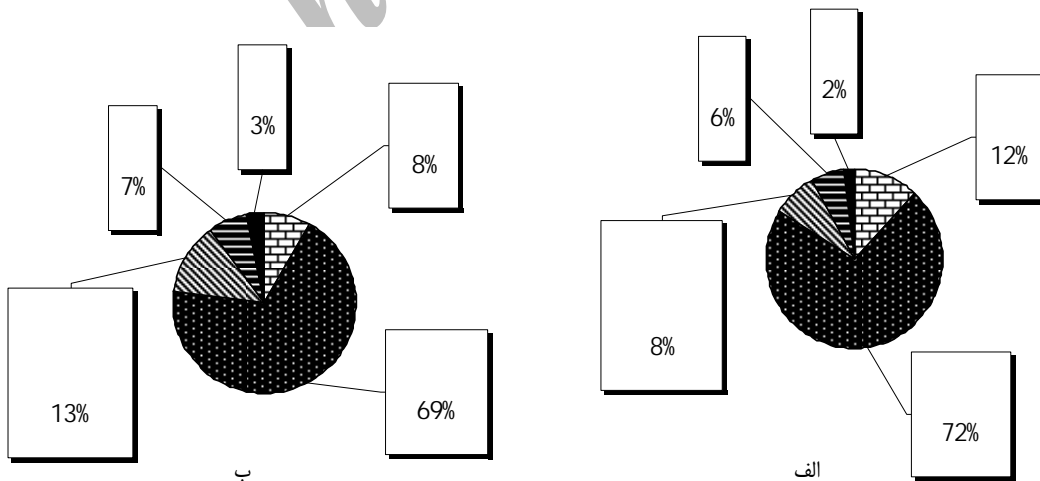
می‌توان به درصد بالای کربنات در خاک (۳۶ درصد) نسبت داد. پس از گذشت ۹۰ روز از اعمال تیمار و انکوباسیون خاک، سهم بخش کربناتی تا ۶۵ درصد کل اورانیوم افزایش یافت. درصد بخش اکسیدهای منگنز به ۶ درصد کاهش و درصد بخش آلی به ۱۴ درصد افزایش یافت (شکل ۱-ب).

در تیمار آلوده شده با  $^{238}\text{U}$  ۳۲۴۰ Bq/kg در زمان ۳۰ روز انکوباسیون مقدار اورانیوم یافت شده در بخش کربنات ۷۲ درصد از کل اورانیوم خاک را تشکیل داد (شکل ۲-الف). مقدار اورانیوم موجود در بخشهای تبادلی، اکسیدهای منگنز و بخش آلی به ترتیب ۱۲، ۸ و ۶ درصد بودند. همانند تیمار  $^{238}\text{U}$  ۵۸۵ Bq/kg کمترین مقدار اورانیوم در بخش باقیمانده یافت شد.

بخش کربناتی خاک‌های مورد مطالعه خود یافتند. همچنین بلانکو (۱۷) در مطالعه‌ای که توزیع اورانیوم را در حالت طبیعی در خاک بررسی می‌کرد، ۵۷ درصد اورانیوم را در بخش کربناتی خاک خود گزارش کرد. در منابع ذکر شده کربنات‌های خاک می‌توانند تحرک و زیست‌فراهمی عناصر را در خاکهای آهکی و خاک‌هایی که بوسیله سنگ آهک اصلاح شده اند کنترل کنند و این کار را از دو طریق مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌دهند اثر مستقیم آن شامل جذب سطحی عناصر و راه غیرمستقیم آن از طریق افزایش pH است (۱). در مطالعات سایر دانشمندان که در خاک‌های غیر آهکی صورت پذیرفته نیز بیشترین مقدار اورانیوم در بخش کربناتی خاک یافت شد. بنابراین مقدار اورانیوم یافت شده در بخش کربناتی در مطالعه اخیر را



(شکل ۱) - توزیع اورانیوم در بخش‌های مختلف خاک در تیمار  $^{238}\text{U}$  ۵۸۵ Bq/kg پس از ۳۰ (الف) و ۹۰ (ب) روز



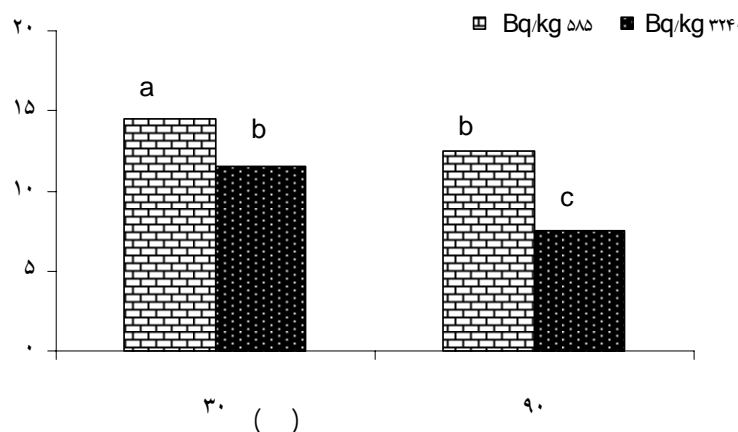
(شکل ۲) - توزیع اورانیوم در بخش‌های مختلف خاک در تیمار  $^{238}\text{U}$  ۳۲۴۰ Bq/kg پس از ۳۰ (الف) و ۹۰ (ب) روز

تبادلی از ۱۴/۵ به ۱۲/۵ درصد و به طور معنی داری ( $P < 0.05$ ) کاهش یافت. در تیمار  $^{238}\text{U}$  ۳۲۴۰ Bq/kg در خاک نیز بخش تبدلی با روندی مشابه از ۱۱/۵ به ۷/۵ درصد کاهش یافت. مقدار اورانیوم موجود در بخش کربناتی در تیمار  $^{238}\text{U}$  ۵۸۵ Bq/kg از ۵۵/۵ به ۶۴ درصد و به طور معنی دار ( $P < 0.05$ ) افزایش پیدا کرد (شکل ۴). در تیمار  $^{238}\text{U}$  ۳۲۴۰ Bq/kg در خاک نیز بخش کربناتی در طول زمان از ۷۰/۵ به ۶۶/۵ درصد کاهش پیدا کرد که از نظر آماری معنی دار نبود. در بخش اکسیدهای منگنز در تیمار  $^{238}\text{U}$  ۵۸۵ Bq/kg در خاک مقدار اورانیوم در طول زمان از ۱۵ به ۵ درصد و به طور معنی داری کاهش یافت (شکل ۵). در تیمار  $^{238}\text{U}$  ۳۲۴۰ Bq/kg در خاک مقدار اورانیوم در این بخش در طول زمان انکوباسیون از ۷/۵ به ۱۲/۵ درصد و به طور معنی داری افزایش یافت. به نظر می رسد اثر متقابل غلظت و زمان در این بخش در مقادیر مختلف اورانیوم از الگویی متفاوت پیروی می کند. در بخش آلی و در تیمار  $^{238}\text{U}$  ۵۸۵ Bq/kg در خاک مقدار اورانیوم موجود در طول زمان انکوباسیون از ۱۰/۵ به ۱۳/۵ درصد و به طور معنی داری افزایش نشان داد (شکل ۶). در تیمار  $^{238}\text{U}$  ۳۲۴۰ Bq/kg در خاک مقدار اورانیوم موجود در این بخش در طول زمان انکوباسیون از ۵/۵ به ۶/۵ درصد افزایش نشان داد که از نظر آماری ( $P < 0.05$ ) معنی دار نبود. اورانیوم موجود در بخش متمه در تیمارهای مختلف اورانیوم و زمان انکوباسیون تغییر معنی داری نشان ندادند (شکل ۷).

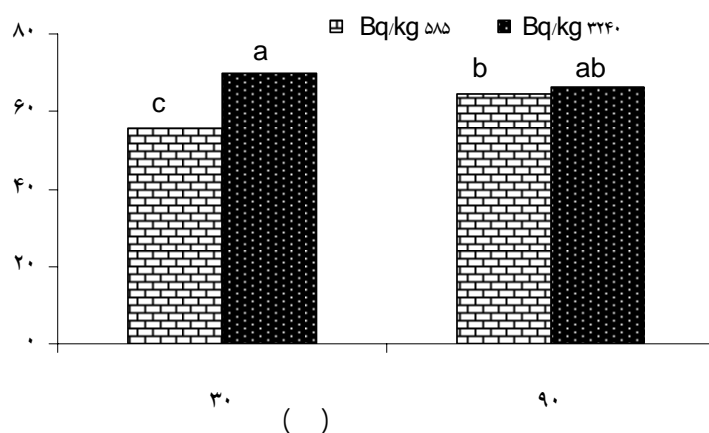
تا کنون در مورد اثرات زمان و غلظت بر توزیع مجدد عنصر اورانیوم مطالعه ای صورت نپذیرفته است. پس از گذشت ۹۰ روز از انکوباسیون مقدار اورانیوم موجود در بخش کربناتی به ۶۹ درصد کاهش یافت (شکل ۲-ب). این امر می تواند به توزیع مجدد اورانیوم در اثر افزایش غلظت آن در بخش کربناتی و اشباع شدن محلهای تبدلی مربوط به فاز کربناتی مربوط باشد. هم چنین مقدار اورانیوم موجود در بخش تبدلی با ۴ درصد کاهش نسبت به زمان ۳۰ روز انکوباسیون، به ۸ درصد رسید. تغییرات مقدار اورانیوم در بخش های مختلف در اثر افزایش زمان انکوباسیون را می توان به رهاشدن اورانیوم از بخش های تبدلی با قدرت جذب پایین تر در اثر تمایل بیشتر اورانیوم برای پیوند با بخش هایی با قدرت جذب بیشتر همانند بخش اکسیدهای منگنز و متمه مربوط دانست. مقدار اورانیوم موجود در بخش های اکسید منگنز و آلی به ترتیب ۱۳ و ۷ درصد بود. مقدار اورانیوم موجود در بخش باقیمانده با ۱ درصد افزایش نسبت به زمان ۳۰ روز به ۳ درصد رسید.

### اثرات متقابل زمان و غلظت در توزیع اورانیوم در بخش های مختلف خاک

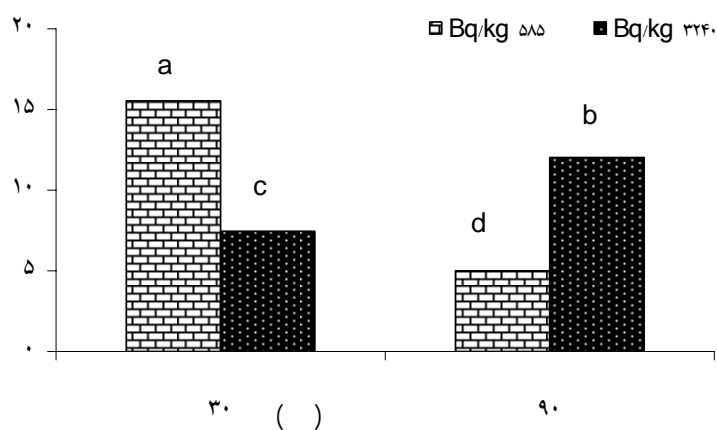
نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده ها نشان داد که مقدار اورانیوم موجود در بخش تبدلی با افزایش مقدار اورانیوم موجود در خاک و زمان آزمایش به طور معنی داری کاهش می یابد (شکل ۳). با افزایش زمان در تیمار  $^{238}\text{U}$  ۵۸۵ Bq/kg مقدار اورانیوم موجود در بخش



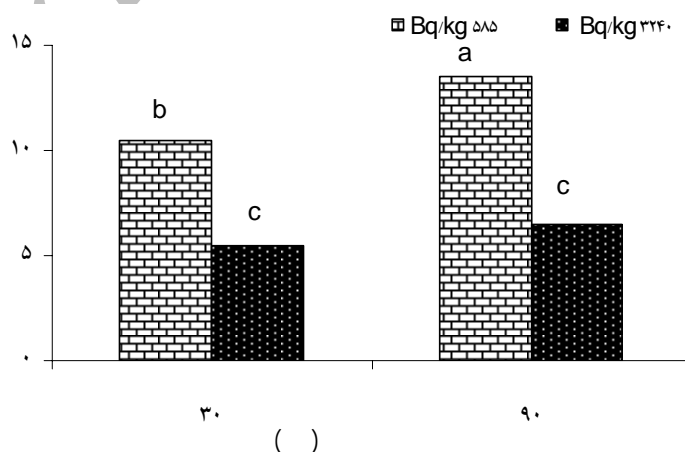
(شکل ۳) - اثرات متقابل مقدار اورانیوم و زمان بر بخش تبدلی



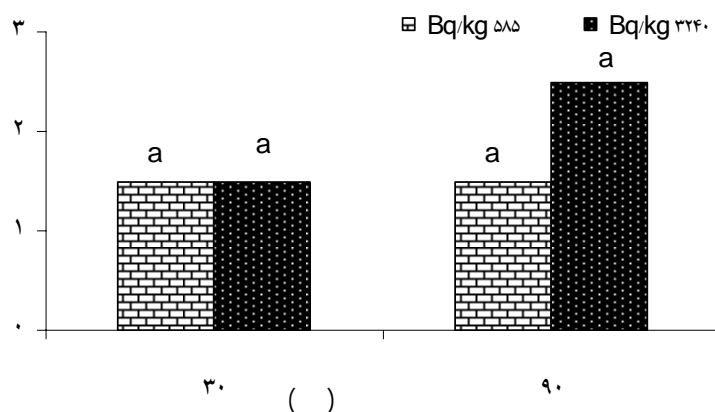
(شکل ۴) - اثرات متقابل مقدار اورانیوم و زمان بر بخش کربنات



(شکل ۵) - اثرات متقابل مقدار اورانیوم و زمان بر بخش اکسیدهای منگنز



(شکل ۶) - اثرات متقابل مقدار اورانیوم و زمان بر بخش آلی



(شکل ۷) - اثرات متقابل مقدار اورانیوم و زمان بر بخش متمه

برای سایر فلزات سنگین محاسبه شده است. هان و همکاران این مقدار را برای فلز مس در خاکهای کالیفرنیا حدود ۰/۸ محاسبه کردند که با توجه به تمایل بالای مس با بخش‌های پایدار و غیر متحرک خاک توجیه پذیر است زیرا در صد بالایی از مس در بخش متمه یافت شد (۷). در این مطالعه مقدار شاخص تفکیک کاهش یافته که حدوداً ۰/۲ بود نشان دهنده قوی نبودن پیوندهای اورانیوم با ذرات خاک و بالا بودن بخش فراهم آن برای موجودات زنده می‌باشد. البته لازم به ذکر است که توزیع شکلهای مختلف عناصر در خاک‌هایی با بافت، ترکیب شیمیایی، pH و زمان‌های مختلف متفاوت خواهد بود. با توجه به بالا بودن آهک خاک و شرایط pH بالاتر آن نسبت به خاک‌های اسیدی اروپا، تغییر نسبی توزیع اورانیوم توجیه پذیر خواهد بود اما به دلیل انجام این مطالعه برای نخستین بار در کشور لزوم انجام مطالعات گسترده‌تر در طیف وسیع تری از خاک‌ها با ویژگی‌های مختلف ضروری به نظر می‌رسد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولین محترم آزمایشگاه‌های تحقیقاتی جابربن حیان سازمان انرژی اتمی ایران به دلیل در اختیار گذاشتن امکانات لازم برای آنالیز اورانیوم  $^{238}\text{U}$  در نمونه‌ها تشکر می‌نمایم. بدون شک این تحقیق بدون حمایت‌های پرسنل محترم آزمایشگاه تجزیه هسته‌ای امکان پذیر نبود.

### مطالعه کمی قدرت جذب اورانیوم در خاک و تعیین شاخص

#### تفکیک کاهشی

تا کنون مطالعه‌ای در مورد تأثیر فاکتور غلظت و زمان بر این شاخص در مورد عنصر اورانیوم صورت نپذیرفته است. هان و همکاران درصد اکسیدهای منگنز، مقدار آهک و بافت خاک را در مقدار این شاخص برای عناصر سنگین مؤثر دانستند. آنان همچنین گزارش کردند که افزایش سطوح فلزات مس، نیکل، روی، سرب و کروم به علت افزودن فراهمی این فلزات و کاهش شدت اتصال آنها به ذرات خاک مقدار این شاخص را کاهش می‌دهند (۷). در مورد اثر زمان بر این شاخص باید اظهار داشت رقابت عوامل افزایش دهنده و کاهش دهنده فراهمی و حرکت پذیری فلزات سنگین می‌تواند جهت تغییرات این شاخص را مشخص سازد. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد با افزایش مقدار اورانیوم از تیمار  $^{238}\text{U}$  ۵۸۵ Bq/kg در خاک تا تیمار  $^{238}\text{U}$  ۳۳۴۰ Bq/kg مقدار این شاخص از ۰/۲۳ به ۰/۱۹ کاهش یافت که از نظر آماری ( $P < ۰/۰۵$ ) معنی دار بود. این کاهش را می‌توان به کربنات بالای خاک و افزایش فراهمی اورانیوم و توزیع آن در بخش‌هایی با قدرت پیوند کم تر با افزایش مقدار اورانیوم خاک نسبت داد. با افزایش زمان انکوباسیون مقدار این شاخص از ۰/۲۱ به ۰/۲۲ افزایش یافت. بنابراین اورانیوم در طول زمان انکوباسیون در بخش‌هایی با قدرت پیوند بالاتر توزیع شده است اما این افزایش به لحاظ آماری ( $P < ۰/۰۵$ ) معنی دار نبود. این شاخص تاکنون برای اورانیوم محاسبه نشده، اما در مطالعات محققین مختلف این مقادیر

### منابع

- 1- Martinez C.E., and McBride M.B. 1999. Dissolved and labile concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn in aged ferrihydrite-organic matter systems. *Environmental Science and Technology*, 33, 745-750.
- 2- Pueyo M., Mateu J., Rigol A., Vidal M., Lo'pez-Sa' nchez J.F., and Rauret G. 2008. Use of the modified BCR three-step sequential extraction procedure for the study of trace element dynamics in contaminated soils. *Environmental*

- Pollution, 152: 330e341.
- 3- Johnson W.H., Buck B.J., Brogonia H., and Brock A.L. 1998. Variations in depleted uranium sorption with depth in arid soils, *Soil Sediment Contamination*. 13 (2004) 533-544.
  - 4- Sheppard, M.I., and D.H. Thibault. 1992. Desorption and extraction of selected heavy metals from soils. *Soil Science society of America Journal*. 56:415-423.
  - 5- Chin Choy C., George P., and Xiaoguang M. 2006. Removal of depleted uranium from contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials* 136:53-60.
  - 6- Han F.X., Kingery W.L., and Selim H.M. 2001. Accumulation, redistribution, transport, and bioavailability of heavy metals in waste-amended soil. PP. 145-173. In: Iskandar, I. K., M. B. Kirkham, (Eds.), *Trace elements in soils*, LEWIS Publishers.
  - 7- Han F.X., Banin A., Kingery W.L., Triplett G.B., Zhou L.X., Zheng S.J., and Ding W.X. 2003 New approach to studies of heavy metal redistribution in soil. *Advance. Environment. Res.*, 8:113-120
  - 8- Luo Y., Jiang X., Song L.W., Wu J., Lu S., and Christie R. 2003 Accumulation and chemical fractionation of Cu in a paddy soil irrigated with Cu-rich wastewater. *Geoderma*. 115. 113-120
  - 9- Graf M., Lair G.J., Zehenter F., and Gerzabek M.H. 2007. Geochemical fractions of copper in soil chronosequence of selected European floodplains. *Environ. Pollut.*, 148:788-796
  - 10- Clesceri L.S., Greenberg A.E. and Eaton A.D. 1998. Standard methods for the examination of water and waste water, 20th Ed., American Public Health Association. Washington D. C, USA.
  - 11- Quevauviller P. 2002. Methodologies in soil and sediment fractionation studies: single and sequential extraction procedures. The Royal Society of Chemistry, U. K.
  - 12- Tessier A., Campbell P.G., and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*. 51:844- 885.
  - 13- Jones J.J.B. 1991. Kjeldahl method for nitrogen determination. Micro-Macro publishing INC., Athens, GA, USA.
  - 14- Klute A. 1986. Method of soil analysis part 1: Physical and Mineralogical methods .ASA .Soil Science Society of America Madison. Wisconsin, USA.
  - 15- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. p. 403-430. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. Agronomy Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
  - 16- Richards L.A. (Ed.). 1954. Diagnosis and improvement of Saline and alkali soils. USDA Agriculture Handbook. No. 60.
  - 17- Blanco P., Vera Tomea F., and Lozano J.C. 2004. Sequential extraction for radionuclide fractionation in soil samples: a comparative study *Applied Radiation and Isotopes*. 61:345-350.
  - 18- Walkli A., and Black I.A. 1934. An examination of the degtareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38 (1934).
  - 19- Ribera D., Labort F, Tisnerat G., and Narbonne J.F. 1996. Uranium in the environment: occurrence, transfer and biological effects. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 146:53-89.
  - 20- Gee G.W., and Bauder J.M. 1982. Hydrometr method. *Methods of soil analysis*, Part 1. physical and mineralogical properties. 2 nd Ed. Agron. Monogr. No 9. page: 383-411.
  - 21- Annon. 2005. Civilian use of depleted uranium antenna, Netherlands Current issues. <http://www.antenna.nl/wise/uranium/dvuss.htm> (accessed on 20.10.2005).



## The effect of concentration and time in distribution of uranium in one calcareous soil

S. Bagherifam<sup>1\*</sup> - A. Lakzian<sup>2</sup> - S. J. Ahmadi<sup>3</sup> - B. Salimi-A<sup>4</sup> - F. Asghari zadeh<sup>5</sup>

### Abstract

Uranium as a natural radioactive heavy metal widely disperses throughout the earth's crust. In many cases, the natural abundance has been re-distributed due to anthropogenic activities, resulting in radionuclide contamination in groundwater and surface soil. Uranium through the plant uptake can enter the chain. The degree of speciation of radio nuclides in soils in areas with differing levels of uranium is of great interest in order to further the knowledge of the processes that determine the mobility and distribution of these contaminants from the installation, and consequently the potential short and long term risks. In the present work, we used a sequential extraction procedure based on Tessier's method to determine the fractionation of uranium in a calcareous soil. The effects of two levels of uranium, 585 and 3240 Bq/kg <sup>238</sup>U on the uranium distribution in soil fractions at 30 and 90 days of incubation were studied. The results indicated that U primarily associated with the carbonate fraction (62%) and increased by increasing the uranium level in soils. A comparison of extraction results from different incubation times showed that the pattern of uranium association with different fractions changed during the time of incubation.

**Keywords:** Distribution of uranium, Sequential extraction, Calcareous soils

1 ,2- Faculty of Agriculture, Department of Soil Science Engineering, Ferdowsi University of Mashhad  
(\* - Corresponding author Email: [Saeed\\_bagherifam@yahoo.com](mailto:Saeed_bagherifam@yahoo.com))  
3,4,5 – Nuclear Science Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI