مجله علوم، مهندسی و فناوری هسته‌ای، دوره ۴۶، شماره ۱، جلد ۱۱۱، بهار ۱۴۰۴

Journal of Nuclear Science, Engineering and Technology
Vol. 46 (1), Serial Number 111, 2025

گیاه پالایی و حذف اورانیم از خاک توسط گیاه شیخ *بهار* (*Conyza canadensis (L) Cronq*)

سمانه ذوالقدری*[۱]، علی نبی‌پور چاکلی[۲]، حمزه حسین پور[۳]، حسن یوسف‌نیا[۱]، زهرا شیری یکتا[۴]

۱. پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران- ایران
۲. پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۱۴۹۸-۳۱۴۶۵، کرج - ایران
۳. شرکت سوخت رآکتورهای هسته‌ای ایران، صندوق پستی: ۸۱۴۶۵-۱۹۵۷، اصفهان- ایران
۴. پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران- ایران
*Email: szolghadri@aeoi.org.ir

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲ تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۳/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۳/۲۶

چکیده

امروزه، گیاه پالایی به عنوان یکی از روش‌های اقتصادی و دوستدار محیط زیست جهت حذف آلاینده‌ها از خاک شناخته شده است. در این تحقیق، توانایی گیاه‌پالایی گیاه شیخ *بهار* جهت حذف اورانیم از خاک شور مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه خاک از منطقه هسته‌ای اصفهان جمع‌آوری و خاک با اورانیم با غلظت‌های ۵۰۰ mg/kg، ۳۰۰، ۱۰۰ آلوده گردید. بذرها در بستر مناسب رشد و سپس به گلدان‌ها با خاک آلوده انتقال یافتند. سپس گیاهان در داخل گلخانه به مدت ۱ ماه رشد یافتند و میزان تجمع اورانیم در بخش‌های مختلف گیاه با روش خاکسترسازی به‌دست آمد. با افزایش غلظت اورانیم در خاک، تجمع اورانیم در گیاه نیز افزایش یافت. یافته‌ها نشان داد که میزان تجمع اورانیم در گیاه به بافت و هدایت الکتریکی خاک مرتبط است و با هدایت الکتریکی خاک رابطه مستقیم دارد. بیشترین میزان تجمع در ساقه گیاه و برابر با ۳۶۳۳ mg/kg مشاهده گردید. نتایج نشان داد که گیاه شیخ *بهار* توانایی تجمع بیش از ۱۰۰۰ mg/kg اورانیم را در بخش‌های مختلف خود دارا است. همچنین فاکتور انتقال برای بخش‌های مختلف گیاه بیش از ۱ به‌دست آمد. لذا گیاه شیخ *بهار* می‌تواند به عنوان یک گیاه مناسب جهت گیاه‌پالایی خاک‌های شور در نظر گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: گیاه پالایی، شیخ *بهار*، اورانیم، فاکتور انتقال

Phytoremediation and uranium removal from soil using *Conyza canadensis (L) Cronq*

S. Zolghadri*[1], A. Nabipour-Chakoli[2], H. Hoseinpour[3], H. Yousefnia[1], Z. Shiri-Yekta[4]

1. Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran – Iran
2. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O.Box: 31465-1498, Karaj – Iran
3. Iran Nuclear Reactor Fuel Company, P.O.Box: 1957-81465, Isfahan - Iran
4. Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran - Iran

Research Article

Received: 12.3.2024, Revised: 8.6.2024, Accepted: 15.6.2024

Abstract

Today, phytoremediation is recognized as one of the most cost-effective and environmentally friendly methods for removing pollutants from soil. This study focused on investigating the phytoremediation capabilities of Conyza canadensis (L) Cronq in removing uranium from saline soil. Soil samples were collected from the nuclear area of Isfahan, with contamination levels of 100, 300, and 500 mg/kg of uranium. The seeds were germinated in a suitable substrate and then transplanted into pots containing the contaminated soil. The plants were then cultivated in a greenhouse for one month, and the amount of uranium accumulation in various parts of the plant was determined using the ash method. Results indicated that as the concentration of uranium in the soil increased, so did the accumulation of uranium in the plant. The study revealed a direct correlation between the amount of uranium accumulation in the plant and the soil's texture and electrical conductivity (EC). The highest accumulation was found in the plant's stem, reaching 3633 mg/kg. Conyza canadensis (L) Cronq demonstrated the ability to accumulate over 1000 mg/kg of uranium in different parts of the plant, with transfer factors exceeding one. Therefore, Conyza canadensis (L) Cronq shows promise as a suitable plant for phytoremediation of saline soils.

Keywords: Phytoremediation, *Conyza canadensis (L) Cronq*, Uranium, Transfer factor

۱. مقدمه

توسعه سریع تکنولوژی‌های جدید، با یک سری مشکلات محیطی از جمله آلودگی خاک، آب و هوا همراه است. در سال‌های اخیر به دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی، غلظت فلزات سنگین در محیط زیست و همچنین مواد غذایی افزایش یافته است [۱]. ازآنجاکه این فلزها نمی‌توانند از طریق شیمیایی یا فرایندهای زیستی در طبیعت تجزیه شوند، از آلاینده‌های مهم به شمار می‌روند [۲].

از دلایل خطرآفرین بودن فلزات سنگین، قدرت تجمع زیستی آنها است به این مفهوم که قادر هستند در سیستم بدن موجود زنده تجمع یابند و غلظت آنها به‌مرور زمان و با تماس بیشتر با آلاینده‌ها افزایش یابد [۳]. اغلب فلزات سنگین در واکنش‌های زیستی سلول‌های موجودات زنده تداخل کرده و حتی مانع از برخی از این واکنش‌ها می‌شود. فلزات سنگین همچنین در عمل سوخت‌وساز بدن وارد شده و عمل آنزیم‌ها را مختل می‌سازند [۱].

حضور اورانیم در محیط زیست به دلیل سمیت رادیولوژیکی و شیمیایی بالای این عنصر، همواره به‌عنوان یک مشکل جدی برای موجودات زنده و تخریب ارگانیسم‌های زیستی مطرح بوده است [۴]. این مسئله درنتیجه توسعه فناوری هسته‌ای و کاربردهای آن در صنایع وابسته شکل جدی‌تری به خود گرفته است. در مراحل مختلف استفاده از اورانیم در صنایع، حجم‌های مختلفی از پساب‌های حاوی اورانیم با سطوح پرتوزایی و غلظتی مختلف تولید می‌شود که ورود آن به محیط زیست دور از ذهن نمی‌باشد.

آلوده شدن خاک به اورانیم یک مشکل جهانی برای هر کشوری است که با فعالیت‌هایی مانند ساخت سوخت، بازیافت سوخت، تحقیق و توسعه درگیر باشد. آلودگی اورانیم طبیعی، غنی‌شده و یا تهی شده در خاک و آب در بسیاری از سایت‌ها در سرتاسر جهان تشخیص داده شده است.

برای پالایش مناطق آلوده به فلزات سنگین و رادیونوکلئیدها، روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پیشنهاد شده است که عمدتاً پرهزینه و غیراقتصادی می‌باشند. گیاه‌پالایی (استخراج گیاهی) تکنیک نوین پالایش در محل خاک، آب و رسوبات آلوده است که اقتصادی و دوستدار محیط زیست است. برای پروژه‌های طولانی‌مدت و آلوده‌کننده‌های مناسب، گیاه‌پالایی به‌عنوان ارزان‌ترین و ساده‌ترین گزینه موجود برای پاک‌سازی خاک در نظر گرفته می‌شود [۵-۶].

آژانس حفاظت محیط زیست ایالات‌متحده آمریکا، گیاه‌پالایی را به‌عنوان استفاده از گیاهان برای تنزل یا استخراج مواد خارجی از خاک یا آب تعریف کرده است [۷]. گیاه‌پالایی می‌تواند روش‌های پایداری را برای اصلاح خاک‌های مبتلا به تجمع فلزات سنگین فراهم آورد.

امروزه قابلیت رشد و جذب فلزات سنگین و رادیونوکلئیدها در محیط‌های شدیداً آلوده در تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی به اثبات رسیده است [۸-۹]. درحالی‌که مطالعات مختلفی در دنیا بر روی گیاه‌پالایی جهت جذب یون اورانیم از اوایل دهه ۱۹۹۰ انجام پذیرفته است، گیاهان خردل هندی (*Brassica juncea*) و آفتابگردان (*Helianthus annus*) به‌عنوان گونه‌های گیاهی بیش اندوز با قابلیت جذب و تجمع مقادیر بسیار زیاد اورانیم از خاک معرفی شده‌اند [۱۰-۱۱].

در سال ۲۰۰۵، وی[1] و همکاران در یک مطالعه بر روی ۵۴ گونه علف‌های هرز، گیاه *شیخ بهار* را به عنوان کاندیدی جهت حذف کادمیم از خاک معرفی کردند [۱۲]. در سال‌های اخیر، توانایی رفع آلودگی و مقاومت این گیاه به فلزات سنگین به اثبات رسیده و پتانسیل این گیاه در زمینه گیاه پالایی خاک آلوده به کادمیم نشان داده شده است [۱۳].

در سال ۲۰۱۴، زی[2] و همکاران در مطالعه‌ای بر روی ۳۱ گونه گیاهی در منطقه‌ای با پسماند اورانیم بیان کردند که این گیاه توانایی تجمع مقادیر قابل توجهی از اورانیم را دارا است. هرچند در این مطالعه، اثر عوامل مختلف در جذب اورانیم توسط گیاه مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا بر طبق گفته این محققان، لازم است مطالعات بیشتری بر روی توانایی گیاه *شیخ بهار* در گیاه پالایی خاک‌های آلوده به اورانیم انجام شود [۱۴].

گیاه *شیخ بهار* با نام علمی *Conyza Canadensis (L.) Cronq*، علف هرز یک ساله با ارتفاع حدود ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر است. این گیاه از خانواده Asteraceae بوده و به طور گسترده در بسیاری از کشورهای آمریکای شمالی و آسیا توزیع شده است. در اکثر مناطق رشد می‌کند اما زمین‌های سنگلاخی، شنی یا لومی با ازت بالا را ترجیح می‌دهد و مقاومت خوبی نسبت به خشکی دارد. گیاه *شیخ بهار* به دلیل سازگاری اکولوژیکی قوی، در بسیاری از نقاط مانند رودخانه‌ها، کنار جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی پراکنده شده است [۱۵].

1. Wei
2. Xie

امروزه در کشور ایران، بخش‌های وسیعی از دشت‌های حاصلخیز قزوین و مغان، گرگان و گنبد، آزادگان، ورامین و استان‌های یزد، اصفهان، فارس، خراسان رضوی و جنوبی، کرمان، قم، تهران، سمنان، سیستان و بلوچستان، خوزستان، بوشهر و اراضی اطراف دریاچه ارومیه متأثر از تنش شوری آب و خاک هستند. شرایط خشک و نیمه‌خشک کشور ما همچنین به تشکیل خاک‌های شور و شور شدن روز افزون خاک‌های زراعی کمک می‌کند. با توجه به موارد ذکر شده، معرفی گیاهان مقاوم به شوری با قابلیت بالای جذب اورانیم از خاک در کشور حائز اهمیت است.

در این تحقیق، نظر به سازگاری اکولوژی قوی گیاه شیخ *بهار* سعی شده است تا توان گیاه پالایی این گیاه به منظور جذب اورانیم از خاک برای اولین بار در کشور و در خاک منطقه هسته‌ای اصفهان (به عنوان یکی از مراکز مهم کشور که امکان آلودگی آن به اورانیم وجود دارد) مورد بررسی قرار گیرد تا در شرایط بحرانی بتوان از آن برای رفع آلودگی خاک منطقه استفاده نمود. همچنین اثر عوامل مختلف بر جذب اورانیم توسط گیاه از جمله میزان غلظت اورانیم در خاک، نوع خاک و میزان جذب در بخش‌های مختلف گیاه برای اولین بار مورد مطالعه قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

سه نمونه خاک منطقه هسته‌ای اصفهان برای کاشت در نظر گرفته شدند. بذر گیاه شیخ *بهار* از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج - ایران) تهیه شد. نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت بالا (ساخت کمپانی سارتاریوس کشور آلمان) وزن شدند. خشک کردن و خاکسترسازی توسط آون (ساخت کمپانی ممرت کشور آلمان) و کوره (ساخت کمپانی آذرکوه کشور ایران) انجام پذیرفت. از دستگاه طیف‌سنج نشر اتمی پلاسمای جفت شده القائی (ICP-AES)، مدل Optima ۷۳۰۰ DV (آمریکا) برای اندازه‌گیری یون‌ها و از دستگاه‌های XRD، Philips pw ۱۸۰۰ (هلند) و XRF، Philips ۲۴۰۴ (هلند) برای تعیین کانی‌های اصلی در خاک استفاده شد.

۱.۲ نمونه‌برداری و آنالیز خاک

نمونه‌های خاک از منطقه هسته‌ای اصفهان و از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شد و در کیسه‌های مخصوص نمونه قرار گرفت. سپس با استفاده از روش مخروطی یک نمونه همگن معرف جهت ادامه مطالعات خواص‌سنجی، دانه‌بندی، آنالیزهای دستگاهی و آزمایش‌های گیاه‌پالایی تهیه گردید. برای این منظور، نمونه نخست به شکل یک مخروط ساخته می‌شود و این مخروط به چهار قسمت مساوی تقسیم می‌شود و از دو نمونهٔ روبه‌روی هم یک ترکیب مخلوط برداشته می‌شود. این فرایند آن‌قدر ادامه می‌یابد تا یک مقدار مناسب برای توزین حاصل گردد [۱۶].

مشخصات خاک از جمله درصد رطوبت اشباع، pH، EC، درصد کربنات کلسیم، درصد ماده آلی، برآورد ازت آزاد شده در فصل رشد، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، تجزیه اندازه‌ای ذرات (درصد رس، سیلت و شن) و بافت خاک با استفاده از روش‌های استاندارد (ASTM D۴۹۷۲، ASTM D۱۱۲۵، ASTM D۷۲۶۳-۲۱، ASTM D۴۲۲-۶۳، ASTM D۷۵۰۳ و ASTM D۲۹۷۴) بررسی شد. جهت تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده گردید. میزان شوری خاک منطقه هسته‌ای اصفهان با تعیین میزان هدایت الکتریکی[1] (EC) عصاره اشباع خاک تعیین گردید.

همچنین نمونه‌های خاک تحت آنالیزهای XRD، XRF قرار گرفتند. برای این منظور، نمونه‌ها در ابتدا به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک و توسط آسیاب پودر شده و پس از مش‌بندی تا حدود ۷۵ میکرون (زیر سرند با مش ۲۰۰) در ظروف پلی‌اتیلنی قرار گرفته و جهت انجام آنالیز به آزمایشگاه ارسال شدند.

۲.۲ آلوده کردن خاک

سه نمونه خاک، از الک با مش ۲ mm عبور داده شد. به منظور آلوده کردن خاک نمک اورانیم نیترات مورد استفاده قرار گرفت [۸ و ۹]. بدین منظور مقدار مورد نیاز از نمک اورانیم نیترات برای آلوده کردن خاک با غلظت ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم اورانیم بر کیلوگرم خاک، برای هر گلدان محاسبه و وزن گردید. سپس این مقدار در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و بر روی خاک اسپری گردید. برای تثبیت و تعادل اجزای خاک و فلز و همسان‌سازی شرایط آلودگی مصنوعی با شرایط آلودگی طبیعی، خاک آلوده شده به مدت ۲ هفته در شرایط هوای آزاد قرار داده شد. سپس خاک‌های آلوده جهت اثبات آلوده شدن به اورانیم و تثبیت آلودگی مورد آنالیز قرار گرفتند.

1. Electrical Conductivity

۳.۲ کاشت و نگه‌داری از گیاهان

گیاهان در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۹ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر (سایز ۱۹) کاشته شدند (هر گلدان ۳ گیاه) و در شرایط گلخانه رشد یافتند. جهت بررسی آماری، سه گلدان در شرایط کاملاً یکسان در نظر گرفته شد (n=۳). در این تحقیق، از روش کاشت نشاء استفاده گردید. ابتدا بذر گیاه در سینی نشاء کاشته شد و پس از رشد کافی (گیاه در این شرایط ۵-۶ برگ دارد)، نشاء به گلدان‌های با خاک آلوده منتقل شد.

۴.۲ برداشت گیاه

برداشت گیاهان در بازه زمانی یک ماه پس از کاشت انجام گردید. ابتدا ریشه گیاه به طور کامل شستشو داده شد تا خاک متصل به ریشه کاملاً جدا گردد و از هر گونه احتمال تعیین مقادیر اضافی جذب اورانیم توسط ریشه گیاه جلوگیری شود. سپس اندام‌های مختلف گیاه (برگ، ساقه و ریشه) جدا گردید.

۵.۲ آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها

نمونه‌ها برای مدت ۲۴ ساعت در آون (ساخت کمپانی ممرت کشور آلمان) در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. توزین نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال (ساخت کمپانی سارتاریوس کشور آلمان) با دقت وزن ۰٫۰۰۰۱ گرم انجام شد.

به منظور هضم نمونه‌ها از روش خاکسترسازی استفاده گردید. برای این منظور، نمونه‌ها در کوره قرار داده شدند و دمای کوره به تدریج برای مدت ۲ ساعت به دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. سپس نمونه‌ها برای مدت ۵ الی ۶ ساعت در کوره در این دما نگه‌داشته شدند. سپس به هر نمونه، ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ اضافه گردید و نمونه‌ها در حمام روغن بر روی هیتر با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از هضم کامل نمونه‌ها، با آب مقطر حجم نمونه به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مقدار اورانیم موجود در نمونه توسط دستگاه ICP-AES اندازه‌گیری گردید.

از مقادیر حاصل از نتایج ICP-AES، مقدار اورانیم بر وزن خشک هر بخش گیاه (mg/kg) محاسبه گردید. لازم به ذکر است مقادیر گزارش شده متوسط مقدار جذب شده گیاهان رشد یافته در ۳ گلدان (هر گلدان معمولاً ۳ تا ۵ گیاه) می‌باشد. همچنین فاکتور انتقال[1] (TF) برای هر بخش گیاه بر طبق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$TF = \frac{\text{غلظت آلاینده در وزن خشک گیاه}}{\text{غلظت آلاینده در وزن خشک خاک}} \qquad (۱)$$

۳. نتایج

۱.۳ آنالیز خاک

نتایج آنالیز نمونه‌های خاک در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بافت نمونه خاک شماره ۱ و ۲ از نوع لوم رسی- شنی و شماره ۳ از نوع لومی- شنی متوسط مایل به شنی است. در هر سه نمونه، خاک آهکی با درصد آهک بالا و pH آن قلیایی می‌باشد. مقدار هدایت الکتریکی سه نمونه خاک به ترتیب برابر با ۲۵٫۴۰، ۱۳٫۴۱ و ۸٫۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد که نشان از شور بودن خاک منطقه می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، نتایج آنالیز XRD نمونه‌های خاک نشان می‌دهد که در هر سه نمونه خاک، کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده به ترتیب شامل Calcite (۰۱-۰۸۶-۲۳۳۴) و Quartz (۰۱-۰۷۹-۱۹۰۶) می‌باشند که در θ۲های مشخص شده با علامت‌های ❋ (θ۲:۴۹،۴۷،۴۳،۳۹،۲۹،۲۳) و ● (θ۲:۴۰،۳۷،۲۷) به ترتیب نشان داده شده است.

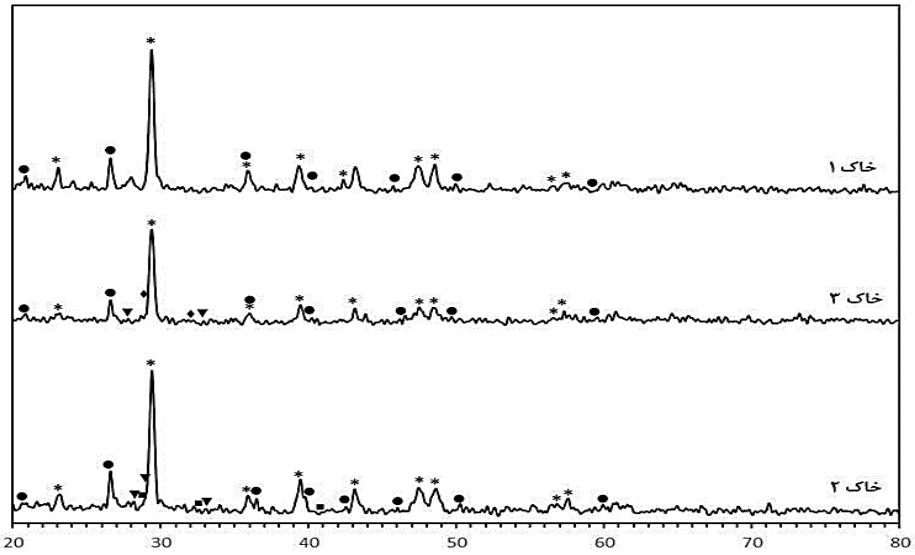
در نمونه خاک شماره ۱، مقادیر کمی از ترکیبات *Corundum*، *Talc*، *Sodalite* و *Albite* مشاهده شده است که به دلیل هم‌پوشانی پیک‌ها قابل تفکیک از یکدیگر نیستند. θ۲های مشخص شده با در نمونه خاک شماره ۲، علاوه بر ترکیبات اصلی خاک مقادیر کمی از ترکیب‌های *Dannemorite* (۰۰-۰۲۳-۰۳۰۲) و *Ferroglaucophane* (۰۰-۰۲۷-۰۷۱۴) مشاهده شده که با علامت‌های ▼ (θ۲:۳۳،۲۸) و ■ (θ۲:۳۲،۲۸) به ترتیب نشان داده شده است. در نمونه خاک شماره ۳، ضمن مشاهده مقدار کمی از ترکیب *Dannemorite*، ترکیب *Potassium Oxide* (۰۰-۰۲۳-۰۴۹۳) نیز مشاهده می‌شود که با علامت ♦ (θ۲:۳۲،۲۹) نشان داده شده است.

همچنین نتایج آنالیز XRF نشان می‌دهد که اکسیدهای اصلی هر سه نمونه خاک به ترتیب شامل CaO، SiO_2، Fe_2O_3 و Al_2O_3 می‌باشد. مقادیر اکسیدهای موجود در خاک به همراه درصد وزنی هر یک در جدول ۲ ارائه شده است.

1. Transfer Factor

جدول ۱. نتایج آنالیز نمونه‌های خاک

بافت	تجزیه اندازه‌ای ذرات			فسفر قابل استفاده (ppm)	پتاسیم قابل استفاده (ppm)	برآورد ازت آزاد شده در فصل رشد (کیلوگرم در هکتار)	درصد ماده آلی (%OM)	pH	EC (ds/m)	عنوان نمونه
	رس٪	سیلت٪	شن٪							
S.C.L	۲۲	۱۶	۶۲	۲٫۳۱	۲۹۳٫۷۷	۲۸٫۷۷	۰٫۹۶	۷٫۶۲	۲۵٫۴۰	۰۰۱
S.C.L	۲۰	۱۰	۷۰	۴٫۳۴	۴۸۲٫۰۹	۳۸٫۰	۱٫۲۷	۷٫۸۸	۱۳٫۴۱	۰۰۲
S.L	۸	۱۴	۷۸	۵٫۹۱	۱۷۲٫۲۰	۲۶٫۶۰	۰٫۸۹	۷٫۸۲	۸٫۰	۰۰۳



شکل ۱. آنالیز XRD سه نمونه خاک.

جدول ۲. نتایج آنالیز XRF نمونه‌های خاک

عنوان نمونه	اکسیدهای موجود در خاک به همراه درصد وزنی					
	CaO	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	SrO ،MnO ،TiO_2 ،K_2O ،SO_3 ،P_2O_5
۰۰۱	۶۳٫۷۸	۲۱٫۹۵	۴٫۹۷	۳٫۳۸	۱٫۳۵	< ۱٫۰
۰۰۲	۶۸٫۵۲	۱۹٫۳۶	۵٫۵۴	۲٫۸۰	< ۱٫۰	< ۱٫۰
۰۰۳	۸۰٫۱۴	۱۲٫۰۶	۳٫۶۱	۱٫۶۰	< ۱٫۰	< ۱٫۰

۲.۳ بررسی میزان جذب اورانیم در بخش‌های مختلف گیاه

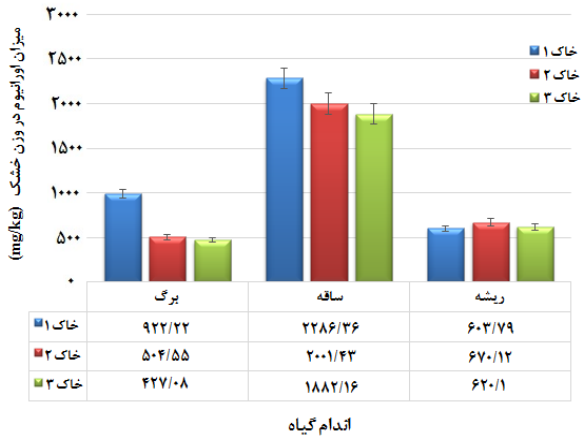
مقدار اورانیم بر وزن خشک هر بخش گیاه (mg/kg) در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است. برطبق این نتایج در حالی‌که میزان جذب اورانیم در وزن خشک گیاه، در برگ و ریشه به ترتیب در بازه ۴۷۲-۱۵۵۴ و ۶۰۳-۲۵۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، میزان اورانیم در ساقه در بازه ۱۸۸۲-۳۶۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد.

اگرچه میزان جذب اورانیم در بخش‌های مختلف گیاه به نوع خاک و میزان غلظت اورانیم در خاک بستگی دارد، اما بیشترین میزان جذب در هر سه نوع خاک و در غلظت‌های مختلف، به ترتیب در بخش ساقه، ریشه و برگ مشاهده گردید که نشان از انتقال اورانیم از بخش زیرزمینی گیاه به بخش هوایی آن دارد.

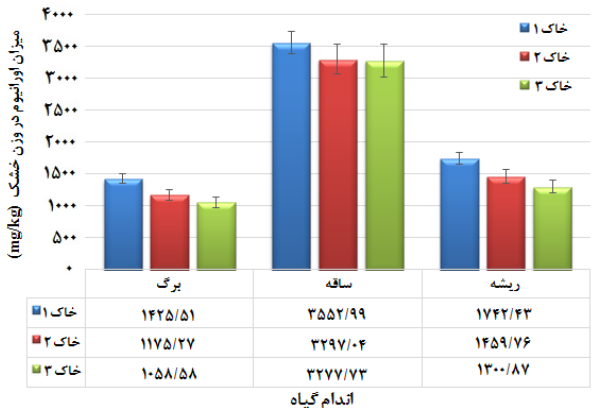
یکی از پارامترهای مهم در گیاه‌پالایی، غلظت فلز در اندام هوایی (برگ و ساقه) به غلظت فلز در اندام زیر زمینی (ریشه) می‌باشد که فاکتور جابه‌جایی[1] نامیده می‌شود. در تمام گیاهان بیش‌انباشتگر تأیید شده، فاکتور جابه‌جایی بیشتر از ۱ می‌باشد [۱۷]. برطبق نتایج (شکل‌های ۲ الی ۴)، مقدار فاکتور جابه‌جایی برای گیاه *شیخ بهار* رشد یافته در هر سه نمونه خاک و در هر سه غلظت بیش از ۱ می‌باشد.

در تحقیقات اخیر توسط زی و همکاران بر روی جذب اورانیم در ۳۱ گونه گیاهی، تنها در سه گونه از گیاهان شامل *شیخ بهار*، میزان اورانیم بیش از ۶۰۰ mg/kg در وزن خشک گیاه مشاهده شد [۱۴]. نتایج این پروژه نیز محتوای اورانیمی بیش از ۱۰۰۰ mg/kg را در ساقه گیاه نشان می‌دهد که با نتایج تحقیقات زی و همکاران در تطابق است. در خصوص اورانیم، گیاهی با توانایی تجمع بیش از ۱۰۰۰ mg/kg اورانیم در وزن خشک خود به عنوان گیاه بیش انباشتگر به شمار می‌آید [۱۸].

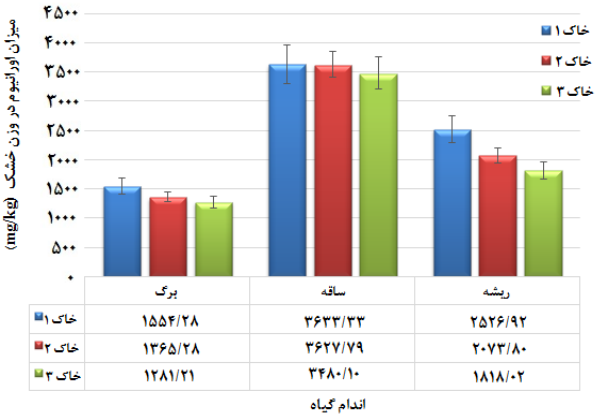
1. Translocation Factor



شکل ۲. میزان جذب اورانیم در وزن خشک گیاه (mg/kg) در گیاه *شیخ بهار* رشد یافته در خاک آلوده با غلظت ۱۰۰ mg/kg (P value < ۰/۰۵).



شکل ۳. میزان جذب اورانیم در وزن خشک گیاه (mg/kg) در گیاه *شیخ بهار* رشد یافته در خاک آلوده با غلظت ۳۰۰ mg/kg (P value < ۰/۰۵).



شکل ۴. میزان جذب اورانیم در وزن خشک گیاه (mg/kg) در گیاه *شیخ بهار* رشد یافته در خاک آلوده با غلظت ۵۰۰ mg/kg (P value < ۰/۰۵).

۳.۳ بررسی اثر خاک در میزان جذب اورانیم

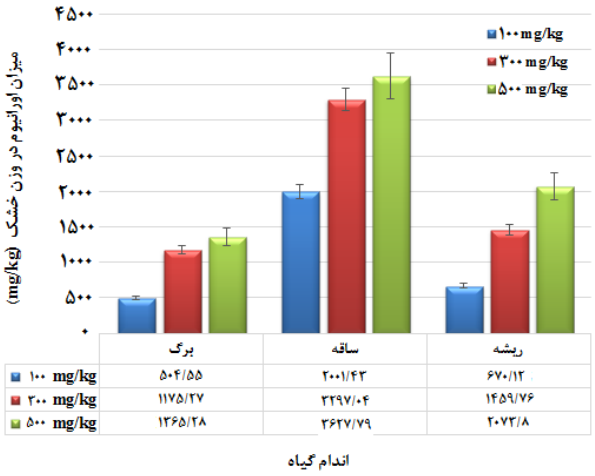
نتایج جذب اوارنیم در گیاهان کشت یافته در خاک‌های مختلف حاکی از جذب بالاتر اورانیم در هر سه بخش گیاه به ترتیب در خاک‌های شماره ۱، ۲ و ۳ با EC برابر با ۲۵/۴۰، ۱۳/۴۱ و ۸/۰ می‌باشد (شکل‌های ۲ الی ۴). به عنوان نمونه، میزان جذب در ساقه گیاه رشد یافته در خاک با غلظت ۵۰۰ mg/kg، در خاک ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برابر با ۳۶۳۳/۳۳، ۳۶۲۷/۷۹ و ۳۴۸۰/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

تغییر میزان جذب در سه نمونه خاک می‌تواند به پارامترهای مختلف از جمله بافت خاک و یا شوری خاک مرتبط باشد. نتایج تحقیقات ارائه شده توسط کدخدایی و همکاران در سال ۲۰۱۲ نشان می‌دهد که با افزایش شوری خاک، شکل قابل جذب فلزات سنگین در خاک افزایش یافته و در نتیجه میزان جذب فلزات سنگین در کلیه بخش‌های گیاه افزایش می‌یابد [۱۹]. بنابراین می‌توان افزایش جذب اورانیم در بخش‌های مختلف گیاه در خاک ۱ را مرتبط با شوری بالاتر و در تطابق با نتایج تحقیقات کدخدایی و همکاران دانست.

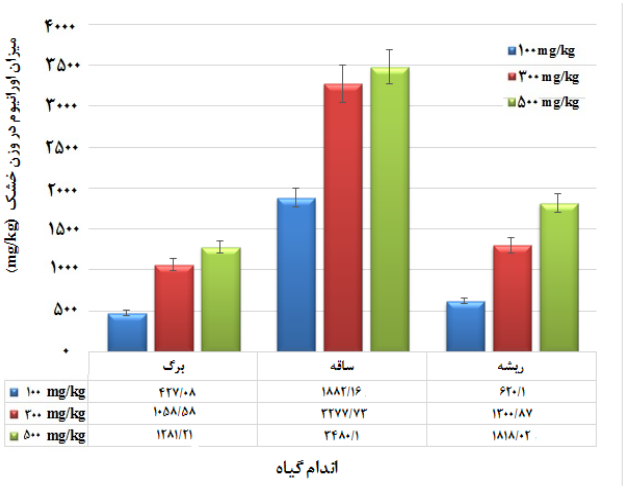
۴.۳ بررسی اثر غلظت در میزان جذب اورانیم

برای بررسی اثر غلظت، میزان متوسط جذب اورانیم در هر بخش گیاه *شیخ بهار* رشد یافته در خاک‌هایی با غلظت‌های مختلف اورانیم بررسی شد. همان‌گونه که در شکل‌های ۵ تا ۷ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت اورانیم در خاک، غلظت اورانیم در وزن خشک گیاه *شیخ بهار* نیز افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه، میزان اورانیم در ساقه گیاه *شیخ بهار* در خاک ۱، در غلظت‌های ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب برابر با ۲۲۸۶/۳۶، ۳۵۵۲/۹۹ و ۳۶۳۳/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

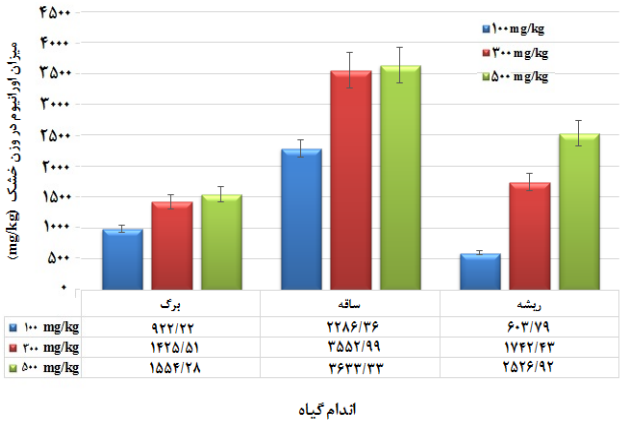
البته باید توجه داشت که افزایش میزان جذب در گیاه با افزایش غلظت اورانیم در خاک از ۱۰۰ به ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشتر است. با این حال می‌توان تصور نمود با افزایش میزان غلظت اورانیم جذب شده در گیاه، گیاه به حالت اشباع خود در جذب نزدیک شده و توانایی آن در جذب مقادیر بیشتر کاهش می‌یابد.



شکل ۵. میزان جذب اورانیم در وزن خشک گیاه (mg/kg) در گیاه *شیخ بهار* رشد یافته در خاک ۱ (لوم رسی- شنی با EC=۲۵/۴۰).



شکل ۶. میزان جذب اورانیم در وزن خشک گیاه (mg/kg) در گیاه شیخ *بهار* رشد یافته در خاک ۲ (لوم رسی- شنی با EC=۱۳٫۴۱).



شکل ۷. میزان جذب اورانیم در وزن خشک گیاه (mg/kg) در گیاه شیخ *بهار* رشد یافته در خاک ۳ (لومی- شنی متوسط مایل به شنی با EC=۸٫۰).

۵.۳ فاکتور انتقال

یکی از پارامترهای مهم در گیاه‌پالایی، غلظت اورانیم در گیاه به غلظت اورانیم در خاک است که فاکتور انتقال نامیده می‌شود. در تمامی گیاهان بیش‌انباشتگر تأیید شده، فاکتور انتقال بیشتر از ۱ می‌باشد. مقدار فاکتور انتقال برای گیاهان رشد یافته در خاک با غلظت‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر ارائه شده در جدول، مقدار متوسط فاکتور انتقال برای گیاهان رشد یافته در سه خاک شماره ۱ الی ۳ می‌باشند. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌گردد، مقادیر فاکتور انتقال با افزایش غلظت اورانیم در خاک کاهش می‌یابد.

جدول ۲. مقادیر متوسط فاکتور انتقال برای گیاهان رشد یافته در سه نمونه خاک

غلظت اورانیم در خاک (mg/kg)	اندام	TF
۱۰۰	برگ	۶٫۵۶
	ساقه	۲۰٫۵۶
	ریشه	۶٫۳۱
۳۰۰	برگ	۴٫۰۶
	ساقه	۸٫۸۸
	ریشه	۵٫۰۰
۵۰۰	برگ	۲٫۸
	ساقه	۷٫۱۶
	ریشه	۴٫۲۸

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان جذب اورانیم در گیاه با شوری خاک و غلظت اورانیم در خاک رابطه مستقیم دارد. هرچند، فاکتور انتقال با افزایش غلظت اورانیم در خاک کاهش می‌یابد. میزان جذب اورانیم به ازای وزن خشک گیاه شیخ *بهار* در ساقه گیاه بیش از ۱۰۰۰ mg/kg محاسبه گردید. از طرفی فاکتور انتقال نیز برای هر بخش از گیاه، بیشتر از ۱ به‌دست آمد. لذا با توجه به نتایج حاصل می‌توان گیاه شیخ *بهار* را به عنوان یک کاندید بسیار مناسب جهت گیاه‌پالایی خاک‌های شور در نظر گرفت، هر چند مطالعات بیشتر در خصوص بررسی مقاومت گیاه به اورانیم و اثر سایر عوامل مؤثر در جذب اورانیم از خاک از جمله اثر زمان پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

1. Kazemzadeh J, Sadatnouri A, Porang N, Alizadeh M, Ghoreishi H, Padash A. The Survey and Measurement of Ni, Pb, Cu, Mn, Zn, Cd and V Content in Green Vegetables of South Area of Tehran Refinery. Environ. Res. 2012;3:65-74 [In Persian].
2. Hama Aziz K.H, Mustafa F.S, Omer K.M, Hama S, Hamarawf R.F, Rahman K.O. Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. RSC. Adv. 2023;13:17595-17610.
3. Kiliç E. Heavy Metals Pollution in Water –Chemical engineer (Hacettepe University) chemical division manager – Cag. Kimya Turkey.
4. Gongalsky K.B. Impact of Pollution Caused by Uranium Production on Soil Macrofauna. Environ. Monit. Assess. 2003;89:197–219.
5. Fellet G, Marchiol L, Perosab D, Zerbia G. The application of phytoremediation technology in a soil contaminated by pyrite cinders. Ecol. Eng. 2007;31: 207–214.
6. Susarla S, Medina V.F, McCutcheon S.C. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. Ecol. Eng. 2002;18:647–658.
7. USEPA. Introduction to Phytoremediation. EPA 600/R-99/107, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Cincinnati, OH. 2000.
8. Shahandeh H, Hossner L.R. Role of soil properties in phytoaccumulation of uranium. Water. Air Soil Pollut. 2002;141:165–180.
9. Shahandeh H, Hossner L.R. Enhancement of uranium phytoaccumulation from contaminated soils. Soil Sci. 2002;167:269–280.
10. Rani P, Rose P.K, Kidwai M.K, Meenakshi. Brassica Juncea L.: A Potential Crop for Phytoremediation of Various Heavy Metals. In: Singh, R.P., Singh, P., Srivastava, A. (eds) Heavy Metal Toxicity: Environmental Concerns, Remediation and Opportunities. Springer, Singapore. 2023.
11. Chen L, Yang J.Y, Wang D. Phytoremediation of uranium and cadmium contaminated soils by sunflower (Helianthus annuus L.) enhanced with biodegradable chelating agents. J. Clean Prod. 2020;263:121491.
12. Wei S, Zhou Q, Wang X, Zhang K, Guo G, Ma L. Q. A newly-discovered Cd-hyperaccumulator Solatium nigrum L. Chin Sci Bull. 2005;50:33–38.
13. Xia H, Liang D, Chen F, Liao M, Lin L, Tang Y, Lv X, Li H, Wang Z, Wang X, Wang J, Liu L, Ren W. Effects of mutual intercropping on cadmium accumulation by the accumulator plants Conyza canadensis, Cardamine hirsuta, and Cerastium glomeratum. Int J Phytoremediation. 2018;20:855-861.
14. Xie H.Y, Hu J.S, Yin J, Ding D.X. Plant composition in certain uranium tailings area in china and their accumulation on uranium. Yuanzineng Kexue Jishu/Atomic Energy Science and Technology. 2014;48:1954-1959.
15. Yu S, Sheng L, Mao H, Huang X, Luo L, Li Y. Physiological response of Conyza Canadensis to cadmium stress monitored by Fourier transform infrared spectroscopy and cadmium accumulation. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc. 2020;229:118007.
16. Campos-M M, Campos-C R. Applications of quartering method in soils and foods. IJERA. 2017;7:35-39.
17. Chang P, Kim K.W, Yoshida S, Kim S.Y. Uranium accumulation of crop plants enhanced by citric acid. Environ Geochem Health. 2005;27:529–538.
18. McIntyre T. Phytoremediation of Heavy Metals from Soils. In: TNScheper, D.T. Tsao (Eds.), Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology. New York: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 2003;97-123.
19. Kadkhodaie A, Kelich S, Baghbani A. Effects of Salinity Levels on Heavy Metals (Cd, Pb and Ni) Absorption by Sunflower and Sudangrass Plants. Bull. Env. Pharmacol. Life Scien. 2012;1:47-53.

COPYRIGHTS
©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

استناد به این مقاله
ذوالقدری، سمانه، نبی‌پور چاکلی، علی، حسین پور، حمزه، یوسف‌نیا، حسن، شیری یکتا، زهرا. (۱۴۰۴). گیاه پالایی و حذف اورانیم از خاک توسط گیاه شیخ *بهار* (*Conyza canadensis (L) Cronq*). مجله علوم، مهندسی و فناوری هسته‌ای، ۱۱۱(۱)، ۱۲۸-۱۳۵. **DOI:** https://doi.org/10.24200/nst.2024.1546.2008
Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1659.html