

بررسی کارایی گیاهان گندم و آفتاب گردان در گیاه پالایی خاک های آلوده به رادیوم

سیده گلشن حسینی^۱، مصطفی رحیم نژاد^{۱*}، اصغر صدیق زاده^۲، رزان زختاره^۱

۱- گروه بیوتکنولوژی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

۲- مرکز تحقیقات گداحت هسته ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: rahimnejad@nit.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۰۵

چکیده

توسعه ی فناوری هسته ای، استخراج از معادن، چرخه ی سوخت هسته ای و عملیات نظامی از مهمترین دلایل ورود رادیونوکلئیدها به محیط زیست محسوب می شوند. انتقال رادیونوکلئیدهای خاک به زنجیره ی غذایی در درازمدت تهدید بزرگی برای سلامت انسان به شمار می رود. بنابراین، حذف این آلاینده ها از خاک از اهمیت بسزایی برخوردار است. گیاه پالایی، روشی ساده و اقتصادی است که از گیاهان سبز برای کاهش یا حذف انواع آلاینده های خاک استفاده می کند. این فناوری، بسیار کاربردی و دوستدار محیط زیست است. در این مطالعه از گیاهان گندم و آفتاب گردان به منظور حذف رادیوم از خاک های مناطق معدنی ساغند و بندرعباس استفاده شد. به علاوه، اثر غلظت های مختلف اسید سیتریک بر میزان دسترس پذیری گیاهان به این عنصر مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی، آفتاب گردان در جذب رادیوم از خاک ساغند عملکرد بهتری داشت. در مورد خاک بندرعباس نیز مقدار رادیوم جذب شده توسط گیاه آفتاب گردان بیشتر بود؛ اما تفاوت بیشتری در میزان جذب رادیوم در غلظت های مختلف اسید سیتریک در گیاه گندم مشاهده شد.

کلمات کلیدی

فناوری هسته ای، رادیونوکلئیدها، محیط زیست، گیاه پالایی، آلاینده های خاک

Evaluation of Wheat and Sunflower Plants Efficiency in Phytoremediation of Radium Contaminated Soils

Seyedeh Golshan Hoseini¹, Mostafa Rahimnejad^{1*}, Asghar Sadighzadeh², Rosan Zokhtareh¹

1. Department of Biotechnology, Faculty of Chemical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

2. Nuclear Fusion Research Center, Atomic Energy Organization, Tehran, Iran

* Email Address: rahimnejad@nit.ac.ir

Abstract

Development of nuclear technology, mining, nuclear fuel cycle, and military operations are the most important reasons of radionuclides entrance to the environment. Transmission of soil radionuclides into the food chain is a major threat to human health in the long term. Therefore, removing these pollutants from the soil is extremely important. Phytoremediation is a simple and economical method that uses green plants to reduce or eliminate different types of soil pollutants. This technology is very practical and environmentally friendly. In this study wheat and sunflower plants were used to remove radium from soils of Saghand and Bandar Abbas mine's districts. Moreover, the effect of different concentrations of citric acid on the accessibility of plants to this element was investigated. In general, sunflower had better efficiency in radium absorption from soil of Saghand. In the case of Bandar Abbas soil, the amount of absorbed radium was more using sunflower plant, but more differences were observed in radium absorption by wheat plant at different concentrations of citric acid.

Keywords

Nuclear technology, Radionuclides, Phytoremediation, Green plants, Soil pollutants

از ابتدای پیدایش کره‌ی زمین مواد پرتوزا به‌طور طبیعی در سرتاسر آن وجود داشته‌اند؛ اما آزمایش‌های هسته‌ای، حوادث غیرمترقبه در نیروگاه‌های هسته‌ای، استفاده از کودهای فسفردار، استخراج از معادن و تولید سلاح‌های هسته‌ای از جمله عوامل افزایش غلظت این مواد در محیط زیست به‌شمار می‌روند (Alshahri, 2016; Dubchak and Bondar, 2019). اورانیوم (U)، روییدیوم (Rb)، توریم (Th)، رادیوم (Ra)، پلوتونیم (Pu)، سزیم (Cs)، استرانسیم (Sr) و نپتونیم (Np) برخی از رادیونوکلیدهای آلاینده‌ی محیط زیست هستند که قرار گرفتن در معرض آن‌ها می‌تواند به نقص‌های ژنتیکی، ناباروری، اختلالات عصبی و ابتلا به سرطان‌های مختلف منجر شود (Das, 2012; Masok et al., 2016; Gbadamosi et al., 2018). رادیوم، رادیونوکلیدی است که به‌صورت ۴ ایزوتوپ ^{226}Ra ، ^{224}Ra ، ^{223}Ra و ^{228}Ra در محیط وجود دارد. ^{226}Ra با نیمه‌عمر ۱۶۰۰ سال، حاصل واپاشی ^{238}U و مهم‌ترین ایزوتوپ پرتوزای رادیوم است. این عنصر به‌طور طبیعی در آب و خاک وجود دارد و با تجمع در گیاهان و جانوران، از طریق زنجیره‌ی غذایی به بدن انسان راه پیدا می‌کند. میزان جذب رادیوم در بدن به عوامل مختلفی مانند سن، وزن، جنسیت و فعالیت متابولیکی بستگی دارد. رادیوم، عنصری دو ظرفیتی است و مسیر متابولیکی آن در بدن مشابه کلسیم است؛ به‌همین دلیل پس از ورود به بدن، بخش زیادی از آن جذب جریان خون می‌شود و در استخوان‌ها تجمع پیدا می‌کند. مغز استخوان بسیار به پرتوگیری حساس است و پرتوزایی طولانی‌مدت رادیوم می‌تواند به ایجاد سرطان خون و استخوان منجر شود (Gupta et al., 2019; Abbasi and Mirekhtari, 2016). آلودگی خاک توسط رادیونوکلیدها به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است که برای برطرف کردن آن باید به روش‌های مؤثر متوسل شد. گیاه‌پالایی^۲ روشی کارآمد، ارزان و دوست‌دار محیط زیست است که از گیاهان برای سم‌زدایی و حذف آلاینده‌های آلی و معدنی خاک استفاده می‌کند (Ullah et al., 2015; Wang et al., 2017). در این روش، آلاینده‌ها توسط گیاهان جذب شده و پس از برداشت گیاهان، از خاک زوده می‌شوند. انتخاب گیاه مناسب در فرایند گیاه‌پالایی به شرایط محیطی، نوع و میزان آلودگی، نوع خاک، میزان تحمل گیاه در برابر آلاینده و توانایی سیستم آوندی در انتقال آلاینده‌ها بستگی دارد (Mahar et al., 2016; Alsabbagh and Abuqudaira, 2017; Sarwar et al., 2017; Sha et al., 2019). باتوجه به مطالعات مختلف مشخص شده است که اضافه‌کردن ترکیبات شلاته‌کننده نظیر اسیدهای آلی به خاک، از تشکیل رسوب یا جذب سطحی آلاینده‌ها جلوگیری می‌کند و مقدار جذب آن‌ها به‌وسیله‌ی گیاهان را افزایش می‌دهد (Wiszniewska et al., 2016; Chen et al., 2018). در این پژوهش، باتوجه به ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه، رشد سریع گندم و مقاوم بودن آفتاب‌گردان در برابر شوری از این گیاهان در فرایند گیاه‌پالایی استفاده شد. به‌علاوه، از آنجایی که pH اسیدی موجب افزایش دسترس‌پذیری

خاک به رادیونوکلیدها می‌شود (Machekposhti et al., 2017; Zhang et al., 2017)، غلظت‌های متفاوت اسید سیتریک جهت بررسی روند و میزان جذب رادیونوکلیدها به‌وسیله‌ی گیاهان مورد استفاده قرار گرفت.

۲- روش انجام تحقیق

• مواد و تجهیزات

اسید سیتریک ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) اسید نیتریک (HNO_3) و اسید کلریدریک (HCL) از شرکت مرک^۴ (آلمان) تهیه شدند. هیدروژن پراکسید (H_2O_2) با خلوص ۳۰ درصد از شرکت کارلو اربا^۵ (ایتالیا)، Optiphase Hisafe 3 از شرکت پیرکین المیر^۶ (آمریکا) و کود NPK 20 20 20 از شرکت ایدروپلنت^۷ (ایتالیا) خریداری شدند. نمونه‌های خاک از آنومالی منطقه‌ی یک معدنی ساغند در نزدیکی شهر یزد و بلوک ۱۰۵ منطقه‌ی معدنی بندرعباس جمع‌آوری شده و مقداری خاک گلدان نیز از گل‌فروشی تهیه شد. تجهیزات به‌کاررفته در این پژوهش نیز عبارت بودند از: pH متر مدل FE20/EL20 ساخت کشور سوئیس، ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم مدل GR300 ساخت کشور ژاپن، همزن مغناطیسی مدل MS-S، همزن مغناطیسی همراه با گرم‌کن مدل MS-H-S و آن مدل UNB-400 ساخت کشور آلمان، حمام آب مدل NB-301 ساخت کشور کروی جنوبی، سانتریفیوژ مدل VS-24SMTi ساخت کشور کره، کوره مدل LEF-203P/LEF-205P/LEF-215P /LEF-230P ساخت کشور آمریکا، دستگاه طیف‌سنجی فلوروسانس اشعه‌ی ایکس^۸ مدل ED2000 ساخت کشور انگلستان، دستگاه شمارنده‌ی سنتیلاسیون مایع^۹ و دستگاه طیف‌سنجی نشر اتمی با پلاسما جفت-شده‌ی القایی^{۱۰}.

• آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های خاک

باتوجه به بافت سنگی خاک‌های ساغند و بندرعباس، از دستگاه سنگ-شکن برای انجام آزمایش‌ها استفاده شده و در نهایت مخلوطی از خاک پودری، سنگ‌های ۲۰ میلی‌متری و سنگ‌های کمتر از ۱۰ میلی‌متری حاصل شد. برای تعیین pH خاک ابتدا ۱۵ ml آب مقطر به ۱۵ g خاک اضافه شده و این ترکیب به مدت ۳۰ دقیقه با استفاده از همزن مغناطیسی هم زده شد. سپس به‌منظور حل شدن کامل املاح و توزیع یکنواخت آنیون‌ها و کاتیون‌ها، مخلوط حاصل به مدت ۲۴ ساعت کنار گذاشته شد. پس از آن، pH خاک با قراردادن پروب^{۱۱} pH متر داخل گل اشباع، اندازه‌گیری شد. اجزای تشکیل‌دهنده‌ی خاک نیز با استفاده از آنالیز XRF تعیین شدند. همچنین جهت مشخص کردن ویژگی‌هایی مانند درصد مواد آلی^{۱۲}، قابلیت هدایت الکتریکی^{۱۳} و برخی از

⁴ Merck

⁵ Carlo Erba

⁶ PerkinElmer

⁷ Idroplant

⁸ X-ray fluorescence (XRF)

⁹ liquid scintillation counter (LSC)

¹⁰ Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES)

¹¹ Probe

¹² Organic matter (O.M)

¹³ Electric conductivity (EC)

¹ Radionuclides

² Decay

³ Phytoremediation

آنیون‌ها و کاتیون‌ها، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه خاک انتقال داده شدند.

• کشت گلخانه‌ای و آماده کردن گیاهان برای آنالیز

برای کاشتن گیاهان از خاک‌های ساغند و بندرباس و همچنین خاک گلدانی به‌عنوان نمونه‌ی شاهد استفاده شد. در ۸ گلدان حاوی خاک ساغند بذر گندم و در ۸ گلدان بذر آفتاب‌گردان در عمق ۲۰ میلی‌متری خاک کاشته شدند. همین روند برای خاک بندرباس انجام شد. همچنین، در ۲ گلدان حاوی خاک گلدانی بذر گندم و در ۲ گلدان بذر آفتاب‌گردان کاشته شد و گلدان‌ها تا زمان جوانه‌زدن هرروز آبیاری شدند. ۳ عدد لامپ برای شبیه‌سازی نور خورشید و افزایش رشد گیاهان مورد استفاده قرار گرفتند و گلدان‌ها به‌صورت تصادفی زیر لامپ‌ها قرار داده شدند تا سهم گیاهان مشابه از نور یکسان نباشد. پس از جوانه‌زدن، لامپ‌ها ۱۸ ساعت در روز (از ۲ بعدازظهر تا ۸ صبح) روشن بودند و آبیاری هر دو روز یک بار انجام شد. همچنین با توجه به اثر مثبت کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار بر رشد گیاه و تجمع رادیونوکلیدها، هر ۱۵ روز کود NPK 20 20 20 به خاک گلدان‌ها اضافه شد. سپس، رشد گیاهان به‌صورت هفتگی بررسی شده و ۱ ماه پس از رشد گیاهان گندم و آفتاب‌گردان، ۱۰۰ ml اسید سیتریک با غلظت‌های ۰/۵، ۲/۵ و ۱۲/۵ M به‌ازای هر کیلوگرم خاک به هر دو عدد از گلدان‌ها افزوده شد. به گلدان‌های باقی‌مانده اسید افزوده نشد تا تاثیر اسید سیتریک در افزایش دسترس‌پذیری گیاهان به رادیوم و در نتیجه افزایش جذب آن مشخص شود. برداشت گیاهان پس از ۱ هفته انجام شد و همه‌ی آزمایش‌ها ۲ بار تکرار شدند. پس از خروج گیاهان از گلدان و جداسازی تمام سنگ‌ها و اجزای درشت خاک از آن‌ها، جهت پاکسازی کامل و زدودن گل‌ولای باقی‌مانده، ریشه‌ها و ساقه‌ها دو بار با آب شسته شدند. گیاهان به‌مدت ۲ روز در محیط آزمایشگاه خشک شده و سپس به‌مدت ۱ ساعت داخل آون قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها از طریق اندازه‌گیری اختلاف وزن‌شان قبل و بعد از قرارگرفتن در آون، تعیین شد. جهت انجام مراحل بعدی آزمایش‌ها، گیاهان به‌مدت ۳ ساعت در دمای ۵۵۰ °C در کوره حرارت داده شدند تا کاملاً به خاکستر تبدیل شوند.

• هضم اسیدی گیاهان برای انجام آنالیز سنتیالاسیون

ماب

ابتدا، ۱ mg از خاکستر هر گیاه در ۲۰ ml از مخلوط اسید کلریدریک و اسید نیتریک با نسبت ۳ به ۱ (حجمی/حجمی) حل شد. جهت هضم بهتر، بشر حاوی محلول به‌مدت ۱ ساعت توسط همزن مغناطیسی همراه با گرم‌کن با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه حرارت داده شد. سپس، محلول حاصل به‌وسیله‌ی کاغذ صافی فیلتر شده و برای عبور کامل محلول، دیواره‌ی کاغذ با مخلوطی از آب مقطر و چند قطره اسیدکلریدریک شست‌وشو داده شد. درنهایت، کاغذ صافی در ۲۰ ml از مخلوط اسید کلریدریک و اسید نیتریک با نسبت ۳ به ۱ (حجمی/حجمی) حل شده و به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول بالایی حاصل از سانتریفیوژ با محلول قبلی مخلوط شد و محلول نهایی با استفاده از گرم‌کن حرارت داده شد تا اسید آن تبخیر شود. پس از تبخیر اسید و کاهش حجم محلول به ۵ ml از هیدروژن پراکسید برای ازبین بردن رنگ نمونه استفاده شد.

سپس، Optiphase Hisafe 3 به‌میزانی به نمونه افزوده شده و هم زده شد تا درنهایت محلول شفاف سفیدرنگی حاصل شود. ایجاد توانایی عبوردادن نور تابیده‌شده توسط دستگاه LSC در محلول و تشخیص طول موج‌ها و در نتیجه غلظت مواد ازجمله دلایل استفاده از این ماده بودند.

۳- نتایج

• ارزیابی ویژگی‌های خاک

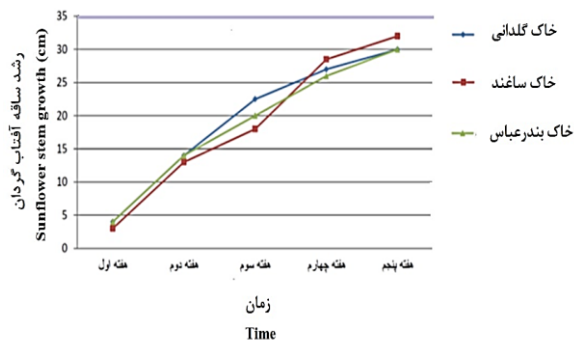
نتایج حاصل از بررسی برخی از ویژگی‌های نمونه خاک‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ قابل مشاهده است. همان‌گونه که مشخص است، pH و رسانایی الکتریکی خاک‌های ساغند و بندرباس به‌ترتیب برابر با ۹ و ۸/۸ و ۳/۴ و ۷/۵ dS/m است. سولفات‌ها، آنیون‌های غالب در هر دو نمونه خاک‌های ساغند و بندرباس و سدیم و کلسیم کاتیون‌های غالب هستند. علی‌رغم تعیین نشدن آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات در نمونه‌ها، باتوجه به بیشتر بودن pH از ۸/۲ چنین به‌نظر می‌رسد که خاک‌ها حاوی کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها هستند. در این حالت، کربنات‌ها و سدیم موجود در خاک با یکدیگر ترکیب شده و نمک سدیم کربنات تولید می‌کنند. این مسأله نشان‌دهنده‌ی قلیایی و سدیک^۱ بودن خاک‌ها است. یکی از ویژگی‌های بارز این نوع خاک‌ها پراکنده بودن ذرات خاک است که به ترک‌خوردن آن به‌خصوص پس از آبیاری منجر می‌شود. همچنین، سدیک بودن خاک بر شکل و ساختار فیزیکی آن اثر می‌گذارد و بافت سخت و سنگی خاک بر سدیمی بودن آن دلالت دارد. به‌طور کلی، در خاک‌های سدیک کمبود عناصر ضروری برای رشد گیاه مانند پتاسیم، فسفر و نیتروژن وجود دارد. به‌علاوه باتوجه به جدول ۱، کمبود مواد آلی در هر دو نمونه خاک مشاهده می‌شود. بنابراین، استفاده از کودهای مناسب جهت بهبود خصوصیات این خاک‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

ویژگی	خاک انومالی یک ساغند	خاک بلوک ۱۰۵ بندرباس
pH	۹	۸/۸
EC (dS/m)	۳/۴	۷/۵
O.M (%)	۰/۵	۰/۳
Mg ²⁺ (mg/kg)	۳۶۰	۱۴۴
Ca ²⁺ (mg/kg)	۱۸۰۰	۳۰۰۰
SO ₄ ²⁻ (mg/kg)	۷۰۰۰	۱۱۰۰۰
Cl ⁻ (mg/kg)	۹۴۰	۹۰۵
Ba (mg/kg)	۱۱۵	-
Cr (mg/kg)	۵۲۲	-
Co (mg/kg)	۱۶۸	-
Ni (mg/kg)	۴۴۶	-
U (mg/kg)	۴۵۰	۸۰۰
Th (mg/kg)	۴۹	-
Sr (mg/kg)	۱۲۲	-
Ra (mg/kg)	۱۵۰	۲۱۵

• رشد گیاهان

^۱ Sodick



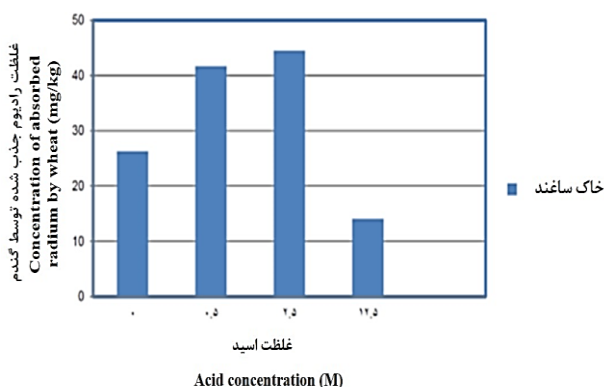
شکل ۲- مراحل رشد گیاه آفتاب گردان

• آنالیز سنتیلاسیون مایع

در این قسمت، مقدار جذب رادیوم از خاک‌های ساغند و بندرعباس توسط گیاهان گندم و آفتاب گردان و اثر اسید سیتریک بر افزایش جذب این عنصر از خاک بررسی شده است.

• گیاه گندم

شکل ۳ مقدار رادیوم جذب شده از خاک ساغند توسط گیاه گندم را نشان می‌دهد. باتوجه به شکل مشخص است که اسید سیتریک در افزایش جذب رادیوم از خاک با استفاده از این گیاه تأثیر بسزایی داشته است. همان گونه که مشاهده می‌شود در غلظت $M \ 2/5$ اسید سیتریک، میزان جذب رادیوم به حداکثر مقدار خود می‌رسد ($44/52 \text{ mg/kg}$) و پس از آن با افزایش غلظت اسید به $M \ 12/5$ ، میزان جذب کاهش می‌یابد ($14/07 \text{ mg/kg}$). بنابراین، یک مقدار بهینه برای غلظت اسید سیتریک وجود دارد و لزوماً افزایش غلظت آن موجب افزایش جذب عنصر رادیوم از خاک نمی‌شود.



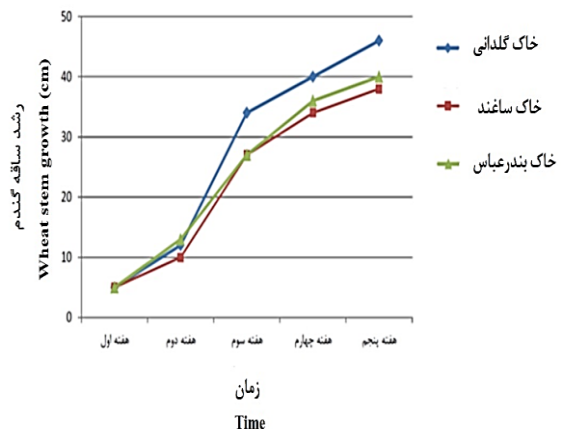
شکل ۳- مقدار رادیوم جذب شده از خاک ساغند توسط گیاه گندم در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک

در مورد خاک بندرعباس نیز همان طور که در شکل ۴ مشخص است، مانند خاک ساغند میزان جذب رادیوم از خاک توسط گیاه گندم با افزایش غلظت اسید سیتریک به $M \ 2/5$ به حداکثر مقدار خود می‌رسد ($42/68 \text{ mg/kg}$) و با افزایش غلظت اسید به $M \ 12/5$ میزان جذب کاهش پیدا می‌کند و تقریباً با شرایط عدم استفاده از اسید برابر می‌شود.

روند رشد گیاهان گندم و آفتاب گردان در نمونه خاک‌های ساغند، بندرعباس و گلدانی طی ۵ هفته بررسی شد و نتایج حاصل در ادامه بیان شده است.

• رشد گندم

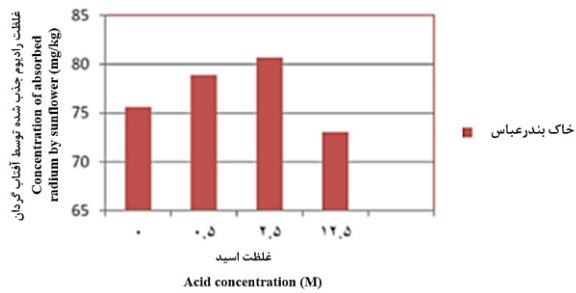
در شکل ۱ روند رشد گیاه گندم در مدت زمان انجام آزمایش‌ها به تصویر کشیده شده است. باتوجه به شکل مشخص است که رشد گندم در خاک بندرعباس اندکی بیشتر از خاک ساغند است و در خاک گلدانی نیز پس از هفته‌ی دوم رشد قابل توجهی درمقایسه با دو نمونه‌ی دیگر دارد. این نتیجه آشکار می‌کند که حضور رادیوم در خاک موجب کاهش رشد گیاه می‌شود؛ اما افزایش یا کاهش غلظت آن چندان بر رشد گیاه اثرگذار نیست. به دلیل ویژگی‌ها و آلودگی نمونه‌های خاک و همچنین شرایط محیطی آزمایشگاه نظیر دما و زاویه تابش نور، گیاه پس از گذشت ۱ ماه رشد مناسبی نداشت.



شکل ۱- مراحل رشد گیاه گندم

• رشد آفتاب گردان

در شکل ۲ مراحل رشد گیاه آفتاب گردان نمایش داده شده است. باتوجه به شکل مشاهده می‌شود که میزان رشد این گیاه در خاک‌های ساغند و بندرعباس تا اواخر هفته‌ی سوم تقریباً مساوی است و آفتاب گردان نیز مانند گندم پس از هفته‌ی دوم در خاک گلدانی رشد قابل توجهی درمقایسه با خاک‌های ساغند و بندرعباس پیدا می‌کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که رشد آفتاب گردان نیز در اثر حضور رادیوم در خاک کاهش پیدا می‌کند. پس از افزودن اسید سیتریک به نمونه‌های خاک در تمام غلظت‌ها، رشد آفتاب گردان در خاک ساغند در قیاس با خاک بندرعباس سیر صعودی پیدا کرد که این امر اثر منفی اسید بر رشد این گیاه در خاک بندرعباس را آشکار می‌کند. همچنین بعد از گذشت ۱ ماه، آلوده بودن خاک به مواد رادیواکتیو و فلزات سنگین موجب کاهش عناصر ضروری برای رشد گیاه شده و رشد آفتاب گردان در خاک‌های ساغند و بندرعباس با مشکل روبرو شد.

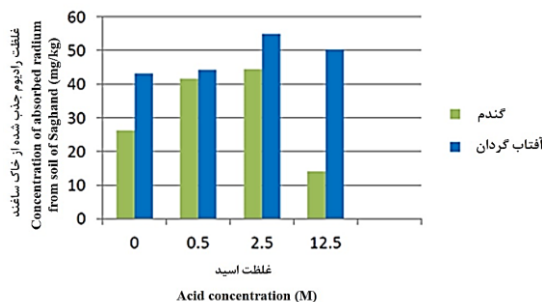


شکل ۶- مقدار رادیوم جذب شده از خاک بندرعباس توسط گیاه آفتاب-گردان در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک

باتوجه به نمودارهای مربوط به اثر اسید سیتریک بر میزان جذب رادیوم از خاک‌های ساغند و بندرعباس به وسیله گیاه گندم و آفتاب گردان مشاهده می شود که این اسید در غلظت‌های بالا برای این دو گیاه سمی است و موجب ایجاد اختلال در روند رشد و پژمرده شدن آن‌ها و در نتیجه کاهش مقدار جذب می شود.

• مقایسه‌ی توانایی گیاهان در جذب رادیوم از خاک ساغند

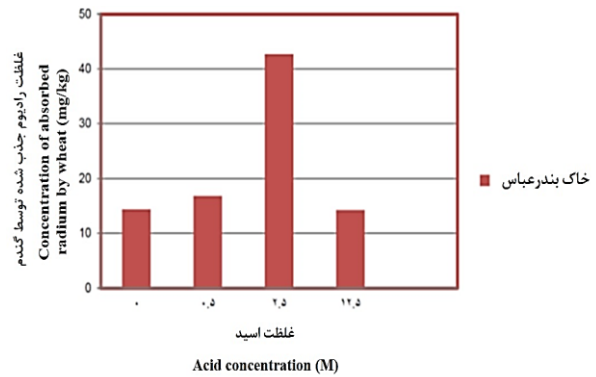
باتوجه به شکل ۷ مشخص است که گیاه آفتاب گردان در مقایسه با گندم عملکرد بهتری در جذب رادیوم از خاک ساغند دارد. این نتیجه تحت شرایط استفاده و عدم استفاده از اسید سیتریک صادق است. افزودن اسید به خاک میزان جذب رادیوم توسط هر دو گیاه را افزایش می دهد؛ اما اثر آن در گیاه آفتاب گردان بیشتر است. به ویژه در غلظت ۱۲/۵ M، میزان جذب گندم و آفتاب گردان بیشترین تفاوت را دارد که به احتمال قوی دلیل این امر سمیت بیشتر غلظت‌های بالاتر اسید سیتریک برای گیاه گندم است.



شکل ۷- مقایسه‌ی مقدار رادیوم جذب شده از خاک ساغند توسط گیاهان گندم و آفتاب گردان در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک

• مقایسه‌ی توانایی گیاهان در جذب رادیوم از خاک بندرعباس

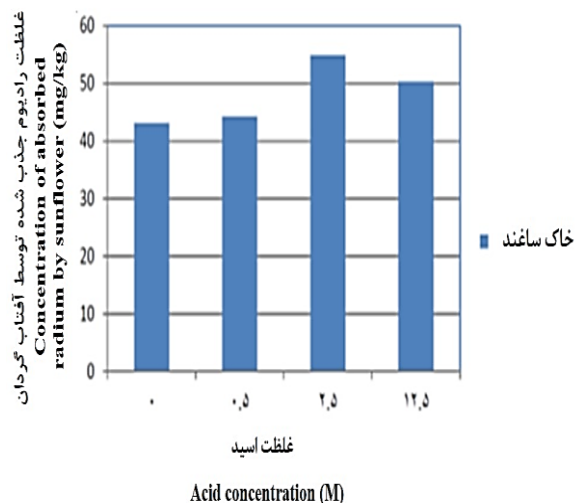
باتوجه به شکل ۸ مشخص است که توانایی گیاه آفتاب گردان در جذب رادیوم از خاک بندرعباس در تمام حالت‌ها به طور چشم گیری بیشتر از گیاه گندم است؛ اما تفاوت در میزان جذب رادیوم در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک در گیاه گندم بیشتر است. مقدار بهینه‌ی اسید برای هر دو گونه‌ی گیاهی ۲/۵ M است و غلظت‌های بالاتر از آن برای هر دو گیاه سمی است.



شکل ۸- مقدار رادیوم جذب شده از خاک بندرعباس توسط گیاه گندم در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک

• گیاه آفتاب گردان

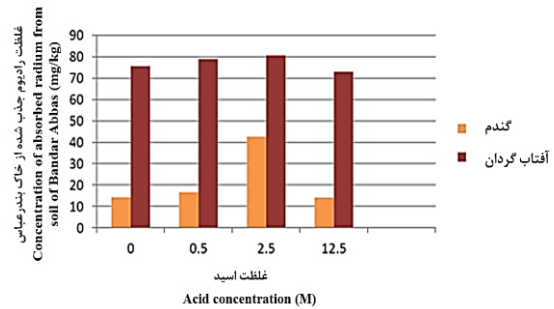
شکل ۵ نتایج مربوط به جذب رادیوم از خاک ساغند توسط گیاه آفتاب گردان را نشان می دهد. همان طور که مشخص است، با افزایش غلظت اسید سیتریک از ۰/۵ تا ۲/۵ M، میزان جذب رادیوم از ۴۴/۲۷ تا ۵۴/۹۵ mg/kg افزایش می یابد و پس از آن افزایش غلظت اسید تا ۱۲/۵ M میزان جذب را تا ۵۰/۳۵ mg/kg کاهش می دهد. بنابراین، مقدار بهینه‌ی اسید سیتریک برای جذب رادیوم از خاک ساغند با استفاده از آفتاب گردان ۲/۵ M است.



شکل ۵- مقدار رادیوم جذب شده از خاک ساغند توسط گیاه آفتاب گردان در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک

باتوجه به شکل ۶ مشخص می شود که دسترس پذیری گیاه آفتاب گردان به رادیوم موجود در خاک بندرعباس با افزایش غلظت اسید سیتریک از ۰/۵ به ۲/۵ M افزایش پیدا می کند و به حداکثر مقدار جذب ۷۳/۰۵۸ mg/kg می رسد؛ اما پس رسیدن غلظت اسید به ۱۲/۵ M، میزان جذب رادیوم تا ۷۳/۰۵۸ mg/kg کاهش می یابد و حتی به کمتر از مقدار جذب در حالت عدم استفاده از اسید می رسد.

این پژوهش، با کاشت گیاهان گندم و آفتابگردان در خاک‌های آنومالی منطقه‌ی یک ساغند و بلوک ۱۰۵ منطقه‌ی معدنی بندرعباس مشخص شد که این دو گیاه قابلیت رشد در این خاک‌ها و جذب رادیوم را دارند. باتوجه به نتایج حاصل از آنالیز خاک مشخص شد که pH و رسانایی الکتریکی خاک‌های ساغند و بندرعباس به ترتیب برابر با ۹ و ۸/۸ و ۳/۴ و $7/5 \text{ dS/m}$ است و کلسیم و سدیم کاتیون‌های غالب در هر دو نمونه خاک و سولفات‌ها آنیون غالب هستند. همچنین مقدار ماده‌ی آلی گزارش شده در هر دو نمونه خاک، نشان‌دهنده‌ی کمبود مواد آلی در خاک‌ها بود. رشد گیاهان به مدت ۵ هفته مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که رشد گندم در خاک گلدانی بیشتر از خاک‌های ساغند و بندرعباس است. این نتیجه نشان می‌دهد که رشد گیاه تحت تأثیر حضور رادیوم در خاک کاهش می‌یابد. رشد گیاه آفتابگردان نیز در اثر حضور رادیوم در خاک کاهش یافت. به علاوه برای افزایش میزان جذب این عنصر به وسیله‌ی گیاهان، اسید سیتریک در غلظت‌های مختلف به نمونه‌های خاک افزوده شد. مطابق با نتایج حاصل، میزان جذب رادیوم از خاک ساغند توسط آفتابگردان پیش و پس از افزودن اسید بیشتر از گندم بود. همچنین، مقدار رادیوم جذب شده از خاک بندرعباس توسط گیاه آفتابگردان بیشتر بود؛ اما در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک، در گیاه گندم تفاوت بیشتری در میزان جذب رادیوم قبل و بعد از افزودن اسید مشاهده شد.



شکل ۸- مقایسه‌ی مقدار رادیوم جذب شده از خاک بندرعباس توسط گیاهان گندم و آفتابگردان در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک

۴- نتیجه‌گیری

آلودگی خاک، تهدیدی نگران کننده برای حاصل خیزی خاک، ایمنی مواد غذایی و سلامت انسان است که کنترل و کاهش آن به ارائه‌ی راهکاری مطمئن و کارآمد نیازمند است. گیاه‌پالایی یک روش زیستی ساده و مقرون به صرفه است که از قابلیت حذف طیف وسیعی از آلاینده‌های آلی و معدنی با استفاده از گیاهان سبز برخوردار است. این روش کاملاً با محیط زیست سازگار و برای پاکسازی سطوح وسیع مناسب است. در

منابع

- Abbasi, A., et al. 2019. Lifetime risk assessment of Radium-226 in drinking water samples, International Journal of Radiation Research, Vol. 17, P. 163-169.
- Alsabbagh, A. H., et al. 2017. Phytoremediation of Jordanian uranium-rich soil using Sunflower, Water, Air, & Soil Pollution, Vol. 228, P. 219.
- Alshahri, F. 2016. Evaluation of radionuclides contamination in wheat flour and bread using gamma-ray spectrometry, Life Science Journal, Vol. 13 P. 34-42.
- Chen, H., et al. 2018. The effect of low-molecular-weight organic-acids (LMWOAs) on treatment of chromium-contaminated soils by compost-phytoremediation: Kinetics of the chromium release and fractionation, Journal of Environmental Sciences, Vol. 70, P. 45-53.
- Das, N. 2012. Remediation of radionuclide pollutants through biosorption—an overview, CLEAN—Soil, Air, Water, Vol. 40, P. 16-23.
- Dubchak, S., et al. 2019. Bioremediation and phytoremediation: Best approach for rehabilitation of soils for future use. In Remediation measures for radioactively contaminated areas, Springer, P. 201-221
- Gbadamosi, M., et al. 2018. Distribution of radionuclides and heavy metals in the bituminous sand deposit in Ogun State, Nigeria—a multi-dimensional pollution, health and radiological risk assessment, Journal of Geochemical Exploration, Vol. 190, P. 187-199.
- Gupta, D., et al. 2016. Radionuclides: accumulation and transport in plants, In Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Springer, Vol. 241, P. 139-160.
- Machekposhti, M. F., et al. 2017. Effect of irrigation with sea water on soil salinity and yield of oleic sunflower, Agricultural water management, Vol. 188, P. 69-78.
- Mahar, A., et al. 2016. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: a review, Ecotoxicology and environmental safety, Vol. 126, P. 111-121.
- Masok, F. B., et al. 2016. Health effects due to radionuclides content of solid minerals within port of Richards bay, South Africa, International journal of environmental research and public health, Vol. 13, P. 1180.
- Sarwar, N., et al. 2017. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives, Chemosphere, Vol. 171, P. 710-721.

- Sha, Y.-h., et al. 2019. Enhanced phytoremediation of uranium contaminated soil by artificially constructed plant community plots, *Journal of environmental radioactivity*, Vol. 208, P. 106036.
- Ullah, A., et al. 2015. Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: a review, *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 117, P. 28-40.
- Wang, L., et al. 2017. A review on in situ phytoremediation of mine tailings, *Chemosphere*, Vol. 184, P. 594-600.
- Wiszniewska, A., et al. 2016. Natural organic amendments for improved phytoremediation of polluted soils: a review of recent progress, *Pedosphere*, Vol. 26, P. 1-12.
- Zhang, H., et al. 2017. Alkalinity and salinity tolerance during seed germination and early seedling stages of three alfalfas (*Medicago sativa* L.) cultivars, *Legume Research: An International Journal*, Vol. 40, P. 853-858.