

مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20080891.1400.15.4.10.1

گیاه پالایی خاک آلوده به نیتروژن توسط گونه‌های *Atriplex lentiformis*، *Atriplex canescens* و *Atriplex leucoclada*سیده الهه حسینی^۱، ابوالفضل طهماسبی^{۲*}، مجتبی قره محمودلو^۳ و بهاره بهمنش^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

چکیده

در این پژوهش توانایی سه گونه مرتعی *Atriplex canescens*، *A. halimus* و *A. lentiformis* در حذف نیترات خاک در شرایط آزمایشگاهی (گلخانه) در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. بدین منظور از نمک نیترات پتاسیم (KNO_3) در چهار تیمار شاهد، غلظت ۶/۳ ppm، ۹/۵ ppm و ۱۴/۵ ppm در سه تکرار استفاده شد. گونه‌های گیاهی مورد استفاده در این پژوهش با سن تقریبی شش ماه از روستای چپر قویمه در شهرستان گنبد کاووس (استان گلستان) تهیه شدند. گونه‌های انتخابی در خاک‌های آلوده به نیترات با غلظت‌های ذکر شده کشت و بعد از سه و شش ماه مقدار وزن خشک و ازت در اندام هوایی و زیرزمینی گونه‌ها و میزان نیترات خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. همواره با افزایش غلظت نمک از ۶/۳ ppm به ۱۴/۵ ppm مقدار وزن خشک اندام هوایی در گونه کانی سنس از ۲۸/۳۱ ppm به ۱۴/۰۵ ppm، در گونه هالیموس از ۲۸/۸۳ ppm به ۱۱/۷۵ ppm و در گونه لنتی فورمیس از ۳۹/۱۷ ppm به ۱۶/۰۵ ppm کاهش پیدا کرده است. روند نزولی در مقدار وزن خشک اندام زیرزمینی گونه‌های مورد مطالعه نیز مشاهده شد، بصورتیکه با افزایش غلظت نمک از ۶/۳ ppm به ۱۴/۵ ppm مقدار وزن خشک اندام زیرزمینی در گونه کانی سنس از ۸/۳۱ ppm به ۵/۰۵ ppm، در گونه هالیموس از ۶/۸۳ ppm به ۴/۷۵ ppm و در گونه لنتی فورمیس از ۱۰/۱۷ ppm به ۶/۴۷ ppm کاهش یافته است. نتایج مطالعه نشان داد میزان حذف نیترات خاک در غلظت‌های مختلف در هر سه گونه کاهش یافته است. درصد راندمان حذف نیترات خاک توسط گونه کانی سنس در غلظت‌های ۶/۳ ppm، ۹/۵ ppm و ۱۴/۵ ppm به ترتیب ۷۱، ۵۲ و ۳۷ درصد می‌باشد و توسط گونه هالیموس به ترتیب ۶۲، ۴۵ و ۳۸ درصد گزارش می‌شود. اگرچه گونه لنتی فورمیس نیترات را با نرخ بیشتری از دو گونه دیگر به ترتیب با درصدهای ۸۰، ۶۴ و ۴۷ درصد از خاک حذف کرده است. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت این آلودگی در خاک، توان گیاه پالایی گونه‌های مورد مطالعه کاهش یافته است و گونه آتریپلکس لنتی فورمیس با ذخیره بالای ازت در بافت‌های خود نقش موثری در پاکسازی خاک‌های آلوده به نیترات دارد.

واژه‌های کلیدی: خاک آلوده، گونه مرتعی، گیاه پالایی، *Atriplex lentiformis*، *Atriplex halimus*، *Atriplex canescens*.

۱ - دانش آموخته کارشناسی ارشد مرتعداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

۲ - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

*: نویسنده مسئول: ab_tahmasebi@gonbad.ac.ir

۳ - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

مقدمه

آلودگی خاک با فلزات سنگین از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در بسیاری از نقاط جهان می‌باشد. اصلی‌ترین راه ورود فلزات سنگین به محیط از طریق فاضلاب‌های شهری، حشره‌کش‌ها، کوددهی، آبیاری با هرزآب‌ها، صنایع رنگ‌سازی، کارخانجات سیمان، لاستیک‌سازی، سوخت خودرو و صنایع ذوب فلز می‌باشد. کادمیوم از مهم‌ترین فلزات آلاینده محیط‌زیست است (۳۶، ۸، ۲۹ و ۱۹). گرایش کشاورزان به مصرف بیش از حد کودهای ازته که منجر به آبهویی نیترات اضافی به سمت آب‌های زیرزمینی در نهایت منجر به آلودگی منابع آبی شده است (۱۵). با توسعه سریع تکنولوژی‌های جدید، آلودگی خاک، آب و هوا از جمله مشکلات محیطی است. برخلاف آب و هوا، آلودگی خاک از نظر ترکیبات شیمیایی به راحتی قابل اندازه‌گیری نبوده و با توسعه طرح‌های متعدد و آلوده شدن خاک به وسیله فلزات سنگین ساختار خاک برای رشد و توسعه گیاهان مسموم و خطرناک می‌شود و تنوع زیستی خاک را به هم می‌زند (۲۰). انواع روش‌های فیزیکی و شیمیایی به منظور پاکسازی محیط‌زیست از انواع آلاینده‌ها، ابداع و به کار گرفته شده‌اند که با توجه به هزینه‌های گزاف آن‌ها تلاش برای دستیابی به روش‌های ارزان‌تر و آسان‌تر صورت گرفته است، گیاه‌پالایی از جمله این فناوری‌ها است که طی آن، آلاینده‌ها از طریق تجزیه مستقیم، پالایش غیرمستقیم با حمایت جمعیت‌های میکروبی و جذب از خاک یا آب و تغلیظ در ناحیه ریشه یا بافت گیاه تصفیه و پاکسازی می‌شوند (۲۱). دلیل اصلی استفاده از این فناوری پاکسازی آلاینده‌ها از محیط و تبدیل آن‌ها به فرم‌هایی که به آسانی قابل عصاره‌گیری هستند (بافت‌های گیاهی) می‌باشد. تکنیک گیاه‌پالایی که شامل جذب، تجمع، تغییر شکل و یا تصعید آلاینده‌ها با کمک گیاهان برای از بین بردن آلودگی‌های آب، خاک و هوا بکار برده می‌شود. این روش را برای پاکسازی آلودگی‌های نفتی نیز استفاده می‌کنند. گیاه‌پالایی با بکارگیری از مهندسی گیاهان سبز شامل گونه‌های علفی و چوبی برای زدودن مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش خطرات آلاینده‌های محیط‌زیستی مانند عناصر کمیاب، فلزات سنگین و مواد رادیواکتیو به کار برده می‌شود (۱۶).

مهم‌ترین عوامل در یک گیاه‌پالایی موفق به عنوان یکی از فناوری‌های نوین در پاکسازی محیط‌زیست شامل توانایی حذف فلزات در خاک، توانایی گیاه در جذب، انتقال و تجمع فلزات سنگین در اندام‌ها و ریشه گیاه و فعل و انفعالات میکروبی گیاهی می‌باشد. متأسفانه بنظر می‌رسد، هنوز اطلاعات بسیاری در مورد فرآیندهای موثر در نحوه رفع آلودگی ناشناخته باقی مانده است و مکانیسم‌های اساسی بیولوژیکی رفع آلودگی گیاه هنوز می‌تواند به عنوان هدف گیاه‌پالایی خاک مدنظر قرار گیرد که قدرت جذب بالا، تولید زیست‌توده بالا و انتقال زیاد عنصر از ریشه به ساقه را دارا باشد (۳۱، ۶ و ۳۷). گیاهان خانواده اسفنجیان با قدرت سازگاری بالا در شرایط سخت در مناطق بیابانی جهان پراکنده‌اند. یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده اسفنجیان جنس آتریپلکس است. تولید علوفه، خوشخو راکی، ارزش غذایی فراوان و سرسبز بودن در بیشتر ایام سال و سازگاری در اراضی شور و فقیر و باتلاقی کشور از ویژگی‌های مثبت گیاهان این جنس است (۲۲). گیاهان آتریپلکس، علفی یکساله یا چندساله، درختی یا درختچه ای هستند. این گونه‌ها دارای کرک‌های مثانه‌مانندی بوده که به تدریج حالت خمیده پیدا می‌کنند. این گیاهان در مبارزه با فرسایش خاک و بیابان‌زدایی بسیار ارزشمند هستند. آتریپلکس یک جنس هالوفیت با پراکنش جهانی است که برای تامین علوفه، احیای خاک و گیاه‌پالایی حائز اهمیت است. گونه‌های این جنس از نظر مقاومت به خشکی، شوری و تحمل خاک‌های آلوده اهمیت بسیار زیادی دارند (۴ و ۲۸).

گونه‌های جنس آتریپلکس از جمله گیاهانی هستند که در بوته‌کاری استفاده می‌شوند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به آتریپلکس کانی‌سنس، آتریپلکس لنتی‌فورمیس و آتریپلکس هالیموس اشاره کرد (۲۷). تاکنون محققین زیادی به تحقیق و بررسی گیاه‌پالایی، اثرات مختلف گیاهان در حذف آلاینده‌ها و فلزات سنگین در خاک و آب پرداخته‌اند. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۶) مطالعه‌ای با عنوان خاصیت گیاه پالایی تاجریزی در خاک‌های آلوده به کادمیوم در محیط آب کشت انجام دادند و نتیجه گرفتند می‌توان از گیاه تاجریزی به عنوان یک گیاه تجمع‌دهنده کادمیوم، در جهت رفع آلودگی خاک‌های مناطق صنعتی استفاده نمود.

نتایج مطالعات اکبرپور و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد گیاه علف مرغ به میزان $65/262 \text{ mg/Kg}$ بالاترین غلظت روی را در اندام هوایی و گیاه تاجخروس وحشی به میزان $25/71 \text{ mg/Kg}$ بیشترین غلظت سرب را در اندام‌های زیرزمینی داشته است. در مطالعه‌ای که احمدپور و همکاران (۱۳۹۴) برای شناسایی توانایی دو گیاه علف چشمه و پونه در پاکسازی آب‌های آلوده به نیترات و فسفات دو آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط هیدروپونیک انجام دادند به این نتیجه رسیدند که علف چشمه و پونه غلظت بالایی از نیترات و فسفر را در خود ذخیره کرده و انباشت این عناصر در اندام هوایی نسبت به ریشه‌ها بیشتر بود. به‌طوری که فاکتور انتقال نیترات در علف چشمه و پونه به ترتیب $1/3$ و $1/07$ و فاکتور انتقال فسفر نیز به ترتیب $1/07$ و $0/94$ تعیین گردید. دامچوسکی و همکاران (۲۰۱۴) میزان کارایی گونه *Betula Roth.* *pendula* در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به روی را مورد ارزیابی قرار دادند، این مطالعه نشان داد که توانایی این گونه برای جمع‌آوری مقادیر زیاد Zn در برگ‌های آن، در محیط آلوده است. وسوتوایز و همکاران (۲۰۰۲) برای گیاه‌پالایی خاک آلوده به آرسنیک، پتانسیل گونه‌های بومی تایلندی را مورد ارزیابی قرار دادند. در این مقاله از گونه‌های گیاهی بومی شامل دو گونه سرخس (*Pityrogramma*) و (*Pteris vittata L.* و *calomelanos Link(L.)*) و درختچه (*Mimosa pudica L.*) و یک گیاه درخت ابریشم (*Melastoma malabathricum*) به منظور گیاه‌پالایی آلودگی آرسنیک در مناطقی از تایلند استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد گیاهان مورد بررسی در این پژوهش از گیاهان پرتطرفدار برای حذف آلودگی آرسنیک از خاک محسوب شد. استیفن و لئون (۱۹۹۷) پیامدهای فناوری گیاه‌پالایی گونه‌های براسیکا در آلودگی مس و روی مورد مطالعه قرار دادند. در بسیاری از گونه‌ها علائم آلودگی روی در غلظت‌های $0/1$ تا $0/2$ مشاهده شد.

ابراهیمی و مادری (۲۰۱۴) گیاه *Festuca avina* را به منظور گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده به مس مورد استفاده قرار دادند و نتایج نشان داد که عنصر مس تأثیر منفی بر رشد گونه مورد نظر داشته و طول ریشه حساس‌ترین پارامتر را در بین پارامترهای مورد اندازه‌گیری نشان داده است.

معمری و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه‌ای با هدف جذب سرب و روی، تحرک و تجمع در *Stipa hohenackeriana* با استفاده از خاک صحرایی انجام دادند. نتایج این پژوهش بیانگر این بود که *Stipa* می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای جمع‌آوری فلزات سنگین مخصوصاً سرب و روی در خاک‌های آلوده باشد. معمری و دادجو (۲۰۱۹) گونه *Boiss. Artemisia aucheri* را برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج این بررسی مشخص کرد که این گونه را می‌توان برای حذف فلزات سنگینی شامل روی، کادمیم، سرب و نیکل از خاک‌های آلوده مورد استفاده قرار داد. ابراهیمی (۲۰۱۲) جواهرزنی، رشد و جذب فلزات سنگین در خاک‌های آلوده توسط گونه *Hordeum bulbosum L.* را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش کاهش جواهرزنی، ارتفاع ریشه، ساقه و زیست توده در گیاه مورد بررسی در خاک آلوده به فلزات سنگین را نشان داد. جهانتاب و همکاران (۱۳۹۵) ارزیابی گونه‌های گیاهی مقاوم به فلزات سنگین در مناطق نفت‌خیز را انجام دادند و نتایج حاصل بیانگر این بود که برخی گونه‌های مورد مطالعه در منطقه پازنان گچساران را می‌توان به عنوان انباشتگر سرب و نیکل استفاده نمود. جعفری و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر کمپوست زباله شهری و بیوجار بر توانایی گیاه‌پالایی گونه *Bromus tomentellus Boiss.* در شرایط گلخانه‌ای را مورد تحقیق و بررسی قرار دادند و بر اساس نتایج حاصل از کاربرد تیمارهای کمپوست و بیوجار گونه مورد بررسی می‌تواند به عنوان یک گیاه مناسب برای پالایش خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم در منطقه مورد مطالعه معرفی گردد. معمری و همکاران (۲۰۱۷) توانایی گیاهان مرتعی در ارتباط با گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به روی، مس، نیکل و کادمیم را مورد بررسی قرار دادند و نتایج مطالعه نشان داد گونه‌های بومی شامل *Czern. (L.) Scariola orientalis Boiss. (Sojak)*, *Brassica juncea Fisch. & Scariola orientalis* و *Echium amoenum C.A.Mey.* در جمع‌آوری نیکل نقش موثری دارند. معمری و عباسی خالاک (۲۰۱۹) توانایی گونه *Secale montanum Guss.* را برای گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین شامل سرب و روی مورد بررسی قرار دادند. طویلی و همکاران (۲۰۲۱) پتانسیل

گیاه‌پالایی دو گونه *Halocnemum* (Pall.) Bieb. و *strabilaceum* و *Salicornia herbacea* L. را در اطراف یک شهر صنعتی و در خاک‌های آلوده مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که این دو گیاه توانایی ذخیره سرب و کادمیوم را در اندام‌های زیرزمینی خود دارند و این دو عنصر را از خاک‌های آلوده حذف می‌کنند.

تاکنون هیچ مطالعه‌ای در جهت گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده به نیتروژن توسط گونه‌های اتریپلکس انجام نشده است و پژوهش حاضر اولین مطالعه در این راستا می‌باشد که ازین جهت بسیار ارزشمند است. حدود ۱۵ درصد از اراضی ایران تحت تأثیر شوری قرار دارد. گونه‌های مرتعی اتریپلکس، مانند *A. L. A. canescens* (Pursh) Nutt. و *halimus* و *A. lentiformis* (Torr.) S.Wats. برای کاشت در خاک‌های شور قابل توجه هستند.

مطالعات فوق نشان می‌دهد که گیاهان مختلف و به ویژه گیاهان جنس اتریپلکس نقش مهمی در پالایش و جذب آلودگی‌های محیطی دارند بر این اساس مطالعه حاضر با اهداف بررسی رابطه بین غلظت آلاینده نیترات در خاک و تعیین توان گیاه‌پالایی گونه‌های اتریپلکس کانی‌سنس، اتریپلکس لنتی‌فورمیس و اتریپلکس هالیموس انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر گیاه‌پالایی خاک بر روی گونه‌های مرتعی سه گونه شاخص مرتعی از جنس اتریپلکس شامل *Atriplex* و *Atriplex canescens* و *Atriplex lentiformis* *halimus* انتخاب شدند. این مطالعه در شرایط آزمایشگاهی (گلخانه) به صورت گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار در دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس در سال ۱۳۹۶ در استان گلستان انجام گرفت. در تیمار شاهد گلدان‌هایی با خاک آلوده به نیترات بدون کشت گونه گیاهی در نظر گرفته شد. گونه‌های مورد استفاده در این بررسی با سن تقریبی ۶ ماه و متوسط ارتفاع ۲۰-۳۰ سانتی متر در اسفند ۱۳۹۶ از گلخانه روستای چپر قویمه در شهرستان گنبد کاووس، استان گلستان تهیه شد. قبل از کشت و تیمارها، مقدار نیترات خاک نمونه‌ها و نیز مقدار ازت اندام هوایی (ساقه و برگ) و اندام زیرزمینی (ریشه) به وسیله دستگاه هضم کج‌لدال (۴

و ۳۰) تعیین شد (ریشه و اندام هوایی گونه‌ها از هم جدا شده و با آب مقطر شست‌وشو داده شدند و به منظور خشک شدن به مدت ۷۲ ساعت در آون با درجه حرارت ۵۵-۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند، سپس نمونه‌های خشک شده با آسیاب‌برقی پودر شد و مقدار وزن خشک نمونه‌ها به دقت توزین گردید). سپس به منظور یکنواخت شدن ذرات خاک، خاک‌ها از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و در گلدان‌های با ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر و قطر ۱۶ سانتی‌متر مقدار ۱ کیلوگرم (۱۰۰۰ گرم) از خاک مورد نظر پر شد.

به‌منظور تهیه خاک آلوده به نیترات از نمک نیترات پتاسیم (KNO_3) استفاده شد و خاک با سه سطح (تیمار) آلودگی ppm ۶/۳، ppm ۹/۵ و ppm ۱۴/۵ تهیه گردید (غلظت رایج در گروه‌بندی خاک‌های منطقه در این محدوده غلظتی قرار دارد). هر یک از گونه‌ها با ۱۵ تکرار گلدان در هر یک از این غلظت‌ها کشت شدند (در مجموع: ۳ گونه * ۳ غلظت * ۱۵ تکرار = ۱۳۵ گلدان) و تعداد ۱۵ گلدان حاوی خاک آلوده به نیترات بدون گونه گیاهی به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. نمونه‌ها برای نگهداری بهتر به گلخانه دانشگاه گنبد کاووس انتقال داده شدند. هفته‌ای دوبار گلدان‌ها با آب لوله‌کشی گلخانه به کمک آبپاش آبیاری شدند. همچنین میزان نیترات آب آبیاری به منظور تعیین میزان نیترات اضافه شده به خاک تعیین گردید. سپس در اردیبهشت‌ماه گونه‌هایی که رشد کردند را هرس نموده و اندام‌های هرس شده برای آزمایشات نهایی جمع‌آوری و خشک گردیدند. جهت تعیین میزان تغییرات نیترات خاک ۲ ماه بعد از کشت گونه‌ها (اردیبهشت ۱۳۹۷) یک نمونه خاک از عمق میانی خاک تمامی گلدان‌ها برداشت شد و مقدار نیترات کل نمونه‌ها تعیین گردید. در تیرماه ۱۳۹۷ (۵ ماه بعد) نمونه‌ها برای اندازه‌گیری پارامترهای موردنظر به آزمایشگاه انتقال داده شدند. سپس هر بوته به دو قسمت ریشه و اندام هوایی تقسیم شد. ریشه‌ها و اندام هوایی به وسیله آب مقطر شست و شو و به صورت جداگانه درون فویل آلومینیومی قرار داده شدند و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۵۵-۶۰ درجه سانتی‌گراد درون آون کاملاً خشک گردیدند.

نمونه‌های خشک شده به وسیله آسیاب‌برقی پودر شدند و وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با

موردنظر (حذف آلاینده) ابتدا تمامی داده‌ها در محیط نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۳ دسته بندی و منظم‌سازی شد و نمودارهای مورد نظر توسط نرم‌افزار اکسل رسم شد. سپس داده‌ها به محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انتقال داده شد و با استفاده از آزمون آنالیز LSD و آزمون t مستقل تجزیه تحلیل آماری انجام گردید.

نتایج

به منظور بررسی اثر غلظت نیترات بر میزان رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌های مورد مطالعه، ابتدا وزن خشک گونه‌های مورد مطالعه قبل از کاشت در گلدان (اسفند ۱۳۹۶) و انجام آزمایشات محاسبه شد (جدول ۲ و ۳). سپس میزان وزن خشک گونه‌ها در اتمام آزمایش (تیرماه ۱۳۹۷) اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با گذشت زمان، میزان وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌ها افزایش یافته است. اگرچه با افزایش میزان غلظت نیترات مقدار وزن خشک اندام هوایی و اندام زیرزمینی گونه‌ها کاهش یافته است. به‌طوری‌که هر سه گونه مورد مطالعه در غلظت‌های پایین (۶/۳ ppm) بیشترین وزن خشک را داشته‌اند. در بین گونه‌های انتخاب شده در این پژوهش مقدار وزن خشک اندام هوایی و اندام زیرزمینی گونه لنتی‌فورمیس در هر سه غلظت ۶/۳ ppm، ۹/۵ ppm و ۱۴/۵ ppm نسبت به دو گونه دیگر بیشتر بوده است بنابراین گونه *A. lentiformis* رشد بیشتری در خاک آلوده داشته است.

دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و مقدار ازت آن‌ها توسط دستگاه کج‌لدال تعیین گردید. در مرحله بعد مقدار نیترات نمونه‌های خاک به وسیله دستگاه هضم اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شد. در این پژوهش میزان درصد راندمان جذب نیترات خاک از رابطه زیر محاسبه شد:

$$R = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

R: میزان راندمان جذب نیترات خاک به درصد، Ci:

غلظت اولیه، Cf: غلظت اندازه‌گیری شده در زمان‌های مختلف. به منظور آشنایی با خصوصیات خاک‌های مورد مطالعه، پس از عبور خاک از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری (۵)، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج (۳۲)، تعیین pH در عصاره اشباع با pH متر (۳۵) انجام گردید که نتایج مربوط به آن در جدول (۱) آورده شده است:

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

تیمار	خاک آلوده	شاهد
درصد رس (%)	۱۷/۸	۱۷/۸
درصد سیلت (%)	۵۴	۵۴
درصد شن (%)	۲۸/۲	۲۸/۲
بافت خاک	سیلت لوم	سیلت لوم
هدایت الکتریکی (ds/m)	۶/۳۴	۵/۴۱
pH	۷/۶۴	۷/۷۶

تجزیه و تحلیل آماری بر اساس طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای ارزیابی تاثیر تیمارهای فوق بر پارامتر

جدول ۲: متوسط مقدار وزن خشک (گرم در کیلوگرم) اندام هوایی گونه‌های مورد مطالعه

گونه	اولیه*	غلظت (ppm)		
		۶/۳	۹/۵	۱۴/۵
کانی‌سنس	۷/۷۷	^b ۲۸/۳۱	^b ۱۹/۴۴	^{ab} ۱۴/۰۵
هالیموس	۷/۲۸	^a ۲۳/۸۳	^a ۱۴/۲۰	^a ۱۱/۷۵
لنتی‌فورمیس	۷/۴۶	^c ۳۹/۱۷	^c ۲۳/۴۴	^b ۱۶/۰۵

* متوسط وزن خشک اندام‌های هوایی گیاهان مورد مطالعه در خاک غیر آلوده قبل از شروع آزمایشات (اسفندماه)

جدول ۳: متوسط مقدار وزن خشک (گرم در کیلوگرم) اندام زیرزمینی گونه‌های مورد مطالعه

--

گونه	اولیه ^a	غلظت (ppm)		
		۶/۳	۹/۵	۱۴/۵
کانی سنس	۲/۴	^{ab} ۸/۳۱	^{ab} ۷/۴۴	^{ab} ۵/۰۵
هالیموس	۲/۵	^a ۶/۸۳	^a ۶/۲۰	^a ۴/۷۵
لنتی فورمیس	۲/۴	^b ۱۰/۱۷	^b ۸/۴۰	^b ۶/۴۷

*متوسط وزن خشک اندام‌های هوایی گیاهان مورد مطالعه در خاک غیرآلوده قبل از شروع آزمایشات (اسفندماه)

($p\text{-value} < 0.05$). اما در گونه کانی سنس اختلاف غلظت معنی‌دار نبوده است. در غلظت ۶/۳ ppm گونه لنتی فورمیس نسبت به دو گونه هالیموس و کانی سنس بیشترین میزان جذب نیترات را از خاک داشته است و گونه هالیموس کمترین میزان نیترات خاک را جذب نموده است. در غلظت ۹/۵ ppm اختلاف معنی‌داری در جذب نیترات خاک توسط گونه‌های مورد بررسی وجود دارد. در غلظت ۱۴/۵ ppm اختلاف بین گونه‌ها در اردیبهشت ماه و تیرماه معنی‌دار می‌باشد. در این غلظت گونه لنتی فورمیس در ماه‌های اندازه‌گیری شده (اردیبهشت و تیر) نیترات بیشتری را نسبت به گونه‌های دیگر از خاک جذب کرده است.

مقدار نیترات اولیه اندازه‌گیری شده در خاک استفاده شده در این پژوهش بین ۰/۸ ppm تا ۱ ppm متغیر بود. از این رو خاک تهیه شده برای این تحقیق دارای میزان نیترات ناچیزی بوده است. همچنین میزان نیترات موجود در آب مورد استفاده برای آبیاری گلدان‌ها ۱۸ میلی گرم بر لیتر برآورد شد. در نتیجه آبیاری با آب استفاده شده در این تحقیق نقش چندانی در غلظت نیترات در طول مطالعه نداشته داشت.

با توجه به جدول (۴)، نتایج آزمون LSD نشان داد در تمامی گونه‌ها مقدار حذف نیترات خاک در انتهای آزمایش (تیرماه) نسبت به غلظت اولیه نیترات معنی‌دار بوده است

جدول ۴: نتایج آزمون LSD جهت مقایسه میانگین تغییرات نیترات خاک در غلظت‌های مختلف

P-value	ماه			گونه	غلظت اولیه (ppm)
	تیر	اردیبهشت	اسفند		
۰/۱	۰/۹۳ ^a	۰/۹۵ ^a	۱	شاهد	۶/۳
۰/۰۳	۰/۲۹ ^b	۰/۵۴ ^b	۱	کانی سنس	
۰/۰۴	۰/۳۸ ^c	۰/۵۹ ^{cb}	۱	هالیموس	
۰/۰۳۵	۰/۲۶ ^{bd}	۰/۵۱ ^d	۱	لنتی فورمیس	
۰/۴۷		۰/۶۸	شاهد	LSD _{0/05}	
۰/۱۸	۱ ^a	۱ ^a	۱	شاهد	۹/۵
۰/۰۶	۰/۵۰ ^b	۰/۶۳ ^b	۱	کانی سنس	
۰/۰۲	۰/۵۴ ^{cb}	۰/۷۳ ^c	۱	هالیموس	
۰/۰۱۷	۰/۳۹ ^d	۰/۵۵ ^d	۱	لنتی فورمیس	
۰/۶۴		۰/۷۸		LSD _{0/05}	
۰/۱۶	۰/۹۴ ^a	۰/۹۵ ^a	۱	شاهد	۱۴/۵
۰/۰۳	۰/۵۶ ^b	۰/۸۸ ^b	۱	کانی سنس	
۰/۰۳	۰/۷۴ ^c	۰/۸۵ ^c	۱	هالیموس	
۰/۰۲	۰/۵۱ ^d	۰/۷۴ ^d	۱	لنتی فورمیس	
۰/۷۱		۰/۸۶	۱	LSD _{0/05}	

و اندام زیرزمینی گونه‌های مذکور دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. بر طبق جدول (۵) میانگین تجمع ازت اندام زیرزمینی گونه‌ها نسبت به اندام هوایی بیشتر بوده است. بنابراین گونه‌ها نیترات جذب شده از خاک را در بافت اندام زیرزمینی (ریشه) خود بیشتر از اندام هوایی (ساقه و برگ) ذخیره کرده‌اند.

بررسی تغییرات ازت تجمع یافته در اندام هوایی و اندام زیرزمینی گونه‌ها در غلظت‌های مختلف

نتایج حاصل از آزمون t-Test جهت مقایسه تجمع ازت در اندام هوایی و زیرزمینی برای سه گونه کانی سنس، هالیموس و لنتی فورمیس در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج نشان داد در تیرماه میزان تجمع ازت در اندام هوایی

جدول ۵: نتایج آزمون t-Test جهت مقایسه میانگین تجمع ازت اندام هوایی (ساقه و برگ) و اندام زیرزمینی (ریشه)

زمان	اندام گیاه	میانگین تجمع ازت	انحراف معیار	T	p-value
اسفند	هوایی (ساقه و برگ)	۰/۹۶	۰/۴۰۳	۵/۵۵	۰/۰۱
	زیرزمینی (ریشه)	۰/۸۶	۰/۳۷۵		
تیر	هوایی (ساقه و برگ)	۲/۳۸	۱/۰۶	۳/۲۹	۰/۰۲
	زیرزمینی (ریشه)	۳/۹۵	۱/۵۳		

T: تفاوت محاسبه شده بر خطای استاندارد، P-value: معناداری آماری (مقدار احتمال)

میزان راندمان جذب نیترات خاک

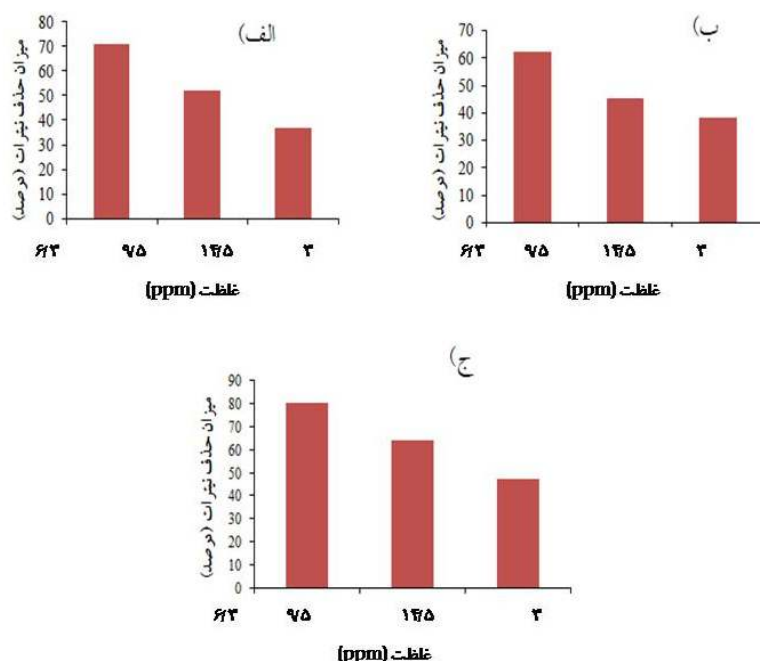
۱۴/۵ به ترتیب ۵۲، ۷۱ و ۳۷ درصد می باشد. درصد حذف نیترات توسط گونه هالیموس در ماه تیر در غلظت های ppm ۶/۳، ۹/۵ و ۱۴/۵ ppm به ترتیب ۴۵، ۶۲ و ۳۸ درصد در جدول (۶) گزارش می شود و میزان حذف نیترات توسط گونه لنتی فورمیس در غلظت های ذکر شده به ترتیب ۸۰، ۶۴ و ۴۷ درصد در جدول (۶) مشخص می شود.

میزان راندمان جذب نیترات خاک توسط گونه های کانی سنس، هالیموس و لنتی فورمیس در بازه زمانی ۵ ماه در شکل ۱ ارائه شده است. در این مطالعه درصد راندمان جذب نیترات در انتهای آزمایش (تیرماه) توسط گونه کانی سنس در غلظت های ppm ۶/۳، ۹/۵ و ۱۴/۵

جدول ۶: میزان راندمان حذف نیترات خاک (درصد) توسط گونه های مورد مطالعه

غلظت (ppm)	گونه	ماه	
		اردیبهشت	تیر
۶/۳	کانی سنس	۴۱٪	۷۱٪
	هالیموس	۳۷٪	۶۲٪
	لنتی فورمیس	۴۹٪	۸۰٪
۹/۵	کانی سنس	۳۱٪	۵۲٪
	هالیموس	۲۷٪	۴۵٪
	لنتی فورمیس	۳۹٪	۶۴٪
۱۴/۵	کانی سنس	۲۲٪	۳۷٪
	هالیموس	۲۱٪	۳۸٪
	لنتی فورمیس	۲۸٪	۴۷٪

در این پژوهش با توجه به شکل (۱) نشان داده شد نرخ حذف نیترات خاک توسط گونه های انتخابی در غلظت های پایین بیشتر بوده است.



شکل ۱: تغییرات حذف نیترات خاک در بازه زمانی ۵ ماه توسط گونه‌های (الف) کانی‌سنس، (ب) هالیموس و (ج) لنتی‌فورمیس

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به نیترات توسط گونه‌های *Atriplex lentiformis*، *A. halimus* و *A. canescens* آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. همواره با افزایش غلظت نمک از ۶/۳ ppm به ۱۴/۵ ppm مقدار وزن خشک اندام هوایی در گونه کانی‌سنس از ۲۸/۳۱ ppm به ۱۴/۰۵ ppm، در گونه هالیموس از ۲۸/۸۳ ppm به ۱۱/۷۵ ppm و در گونه لنتی‌فورمیس از ۳۹/۱۷ ppm به ۱۶/۰۵ ppm کاهش پیدا کرده است. روند نزولی در مقدار وزن خشک اندام زیرزمینی گونه‌های مورد مطالعه نیز مشاهده شد، به‌صورتیکه با افزایش غلظت نمک از ۶/۳ ppm به ۱۴/۵ ppm مقدار وزن خشک اندام زیرزمینی در گونه کانی‌سنس از ۸/۳۱ ppm به ۵/۰۵ ppm، در گونه هالیموس از ۶/۸۳ ppm به ۴/۷۵ ppm و در گونه لنتی‌فورمیس از ۱۰/۱۷ ppm به ۶/۴۷ ppm کاهش یافته‌است. نتایج این بررسی نشان داد در گونه‌هایی که در خاک آلوده رشد کردند، میزان وزن خشک اندام هوایی و اندام زیرزمینی گونه لنتی‌فورمیس در هر سه غلظت ۶/۳ ppm، ۹/۵ ppm و ۱۴/۵ ppm نسبت به دو گونه

دیگر بیشتر بود که نشان می‌دهد گونه لنتی‌فورمیس رشد بیشتری در خاک آلوده داشته است اما همواره با افزایش غلظت نیترات مقدار وزن خشک اندام هوایی و اندام زیرزمینی گونه‌ها کاهش یافته است. نتایج این مطالعه بیانگر این موضوع است که میزان تجمع ازت در اندام هوایی و اندام زیرزمینی گونه‌های مذکور دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد و میانگین تجمع ازت اندام زیرزمینی گونه‌ها نسبت به اندام هوایی بیشتر بوده است. بنابراین گونه‌ها نیترات جذب شده از خاک را در بافت اندام زیرزمینی (ریشه) خود بیشتر از اندام هوایی (ساقه و برگ) ذخیره کرده‌اند.

نتایج آزمون LSD نشان دهنده این موضوع بود که در تمامی گونه‌ها مقدار حذف نیترات خاک در تیرماه نسبت به غلظت اولیه نیترات معنی‌دار بوده است، اما در گونه کانی‌سنس اختلاف غلظت معنی‌دار نبوده است. بنابراین در هر سه غلظت اندازه‌گیری‌شده میزان نیترات خاک نسبت به غلظت اولیه کاهش چشمگیری داشته است. در غلظت ۶/۳ ppm گونه لنتی‌فورمیس نسبت به دو گونه هالیموس و کانی‌سنس بیشترین میزان جذب نیترات را از خاک داشته است و گونه هالیموس کمترین میزان نیترات خاک را جذب

است و کمترین میزان جذب نیترات خاک توسط گونه هالیموس انجام شده است. نتایج مطالعه نشان داد گونه لنتی فورمیس مناسب‌ترین گونه برای حذف نیترات از خاک می باشد. همچنین نتیجه گرفته شد با افزایش میزان غلظت اولیه نرخ حذف ازت از خاک کاهش می‌یابد. نتایج حاکی از آن بود که آلاینده نیترات بیشتر در اندام زیرزمینی گیاه تجمع می‌یابد. بنابراین با توجه به نتایج حاصله هرچه میزان آلودگی نیترات در خاک افزایش یابد توانایی گونه‌ها در حذف نیترات از خاک کاهش می‌یابد. در نتیجه با افزایش غلظت آلاینده توان گیاه‌پالایی گونه‌ها در پاکسازی خاک از نیترات کاهش می‌یابد.

فتاحی کیاسری و همکاران (۱۳۸۹) اذعان داشتند که در انتخاب گیاهان به منظور گیاه‌پالایی گیاهی مناسبتر است که بتواند علاوه بر جذب زیاد عنصر، نسبت انتقال آن از اندام زیرزمینی به ساقه بیشتر باشد. بنابراین گونه‌های ذکرشده در تحقیق حاضر میتوانند به عنوان گیاهان مناسب برای گیاه‌پالایی مطرح شوند. یون و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند گیاهانی که مقدار TF در آنها بیشتر از یک است، برای گیاه استخراجی مناسب هستند و به طور کلی این گیاهان نیازمند انتقال فلزات سنگین به بخش‌های قابل برداشت گیاهان مانند ساقه‌ها هستند. در مطالعه‌ای که فرزی (۱۳۹۸) در ارتباط با غربال‌گری گیاهان شورزیست به منظور استفاده در گیاه‌پالایی نمک داشت، نتایج حاکی از آن بود که در بین ۱۲ گونه گیاهی مورد مطالعه، آتریپلکس تاتاریکا، باسیا موریکاتا و سالسولا کالی حائز سه رتبه نخست گشته‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد در تایید پژوهش حاضر استفاده از گیاه آتریپلکس در تحقیقات تجربی گیاه‌پالایی نمک در اولویت باشد. نتایج این تحقیق با گزارش عبدالحسینی و همکاران (۱۳۹۹) درمورد امکان‌سنجی میزان کاهش شوری آب با استفاده از گیاه آتریپلکس لنتی فورمیس در بستر زئولیت مطابقت دارد. با توجه به نتایج به دست آمده افزایش تراکم گیاهی باعث کاهش رشد گیاه مورد نظر شده، اما تعداد گیاه بیشتر موجب کاهش بیشتر هدایت الکتریکی و در نتیجه کاهش بیشتر یونهای عامل شوری شده است. گیاه آتریپلکس به همراه بستر زئولیت میتواند در مدت ۲۸ روز از آزمایش حداکثر ۱۵/۹ درصد هدایت الکتریکی را کاهش دهد. این نتایج نشان می‌دهد

نموده است. گونه لنتی فورمیس دارای اختلاف معنی‌داری با سایر گونه‌ها می‌باشد ولی در تیرماه با گونه کانی‌سنس اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد ندارد. همچنین در اردیبهشت ماه بین گونه هالیموس و کانی‌سنس اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در غلظت ۹/۵ ppm اختلاف معنی‌داری در جذب نیترات خاک توسط گونه‌های مورد بررسی وجود دارد. گونه لنتی فورمیس در اردیبهشت ماه و تیرماه دارای بیشترین جذب نیترات نسبت به سایر گونه‌ها می‌باشد و گونه هالیموس کمترین میزان نیترات را در ماه اردیبهشت و تیرماه جذب نموده است. همچنین در تیرماه بین گونه کانی‌سنس و هالیموس اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در غلظت ۱۴/۵ ppm اختلاف بین گونه‌ها در اردیبهشت ماه و تیرماه معنی‌دار می‌باشد. در این غلظت گونه لنتی فورمیس در ماه‌های اندازه‌گیری شده (اردیبهشت و تیر) نیترات بیشتری را نسبت به گونه‌های دیگر از خاک جذب کرده است. کمترین میزان جذب نیترات در اردیبهشت ماه و تیرماه به ترتیب مربوط به گونه کانی‌سنس و هالیموس می‌باشد.

نتایج مطالعه نشان داد میزان حذف نیترات خاک در غلظت‌های مختلف در هر سه گونه کاهش یافته است. درصد راندمان حذف نیترات خاک توسط گونه کانی‌سنس در غلظت‌های ۶/۳ ppm، ۹/۵ ppm و ۱۴/۵ ppm به ترتیب ۷۱٪، ۵۲٪ و ۳۷٪ می‌باشد و توسط گونه هالیموس به ترتیب ۶۲٪، ۴۵٪ و ۳۸٪ گزارش می‌شود. اگرچه گونه لنتی فورمیس نیترات را با نرخ بیشتری از دو گونه‌ی دیگر به ترتیب در غلظت‌های ۶/۳ ppm، ۹/۵ ppm و ۱۴/۵ ppm به ترتیب با درصدهای ۸۰٪، ۶۴٪ و ۴۷٪ از خاک حذف کرده است و در یک غلظت مشخص از نیترات در خاک، سرعت رشد گونه لنتی فورمیس بیشتر از دیگر گونه‌های آتریپلکس بوده است. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت این آلودگی در خاک، توان گیاه‌پالایی گونه‌های مورد مطالعه کاهش یافته است و گونه آتریپلکس لنتی فورمیس با ذخیره بالای ازت در بافت‌های خود نقش موثری در پاکسازی خاک‌های آلوده به نیترات دارد. میزان حذف نیترات در هر سه غلظت در هر سه گونه کاهش پیدا کرد اما گونه لنتی فورمیس نیترات را با نرخ بیشتری حذف نمود. بنابراین گونه لنتی فورمیس بیشترین جذب نیترات از خاک را داشته

گونه پالایی نمک که به معنی کاهش شوری خاک و یا آب با استفاده از گیاهان شورزیست است در سال‌های اخیر در مطالعات متعددی مورد توجه محققین بوده است. با وجود تحقیقات متعدد در این زمینه، مشکلی که در بحث استفاده از گیاهان شورزیست برای گیاه‌پالایی نمک وجود دارد، انتخاب گیاهان مناسب از بین جمعیت گسترده آنها و یا به عبارتی غربالگری گیاهان شورزیست برای این فرآیند است. به‌طور کلی گیاهان قادرند انواع مختلفی از آلاینده‌ها را از محیط زیست انسان پاک کنند و همچنین می‌توانند از انتقال آلاینده‌ها از مکان‌های آلوده به سایر نقاط به‌وسیله باد و آب جلوگیری به عمل بیاورند (۱۴). براساس نتایج تحقیق حاضر، از گونه‌های *A. halimus*، *A. canescens* و *A. lentiformis* می‌توان به عنوان انباشتگر در خاک‌های آلوده به نیتروژن استفاده نمود و در تحقیقات بعدی آنها را جهت اصلاح و پالایش اراضی آلوده استفاده کرد.

گونه لنتی فورمیس نه تنها در ارتباط با گیاه‌پالایی در خاک اهمیت چشم‌گیری دارد در آب نیز این گیاه به عنوان پالاینده‌ای بسیار مهم حائز اهمیت است. دزواره و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی مدل سینتیکی کاهش شوری آب به روش گیاه‌پالایی به وسیله سه گونه گیاه شورزی پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش گیاه آتریپلکس در برابر تنش شوری مقاوم تر از گیاه فرانکینیا و فستوکا تشخیص داده شد و این نتایج، انتخاب گیاه آتریپلکس در حوزه گیاه‌پالایی را تایید می‌نماید. بنابراین با توجه به نتایج فوق می‌توان گفت:

۱- استفاده از گیاه آتریپلکس به‌عنوان گیاه شورزی در تحقیقات تجربی در فرایند گیاه‌پالایی نمک در اولویت می‌باشد.

۲- گونه لنتی فورمیس مناسب‌ترین گونه برای گیاه‌پالایی خاک آلوده به نترات می‌باشد که نترات جذب‌شده از خاک را در بافت‌های خود به خصوص بافت ریشه ذخیره می‌کند.

۳- با افزایش غلظت آلاینده در خاک توان گیاه‌پالایی گونه‌ها در پالایش آلودگی خاک کاهش می‌یابد.

References

1. Abdolhosseini, M., M. Heidarpour & J. Abedi Koupai, 2020. The Feasibility Study of Water Salinity Reduction by *Atriplex lentiformis* Plant in a Zeolite Substrate. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(11): 2901-2912. (In Persian)
2. Ahmadpoor, Z., M. Khoramivafa, S. Jalali Honarmand, K. Cheghamirza & M. Khan Ahmadi, 2015. The Ability of Watercress (*Nasturtium officinale*) and Pennyroyal (*Mentha pulegium*) in Clean up Excess Nitrate and Phosphate of Water. Journal of Water and Soil, 29(4): 765-775. (In Persian)
3. Akbarpour Saraskanroud, F., F. Sadri & D. Golarizadeh, 2012. Phytoremediation of heavy metal (Lead, Zinc and Cadmium) from polluted soils by Arasbaran protected area native plants. Journal of Soil and Water Resources Protection, 1(4): 53-66. (In Persian)
4. Asadi Sanam, S., M. Zavareh, H. Shokri Vahed & P. Shahin Rokhsar, 2014. The effect of foliar application of nitrogen and potassium fertilizers on the yield and yield components of hybrid rice 'Deylam'. Journal of Crop Improvement, 16(3): 693 -706. (In Persian)
5. Bouyoucos, C.J., 1997. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agronomy Journal, 54: 464-465.
6. Davis, A., J.W. Drexler, M.V. Ruby & A. Nicholson, 1993. Micro mineralogy of mine wastes in relation to lead bioavailability, Butte, Montana. International Journal of Environmental Science and Technology, 27: 1415-1425.
7. Dezvareh, Gh., H. Ganjidust & B. Ayati, 2015. Evaluation of kinetic models in water salinity reduction by phytoremediation method with three halophyte plants. Modares Civil Engineering journal, 15(3): 63-72. (In Persian)
8. Dinakar, N., P.C. Nagajyothi, S. Suresh, Y. Udaykiran & T. Damodharam, 2008. Phytotoxicity of cadmium on protein, praline and antioxidant enzyme activities in growing *Arachis hypogaea* L. seedling. Journal of Environmental Sciences, 20: 199-206.
9. Dmuchowski, W., D. Gozdowski, P. Brągoszewska, A.H. Baczeńska & I. Suwara, 2014. Phytoremediation of zinc contaminated soils using silver birch (*Betula pendula* Roth). Ecological engineering, 71: 32-35.
10. Ebrahimi, F., A. Baghizadeh & Sh. Pourseyedi, 2017. Phytoremediation potential of black nightshade in cadmium contaminated soils in hydroponic system. Agroecology Journal. 13(1): 1-8. (In Persian)

11. Ebrahimi, M., 2012. Germination, Growth and Uptake of Heavy Metals in Contaminated Soils (*Hordeum bulbosum* L.). Journal of Rangeland Science, 2(3): 557-565.
12. Ebrahimi, M. & F. Madrid Díaz, 2014. Use of *Festuca ovina* L. in Chelate Assisted Phytoextraction of Copper Contaminated Soils. Journal of Rangeland Science, 4(3): 171-181.
13. Farzi, A., 2020. Screening of Halophytic Plants for the Use in Salt Phytoremediation: A Systematic Approach Based on Multi-criteria Decision Making. Journal of Environmental Science Studies, 5(1): 2352-2359. (In Persian)
14. Fattahi Kiasari A., A. Fotoat Astarayi & A.R. Haq, 2010. Sulfuric acid and EDTA on phytoremediation of lead in of soil by three plants sunflower, maize and cotton. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences, Year fourteenth, 51: 57-68. (In Persian)
15. Fazel, F., N. Ganji khorramdel & M. Gheysari, 2016. Simulation of Soil Water content and Nitrate under Different Fertigation Strategies for Sweet Pepper in Isfahan by EU-ROTATE-N Model. Quarterly Journal of Water and Soil, 31(1): 263-276. (In Persian)
16. Ghosh, M & S.P. Singh, 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. Journal Energy Environmental, 6: 214-231.
17. Jafari, M., M. Moameri, E. Jahantab & N. Zargham, 2017. Effects of municipal solid waste compost and biochar on the phytoremediation potential of *Bromus tomentellus* Boiss. in greenhouse condition. Rangeland, 11(2): 194-206. (In Persian)
18. Jahantab, E., M. Jafari, B. Motasharezadeh, A. Tavili & N. Zargham, 2017. Evaluating tolerance of plants species to heavy metals in oil polluted region (Case study: Pazanan Gachsaran). Rangeland, 10(4): 409-425. (In Persian)
19. Joner, E.J., C. Leyval & J.V. Colpaert, 2006. Ectomycorrhizas impede phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) both within and beyond the rhizosphere. Journal of Environmental pollution and management, 142: 34-38.
20. Maradanpour, F & A.M. Mehrabi, 2008. The use of biotechnology in relation to phytoremediation. Regional Conference on Food and Biotechnology, Islamic Azad University of Kermanshah, (In Persian)
21. Mc Cutcheon, S.C. & J.L. Schnoor, 2003. Phytoremediation transformation and control of contaminants, John Wiley and Sons, New York.
22. Mc Arthur, E.D., S.C. Sanderson & J.R. Taylor, 2005. *Atriplex canescens*, U.S Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Provo, UT 84606- 1856.
23. Moameri, M. & M. Abbasi Khalaki, 2017. Capability of *Secale montanum* trusted for phytoremediation of lead and cadmium in soils amended with nano-silica and municipal solid waste compost. Environmental Science and Pollution Research, 26: 24315-24322.
24. Moameri, M., M. Jafri, A.Tavili, B. Motasharezadeh & M.A. Zare Chahouki, 2017. Rangeland Plants Potential for Phytoremediation of Contaminated Soils with Lead, Zinc, Cadmium and Nickel (Case Study: Rangelands around National Lead & Zinc Factory, Zanjan, Iran). Journal of Rangeland Science, 7(2): 160-171.
25. Moameri, M., M. Jafari, A. Tavili, B. Motasharezadeh, M.A. Zare Chahouki & F. Madrid Diaz, 2018. Investigating lead and zinc uptake and accumulation by *Stipa hohenackeriana* trin and rupr. in field and pot experiments. Bioscience Journal, 34(1): 138-150.
26. Moameri, M. & F. Dadjoo, 2019. Assessing Capability of *Artemisia aucheri* Boiss for Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals. Journal of Rangeland Science, 9(4): 414-425.
27. Moghaddam, M., 1352. Study of Atriplex mineralization culture, Journal No. 29, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. (In Persian)
28. Moghimi, J., 2006. Introduction of some important rangeland species suitable for development and improvement of rangelands in Iran, first edition, Arun Publications, 669p. (In Persian)
29. Pal, M., E. Horvath, T. Janda, E. Paldi & G. Szalai, 2006. Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 169: 239-246.
30. Rakhsh, F. & A. Golchin, 2013. The Effect of Different Levels of Nitrogen and Copper on Yield and Nutrients Concentrations and Nitrate Broccoli Head (*Brassica oleracea*). Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries), 27(4): 459-453. (In Persian)
31. Raskin, I. & B.D. Ensley, 2000. Phytoremediation of Toxic Metals Using a Plants to Clean Up the Environment. Wiley-Interscience Publication.
32. Rhoades, J.D. 1982. "Soluble salts," In: A.L.Page (Editor), Methods of soil analysis, Part 2.2nd ed. Agronomy Journal, 9. ASA and SSSA.Madison, WI. 167-179.
33. Stephen, D.E. & V. Leon, 1997. Toxicity of Zinc and Copper to *Brassica* Species: Implications for Phytoremediation. Journal of Environmental Quality, 26(3): 776-781.

34. Tavili A, F. Hassanabadi, M. Jafari, H. Azarnivand, B. Motesharezadeh & E. Jahantab, 2021. Phytoremediation ability of *H. strobilaceum* and *S. herbacea* around an industrial town. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 21: 103-121.
35. Thomas, G.W., 1996. "Soil pH and soil acidity" P. 475-490. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis, Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
36. Visoottiviseth, P., K. Francesconi & W. Sridokchan, 2002. The potential of Thai indigenous plant species for the phytoremediation of arsenic contaminated land. Environmental Pollution, 118: 453-461.
37. Yang, X.E., X.X. Long, H.B. Ye, Z.L. He, D.V. Calvert & P.J. Stoffella, 2004. Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii* hence). International Journal of Plant and Soil Science, 259: 181-189.
38. Yoon, J., X. Cao, Q. Zhou & L.Q. Ma, 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment, 368: 456-464. (In Persian)

Phytoremediation of nitrogen-contaminated soil by *Atriplex lentiformis*, *Atriplex canescens* and *Atriplex leucoclada*

S. E. Hosseini¹, A. Tahmasebi ^{*2}, M. Ghare Mahmoodlu³ and B. Behmanesh

Received: 09 September 2021, Accepted: 19 October 2021

Abstract

In this study, the ability of three rangeland species *Atriplex halimus*, *A. canescens* and *A. lentiformis* to remove nitrate from soil in vitro (greenhouse) in a completely randomized design was investigated. For this purpose, potassium nitrate salt (KNO₃) was used in four treatments control, 6.3 ppm, 9.5 ppm and 14.5 ppm in three repetitions. Plant species used in this study with an approximate age of 6 months were prepared from the village of Chaparquimeh, Gonbad Kavous city in Golestan province. Selected species were cultivated in nitrate-contaminated soils with the concentrations mentioned and after a period of three and six months, the amount of dry weight and nitrogen of aerial and underground organs of the species and the amount of nitrate in the soil were measured. With increasing salt concentration from 6.3 ppm to 14.5 ppm, the amount of dry weight of aerial parts in *A. canescens* has decreased from 28.31 ppm to 14.05 ppm, in *A. halimus* from 28.83 ppm to 11.75 ppm and in *A. lentiformis* from 39.17 ppm to 16.05 ppm. A downward trend was observed in the amount of dry weight of underground organs in the studied species, so that by increasing the salt concentration from 6.3 ppm to 14.5 ppm, the amount of underground dry weight in *A. canescens* from 8.31 ppm to 5.05 ppm, in *A. halimus* from 6.83 ppm to 4.75 ppm and in *A. lentiformis* decreased from 10.17 ppm to 6.47 ppm. The results of study showed that the level of soil nitrate removal at different concentrations decreased in all three species. The percentage of soil nitrate removal efficiency by *A. canescens* at concentrations of 6.3 ppm, 9.5 ppm and 14.5 ppm is 71%, 52% and 37%, respectively, by *A. halimus* are reported to be 62%, 45% and 38%, respectively. However, *A. lentiformis* removed nitrate at a higher level than the other two species with 80%, 64% and 47%, respectively. The results showed that with increasing the concentration of this contamination in the soil, the phytoremediation capacity of the studied species decreased and *A. lentiformis* with high nitrogen storage in its tissues has an effective role in clearing nitrate-contaminated soils.

Keywords: Contaminated soil, Rangeland species, Phytoremediation, *Atriplex halimus*, *Atriplex canescens*, *Atriplex lentiformis*.

¹- Graduated in Range Management, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran.

²- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran.

*: Corresponding author: ab_tahmasebi@gonbad.ac.ir

³- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran.