

مقاله پژوهشی

مقایسه قابلیت گیاه پالایی گونه‌های اکالیپتوس و سنجد در حذف نیتрат، فسفات و سولفات آب

مهرانگیز احمدی^{۱*}، سید حمید متین‌خواه^۲ و محسن سلیمانی^۳

چکیده

آلودگی آب‌های طبیعی با نیترات، فسفات و سولفات به‌عنوان یک مسئله زیست‌محیطی مورد توجه است. روش‌های جدید و ابداعی در ایجاد فناوری‌های نو، برای پرداختن به مسائل زیست‌محیطی بسیار حائز اهمیت هستند. فرایند گیاه‌پالایی، روشی طبیعی برای پالایش آلودگی‌هاست که بسیار مؤثر و کم‌هزینه بوده و قابلیت اجرای آن برای مدت زمان طولانی امکان‌پذیر است. این پژوهش به‌منظور بررسی قابلیت گیاه‌پالایی نیترات، فسفات و سولفات آب با استفاده از گونه‌های اکالیپتوس *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. و سنجد *Elaeagnus angustifolia* L. در شرایط کشت بدون خاک، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. بدین‌منظور در مجموع تعداد ۵۴ نهال از دو گونه مذکور داخل گلدان‌های پلاستیکی در اسفند ۱۳۹۵ کاشته شد. گونه‌ها با غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات و صفر، ۳۰، ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر فسفات و سولفات کاشته شدند. سپس میزان حذف آلاینده‌ها و برخی عوامل فیزیولوژیک گیاهان اندازه‌گیری شد و درنهایت تجزیه و تحلیل با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS صورت گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان حذف نیترات، فسفات و سولفات تفاوت معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان داد. نتایج نشان داد بیشترین میزان حذف نیترات، فسفات و سولفات برای گونه اکالیپتوس به‌ترتیب ۸۶/۲۶، ۹۵/۳۴ و ۸۶/۸ درصد و برای گونه سنجد ۸۳/۷۲، ۸۸/۵۵ و ۹۰/۷۳ درصد بود. درنتیجه گونه اکالیپتوس قابلیت بالاتری در حذف دو آلاینده نیترات و فسفات و گونه سنجد قابلیت بالاتری در حذف سولفات از خود نشان داد. نتایج نیز نشان داد که اثر گونه‌ها و آلاینده‌ها بر صفات قطر تنه، ارتفاع، میزان کلروفیل و تبادل روزنه‌ای بسیار معنی‌دار بود که به‌دلیل تفاوت در نوع گونه و غلظت مختلف آلاینده مورد نظر بوده‌است. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین صفات دو گونه اکالیپتوس و سنجد مشاهده نشده‌است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب، اکالیپتوس، سنجد، کشت بدون خاک، گیاه‌پالایی.

ارجاع: احمدی م.، متین‌خواه س. ح. و سلیمانی م. ۱۴۰۱. مقایسه قابلیت گیاه‌پالایی گونه‌های اکالیپتوس و سنجد در حذف نیترات، فسفات و سولفات آب. ۴۶: ۸۷-۹۴. <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2022.13822.2393>

۱- کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۳- دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

* نویسنده مسئول: mehrii92ahmadi@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱

مقدمه

در حال حاضر بیابان‌زایی به‌عنوان یک معضل، گریبان‌گیر بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای در حال توسعه است. نتیجه این پدیده موجب از بین رفتن منابع تجدیدشونده در هریک از این کشورها می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از مهم‌ترین منابع تجدیدشونده، آب است که امروزه به‌صورت‌های مختلف آلوده شده است. نیترات و فسفات دو آلاینده مهم هستند که به‌وسیله کودهای شیمیایی ایجاد و سبب آلودگی محیط از جمله منابع آب می‌شوند (رحمانی و مامن‌پوش، ۱۳۸۶). نیترات باعث ایجاد بیماری‌ای به‌نام متهموگلوبینمی^۱ می‌شود (احمد پری و همکاران، ۲۰۱۹) و فسفات بیش از حد به‌عنوان عاملی در اختلالات استخوانی و بیماری مزمن کلیوی شناخته شده است (کومبا و همکاران، ۲۰۱۶). سولفات‌ها نیز به‌عنوان یکی دیگر از یون‌های اصلی موجود در آب‌های طبیعی و فاضلاب‌ها هستند. سولفات همانند مواد معدنی دیگر می‌تواند باعث بروز لایه‌های فلس‌مانند در لوله‌های آب شده و ممکن است موجب طعم نامطلوب در آب و نهایتاً بروز اسهال شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱). روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی متداولی در حذف این آلاینده‌ها از منابع آبی وجود دارد. به‌دلیل هزینه زیاد و کارایی محدود روش‌های فیزیکی و شیمیایی، در سال‌های اخیر روش‌های تصفیه طبیعی مناسب و ارزان‌قیمت مثل گیاه‌پالایی^۲ مورد بررسی قرار گرفته است. گیاه‌پالایی فناوری نسبتاً جدیدی است که علاوه بر محبوبیت عمومی، سازگار با محیط‌زیست، پایدار و برای کشورهای در حال توسعه بسیار مناسب و صرفه اقتصادی دارد (حضرت و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به محدودیت کمی و کیفی منابع آب و خاک کشور، امروزه به تولید محصولات کشاورزی در نظام‌های کشت بدون خاک توجه ویژه‌ای شده است. در این روش آب و مواد غذایی به میزان مورد نیاز در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و از هرز روی آن‌ها جلوگیری می‌شود (سون و همکاران، ۲۰۲۰). قابلیت گیاه‌پالایی گیاهان مختلفی در حذف نیترات، فسفات و سولفات توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعه‌ای برای بررسی قابلیت گیاه‌پالایی فسفات آب با

استفاده از گیاه کاهوی آبی^۳ در مخازن آبیاری کشاورزی صورت گرفت. نتایج نشان داد که این گونه توانایی حذف ۸۰ تا ۹۵ درصد از محتوای فسفات را دارد (کورنیان و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه‌ای ارزیابی چهار گونه درختی فندق^۴، سپیدار^۵، بید سفید^۶ و آقطی سیاه^۷ در حذف آلاینده نیترات صورت گرفت. نتایج نشان داد که طی ۱۵ روز، دو گونه سپیدار و بید سفید ۳۹ تا ۷۸ درصد نیترات و دو گونه فندق و آقطی سیاه تا ۳۰ درصد این آلاینده را حذف کردند (رگنی و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهشی از دو گیاه پامپاس^۸ و بامبو^۹ برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی سولفات با غلظت‌های بالا در سیستم کشت بدون خاک استفاده شد. مقادیر ۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای سولفات در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بالاترین ظرفیت حذف در ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات برای هر دو گیاه بوده است (صابر و همکاران، ۲۰۱۸). در تحقیقاتی پتانسیل گیاهان سنبل آبی^{۱۰}، پر طاووسی^{۱۱} و گل مرواریدی^{۱۲} در حذف غلظت‌های بالای نیتروژن و فسفر در فاضلاب مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که سه گیاه سنبل آبی، پر طاووسی و گل مرواریدی نسبت حذف نیتروژن به فسفر را به‌ترتیب ۱۰:۱، ۲۰:۱ و ۲۰:۱ داشته‌اند (لی و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات صورت‌گرفته توسط دهقان و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که غلظت سرب و مس در ساقه‌های دو گونه اکالیپتوس *E.camaldulensis* و *E.microtheca* تفاوت معنی‌داری ندارد؛ درحالی‌که ریشه‌ها قابلیت حذف بالاتری دارند. در آزمایشی دیگر از این دو گونه اکالیپتوس غلظت کادمیم و روی در ساقه گونه‌ها تفاوت معنی‌داری نداشته‌اند؛ درحالی‌که در برگ‌ها و ریشه‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان داد. در مطالعات کوپه و همکاران (۲۰۱۳) مقایسه غلظت روی در برگ‌ها و ساقه‌های گونه‌های اکالیپتوس، نشان داده‌است که غلظت در برگ‌ها نسبت به ساقه‌ها بیشتر است.

3- Pistia stratiotes

4- Corylus avellana L.

5- Populus alba L.

6- Salix alba L.

7- Sambucus nigra L.

8- Pampas Grass

9- Lucky Bamboo

10- Eichhornia crassipes

11- Myriophyllum elatinoide G.

12- Alternanthera philoxeroides

1- Metahemoglobina

2- Phytoremediation



شکل ۱- نمایی از مرحله کاشت گونه

جدول ۱- مقدار مواد مورد نیاز برای تهیه محلول کشت بدون خاک

مواد آزمایشگاهی	مقدار مورد نیاز (g/L ⁻¹)
نیترات پتاسیم	۳
مونو آمونیوم سدیم	۱/۵
فسفات پتاسیم	۱
سولفات منیزیم	۲/۵
سولفات روی	۰/۱
سولفات منگنز	۰/۲۵
سولفات مس	۰/۰۴
اسید بوریک	۰/۰۷
مولیبدات آمونیوم	۰/۰۱
نیترات کلسیم	۶
سولفات آهن	۳/۵

تهیه محلول آلاینده‌ها

پس از استقرار گیاهان محلول‌های حاوی نیترات، فسفات و سولفات در آزمایشگاه با غلظت‌های ۰، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر برای فسفات و سولفات و در غلظت‌های ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای نیترات تهیه شد. برای تهیه محلول‌های آلاینده نیترات، فسفات و سولفات به ترتیب از سه ماده شیمیایی نیترات پتاسیم (KNO_3)، مونوسدیم فسفات (NaH_2PO_4) و سولفات سدیم (Na_2SO_4) استفاده شد. با در نظر گرفتن جرم مولکولی نیترات پتاسیم ۱۰۱/۱۰۳۲ میلی‌گرم بر لیتر، نیترات ۶۲/۰۰۴۹ میلی‌گرم بر لیتر، مونوسدیم فسفات ۱۱۹/۹۸ میلی‌گرم بر لیتر، فسفات ۹۴/۹۷۱۴ میلی‌گرم بر لیتر، سولفات سدیم ۱۴۲/۰۴ میلی‌گرم بر لیتر و سولفات ۹۶/۰۶ میلی‌گرم بر لیتر مقدار نیترات پتاسیم، مونوسدیم فسفات و سولفات سدیم مورد نیاز برای غلظت‌های مختلف آلاینده نیترات، فسفات و سولفات طبق جدول ۲ به دست آمد.

جمع‌بندی سوابق تحقیقاتی مشاهده شده نشان می‌دهد که همواره گیاه پالایی در حذف آلاینده‌ها تأثیر بسزایی داشته است؛ بنابراین با توجه به اینکه گیاهان توانایی‌های مختلفی در پایش آلودگی دارند، باید از گیاهان مناسب برای پاکسازی محیط‌های آلوده استفاده شود. از طرفی گیاهان مختلفی را می‌توان به صورت بدون خاک کشت کرد، اما بعضی از آن‌ها موفقیت بیشتری در این سیستم دارند. طبق بررسی‌های صورت گرفته، تاکنون مطالعاتی در سطح منابع داخلی و خارجی برای حذف آلاینده‌های نیترات، فسفات و سولفات روی گیاهان مذکور صورت نگرفته است و از آنجایی که زهاب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی کشاورزی دارای مقدار زیادی نیترات هستند و همچنین زهاب خروجی از زهکش‌های سطحی نیز دارای مقداری فسفات هستند، این پژوهش برای جلوگیری از آلوده شدن رودخانه‌ها مناسب بوده و دارای توجیه اقتصادی است. بدین منظور این تحقیق می‌تواند اولین پژوهش در این زمینه در جهت تصفیه منابع آلوده در ایران باشد.

مواد و روش‌ها

گیاهان مورد مطالعه

آغاز پژوهش از ۱۵ اسفند ۹۵ در گلخانه دانشگاه صنعتی اصفهان با دمای ۴۰ درجه بود. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب پایه طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت. در ابتدا برای بررسی و مقایسه گیاه پالایی نیترات، فسفات و سولفات آب با استفاده از گونه‌های درختی اکالیپتوس کامالدونسس و سنجد نهال‌هایی از این درختان در گلدان‌های پلاستیکی با پوششی از سنگریزه‌های شسته شده کاشته شد. گلدان‌های در نظر گرفته شده، ۵۴ عدد و دارای حجمی حدود ۱۰ لیتر و قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر بوده‌اند. بدین صورت در ۲۷ گلدان گونه اکالیپتوس و ۲۷ تای دیگر گونه سنجد کاشته شد. ارتفاع نهال‌های موجود در گلدان‌ها به یک اندازه نبودند، اما سن و شرایط کشت یکسانی داشتند (شکل ۱).

کشت بدون خاک

در ابتدای کاشت، بسترهای کاشت آغشته به محلول کشت بدون خاک (با حجم ۲ لیتر) بودند و در هر هفته حدود ۲ بار محلول کشت بدون خاک به هر گلدان اضافه شد (جدول ۱).

واریانس داده‌ها با آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD انجام شد.

جدول ۲- مقدار نیتрат پتاسیم، مونوسدیم فسفات و سولفات سدیم مورد نیاز برای تهیه محلول با غلظت‌های مختلف آلاینده

آلاینده	محلول آلاینده با غلظت‌های مختلف (mg/L)	مقدار مورد نیاز (mg/L)
نیترات پتاسیم	۵۰	۸۱/۵۲
	۱۰۰	۱۶۳/۰۵
مونوسدیم فسفات	۳۰	۳۷/۸۹
	۶۰	۷۵/۷۹
سولفات سدیم	۳۰	۵۴/۴۱
	۶۰	۱۰۸/۸۳

نتایج و بحث

درصد حذف نیترات دو گونه اکالیپتوس و سنجد در غلظت‌های مختلف مقایسه شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که در دو گونه اکالیپتوس و سنجد، درصد حذف نیترات با گذشت زمان روند صعودی داشته است و حداکثر درصد حذف نیترات در هر دو تیمار مرداد بوده است که بیشترین درصد حذف برای گونه اکالیپتوس با میزان حذف ۸۶/۲۶ درصد و برای گونه سنجد ۸۳/۷۲ درصد بود.

درصد حذف فسفات دو گونه اکالیپتوس و سنجد در غلظت‌های مختلف مقایسه شد (شکل ۳). نتایج نشان داد که در گونه اکالیپتوس و سنجد، درصد حذف فسفات با گذشت زمان روند صعودی داشته و حداکثر درصد حذف فسفات در هر دو تیمار برای مرداد بوده که بیشترین درصد حذف برای گونه اکالیپتوس با میزان حذف ۹۵/۳۴ درصد و برای گونه سنجد ۸۸/۵۵ درصد بود.

درصد حذف سولفات دو گونه اکالیپتوس و سنجد در غلظت‌های مختلف مقایسه شد (شکل ۴). نتایج نشان داد که بین دو گونه اکالیپتوس و سنجد، درصد حذف سولفات با گذشت زمان روند صعودی داشته و حداکثر درصد حذف سولفات در هر دو تیمار برای مرداد بوده که بیشترین درصد حذف برای گونه اکالیپتوس با میزان ۸۶/۸ درصد و برای گونه سنجد ۹۰/۷۳ درصد بود.

نحوه اجرای آزمایش

پس از تهیه محلول‌ها، مقادیر مورد نیاز مونوسدیم فسفات، نیترات پتاسیم و سولفات سدیم همزمان در یک لیتر آب حل شد. محلول‌های آماده‌شده در حجم یک لیتر در ۳ خرداد ۱۳۹۶ با سه تکرار، به بستر کشت دو گیاه افزوده شد. در همین سال، ۳ بار اندازه‌گیری صورت گرفت. اولین، دومین و سومین اندازه‌گیری به ترتیب برای ۱۰ خرداد، ۲ تیر و ۳۱ مرداد انجام شد.

نمونه‌برداری

به منظور اندازه‌گیری نیترات، فسفات و سولفات، نمونه‌هایی از آب آلوده گرفته و به آزمایشگاه منتقل شد.

نحوه اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها

پس از انتقال بطری‌های پلاستیکی حاوی نمونه‌های آب به آزمایشگاه، مقدار نیترات، فسفات و سولفات آب آبیاری با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۲۰ و ۲۷۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (رضوانی‌پور و رضوی دینانی، ۱۳۹۳). سپس مقدار جذب تصحیح‌شده نمونه به دست آمد. با رسم منحنی کالیبراسیون (غلظت استانداردها در مقابل جذب)، شیب و عرض از مبدأ منحنی به دست آمد و با قرارگرفتن در فرمول غلظت آلاینده‌ها محاسبه شد.

اندازه‌گیری پارامترهای گیاهی

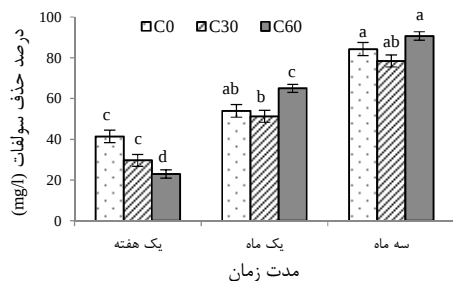
برداشت پارامترهای گیاهی هر هفته صورت گرفت که در این راستا تأثیر غلظت‌های مختلف آلاینده نیترات، فسفات و سولفات روی برخی از عوامل فیزیولوژیک گیاه (تبادل روزنه‌ای به وسیله برومتر و میزان کلروفیل به وسیله کلروفیل سنج) و قطر تنه گیاه به وسیله کولیس اندازه‌گیری شد. جمع‌آوری داده‌ها در دو نوبت (قبل از آبیاری و بعد از آبیاری) انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

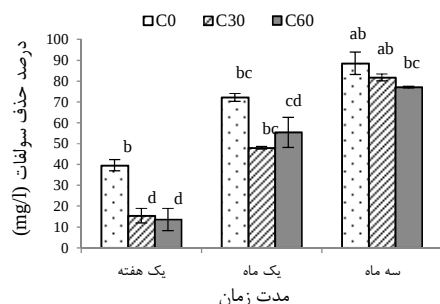
تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نسخه ۲۵ نرم‌افزار آماری SPSS^۱ انجام شد. قبل از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۲ صورت گرفت و در نهایت تجزیه

1- Statistical package for social science

2- Kolmogorov-smirnov test

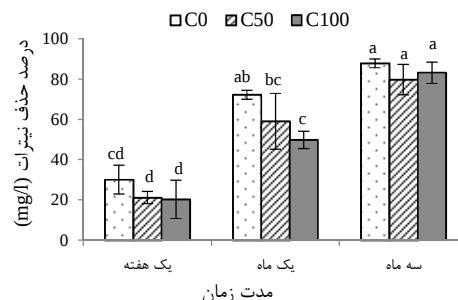


(الف)

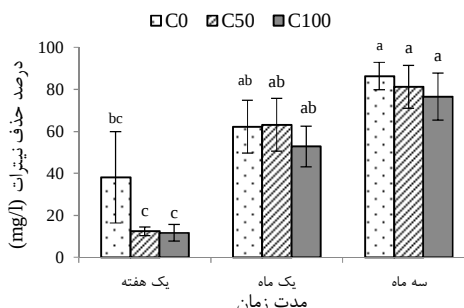


(ب)

شکل ۴- درصد حذف سولفات در غلظت‌های ۰، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر برای گونه اکالیپتوس (الف) و گونه سنجد (ب) حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری است.



(الف)

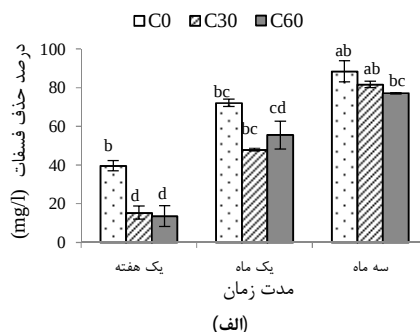


(ب)

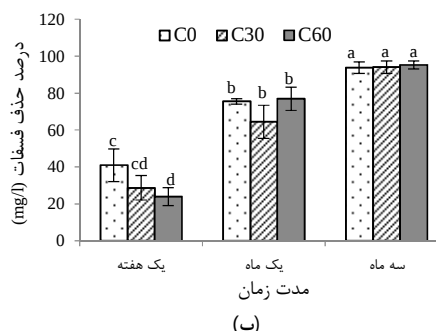
شکل ۲- درصد حذف نیترات در غلظت‌های ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای گونه اکالیپتوس (الف) و گونه سنجد (ب)

LSD سطح ۱ درصد آزمون

به‌طور کلی نتایج فوق نشان می‌دهد بیشترین درصد حذف نیترات، فسفات و سولفات در هر دو تیمار مربوط به مرداد (ماه سوم) بود؛ یعنی رشد بیشتر گیاه منجر به جذب یون‌های بیشتری از محیط شد. به عبارتی دیگر با افزایش غلظت آلاینده نیترات و فسفات، میزان حذف توسط گیاهان افزایش می‌یابد (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی دیگر با ورود آلاینده‌ها در ابتدای کشت، گیاه تحت استرس و تنش قرار گرفته که این عامل باعث شده با گذشت زمان از حساسیت گیاه کم شده و روند حذف حالت صعودی گرفته است (محو و همکاران، ۱۳۸۹). ساختارهای بیولوژیک جنس‌ها و گونه‌های گیاهی در ارتباط با محیط متفاوت است؛ در نتیجه عملکرد گونه‌ها در برابر آلاینده‌ها متفاوت است. از آنجایی که بیشترین درصد حذف آلاینده‌ها در غلظت‌های بالا بوده، گیاه در غلظت‌های بالاتر از خود مقاومت نشان داده‌است (ملکوتیان و همکاران، ۲۰۱۱). به عبارتی در تیمارهایی که درخت اکالیپتوس و سنجد کاشته شدند، اختلاف معنی‌داری در حذف نیترات، فسفات و سولفات وجود دارد.



(الف)



(ب)

شکل ۳- درصد حذف فسفات در غلظت‌های ۰، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر برای گونه اکالیپتوس (الف) و گونه سنجد (ب)

عملکرد پارامترهای گیاهی

براساس نتایج تجزیه واریانس یک هفته، یک ماهه و سه ماهه، نوع گونه‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر تمامی صفات گیاهی داشت و بیشترین عملکرد گونه‌ها در ارتفاع گیاه مشاهده شد (جدول ۳).

طبق جدول ۳، نتایج تجزیه واریانس نشان داد با افزایش آلایندۀ نیترات، گیاه برای حفظ تعادل، مقاومتش را بالا برده، در نتیجه میزان کلروفیل افزایش یافت. به عبارتی ارتباط مثبت و معنی‌داری بین مقادیر نیتروژن اضافه‌شده به گیاه و مقدار کلروفیل وجود دارد (میرزائی و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین افزایش گوگرد، مقدار کلروفیل گیاه را افزایش داده است (همتی و همکاران، ۲۰۱۲). از طرفی افزایش سطح فسفر در غلظت ۶۰ میلی‌گرم فسفات باعث افزایش کلروفیل نشده، بلکه آن را به شدت کاهش داده‌است که دلیل این امر سمیت بالای این ماده برای این گونه‌ها است (میرزائی و همکاران، ۱۳۹۳).

همچنین نتایج نشان داد که بین هدایت روزنه‌ای و میزان کلروفیل گیاه، همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. به عبارت دیگر با افزایش میزان کلروفیل گیاه، هدایت روزنه‌ای نیز افزایش می‌یابد و کاهش غلظت کلروفیل باعث کاهش در میزان هدایت روزنه‌ای می‌شود (روشنفکر دزفولی و همکاران، ۱۳۹۰). دیگر نتایج تجزیه واریانس به‌دست‌آمده، اثر متقابل گونه‌ها، آلایندۀها بر ارتفاع گیاه و تبادل روزنه‌ای در بازۀ زمانی سه ماهه است که در در سطح ۵ درصد معنی‌داری را نشان می‌دهد؛ بنابراین بین آلایندۀها و گونه‌های مختلف از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۳).

طبق جدول ۴، مقدار Sig. به‌دست‌آمده بیشتر از ۰/۰۵ است؛ یعنی تفاوت معنی‌داری بین میانگین صفات دو گونه اکالیپتوس و سنجد مشاهده نشده‌است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده دو گونه اکالیپتوس و سنجد

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Sig.
بین تیمارها	۵	۶۶۵۲/۴۹۶	۱۳۳۰/۴۹۹	۱/۴۸۱	۰/۱۷۵
درون تیمارها	۱۲	۲۱۰۱۱/۳۴۱	۱۷۵۰/۹۴۵		
کل	۱۷	۲۷۶۶۳/۸۳۷			

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری‌شده دو گونه اکالیپتوس و سنجد

میانگین مربعات											
منابع تغییرات	درجه آزادی	قطر تنه گیاه در هفته اول	ارتفاع گیاه در هفته اول	میزان کلروفیل در هفته اول	تبادل روزنه‌ای در هفته اول	قطر تنه گیاه در ماه سوم	ارتفاع گیاه در ماه سوم	میزان کلروفیل در ماه سوم	تبادل روزنه‌ای در ماه سوم		
تکرار	۲	^{ns} ۴/۵	^{**} ۶۸۴۳/۵	[*] ۱۴۷/۷	^{ns} ۳۰۹/۵	^{ns} ۴/۴	^{**} ۷۵۰۰/۵	^{**} ۳۵۵/۲	^{**} ۴۸۸/۰	^{ns} ۳/۰۱	^{ns} ۵۳۵/۵
گونه (A)	۱	^{**} ۸۸/۱	^{**} ۲۰۸۶/۶	^{**} ۱۶۵۷/۰	^{**} ۱۴۳۳/۹	^{**} ۸۴/۳	^{**} ۱۸۷۸/۶	^{**} ۳۰۰۰/۵	^{**} ۱۷۳۸/۴	^{**} ۸۸/۰	^{**} ۱۱۵۶/۱
آلایندۀ (B)	۲	^{ns} ۳/۲	^{ns} ۱۴۰/۱	^{**} ۱۸۸/۱	^{ns} ۲۶۱/۵	^{ns} ۴/۹	^{ns} ۱۶۸/۰	^{ns} ۳۳۴/۳	[*] ۳۶۲/۷	^{ns} ۵/۲	[*] ۲۶۵/۰۸۴
غلظت (C)	۲	^{ns} ۳/۵	^{ns} ۲۴۷/۳	^{ns} ۸۴/۹	^{ns} ۶۲/۰	^{ns} ۲/۹	^{ns} ۲۹۲/۸	^{ns} ۶۲/۷	^{ns} ۵۲/۹	^{ns} ۱/۵	^{ns} ۱۴/۷
(A*B)	۲	^{ns} ۲/۱	^{ns} ۸۶۲/۵	^{**} ۲۳۹/۹	^{ns} ۸۸/۸	^{ns} ۲/۰	[*] ۱۱۸۳/۸	^{ns} ۲۳۹/۹	^{ns} ۱۵۱/۹	^{ns} ۴/۶	[*] ۲۷۹/۷
(A*C)	۲	^{ns} ۵/۱	^{ns} ۵۷/۳	[*] ۱۱۳/۱	^{ns} ۵۱/۰	^{ns} ۴/۱	^{ns} ۴۷/۹	^{ns} ۱۱۳/۱	^{ns} ۳۸/۸	^{ns} ۶/۰	^{ns} ۶۳/۳
(B*C)	۴	^{ns} ۵/۷	^{ns} ۳۷۱/۳	[*] ۳۳/۴	^{ns} ۸۷/۱	^{ns} ۷/۵	^{ns} ۳۸۱/۹	^{ns} ۳۳/۴	^{ns} ۱۴۹/۲	^{ns} ۷/۳	[*] ۲۱۳/۲
(A*B*C)	۴	[*] ۹/۴	^{ns} ۱۴۹/۴	[*] ۹۵/۲	[*] ۲۱۸/۵	[*] ۱۰/۳	^{ns} ۱۲۲/۷	^{ns} ۹۵/۲	^{**} ۳۹۶/۹	[*] ۱۱/۸	^{**} ۵۰۶/۶
خطا	۳۴	۳/۶	۲۹۶/۳	۳۵/۹	۷۰/۷	۳/۲	۳۲۶/۷	۶۷/۷	۸۷/۲	۳/۶	۸۱/۷
ضریب تغییرات (%)	۳/۴	۳۱/۱	۹/۶	۱۱/۱	۱/۹	۳۰/۸	۱۱/۸	۱۳/۰	۲/۴	۳۰/۳	۱۳/۲

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در مناطق بیابانی به‌طور طبیعی، وضعیت بوم‌شناختی (اکولوژیک) از حساسیت ویژه‌ای برخوردار است و در صورت بهره‌برداری بی‌رویه، خیلی زود دستخوش بحران می‌شود و بازگشت به وضعیت اولیه آن به سادگی و سهولت امکان‌پذیر نیست، انتخاب گونه‌های مناسب برای گیاه‌پالایی می‌تواند راهکار مناسبی برای جلوگیری از روند بیابان‌زایی در عرصه‌های طبیعی باشد. بررسی قابلیت گیاه‌پالایی به روش کشت بدون خاک توسط گیاهان اکالیپتوس و سنجد برای کاهش و حذف نیترات، فسفات و سولفات برای اولین بار در این پژوهش انجام شد. نتایج این پژوهش حاکی از این است که دو گونه اکالیپتوس و سنجد از پتانسیل بالایی در برداشت نیترات، فسفات و سولفات برخوردار هستند. به‌طوری‌که با افزایش غلظت نیترات، فسفات و سولفات، افزایش میزان حذف آلاینده توسط دو گونه مشاهده شد. بیشترین غلظت حذف نیترات، فسفات بین دو گونه، برای گونه اکالیپتوس به‌ترتیب به میزان ۸۶/۲۶ و ۹۵/۳۴ و بیشترین غلظت حذف سولفات برای گونه سنجد به میزان ۹۰/۷۳ بوده است که نشان‌دهنده پتانسیل بالای هرگونه نسبت به حذف آلاینده‌ها است. همچنین اثر تیمارها بر روی پارامترهای گیاهی معنی‌دار و مؤثر واقع شده‌است؛ یعنی با گذشت زمان، گونه‌ها با شرایط محیطی سازگار شده و رشد اندام‌های گیاهی زیاد شده که این عامل سبب افزایش جذب آلاینده توسط کلروفیل‌ها شده و در حذف آلاینده‌ها از محیط کشت بدون خاک نقش بسزایی داشته‌است. در نتیجه این گیاهان وارد فرایندهای فیزیولوژیک گیاهی شده‌اند و بسیاری از آن‌ها در ترکیب‌های جدید دیگر آلاینده نخواهند بود و به این طریق گیاه می‌تواند به محیط خاک وارد شود. در پایان این نتیجه کلی قابل‌تصور است که استفاده از گونه‌های مذکور، روش مناسبی برای حذف آلاینده‌های نیترات، فسفات و سولفات محسوب می‌شود که علاوه بر هزینه کم و فناوری ساده، در اصلاح و بهبود محیط‌زیست نقش مؤثری دارند؛ بنابراین کاربرد این گونه‌ها در سطح کشور می‌تواند در اتخاذ سیاست‌های مدیریتی شهرداری و سازمان جنگل‌ها و مراتع مانند احداث پارک‌های جنگلی و ایجاد فضای سبز مؤثر واقع شود.

منابع

۱. احمدپور ز.، خرمی وفا و.، جلالی هنرمند س.، چقامیرزا ک. و خان‌محمدی م. ۱۳۹۴. توانایی علف چشمة و پونه در جذب نیترات و فسفات مازاد آب. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹(۴): ۷۶۵-۷۷۵.
۲. احمدی ح.، نظری سامانی ع. ا. اختصاصی م. ر.، مقیمی نژاد ف. و حسین‌آبادی م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر توسعه صنعتی و شهری (بیابانزایی تکنوژنیک) در بیابانزایی (مطالعه موردی: شرق اصفهان). نشریه پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۲(۵): ۶۳-۷۶.
۳. دهقان م.، مشکي ع. ر.، ملاشاهی م. و صلاحی ع. ۱۳۹۵. بررسی دو گونه اکالیپتوس میکروتکا و اکالیپتوس کامالدونسيس در جذب فلزات سرب و مس از خاک. مجله پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران). ۳۱(۳): ۶۴۲-۶۵۴.
۴. رحمانی ح. ر. و مامن پوش ع. ر. ۱۳۸۶. بررسی وضعیت نیترات و فسفات در رودخانه زاینده‌رود. انجمن مدیریت منابع آب ایران. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۲: ۱۵۴۵-۱۵۴۶.
۵. رضوانی پور ح. و رضوانی دینانی ز. ۱۳۹۳. تجزیه شیمیایی آب و خاک با دید زیست‌محیطی و بهداشتی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۲۷۸ ص.
۶. روشنفکر دزفولی ح. ا.، نبی‌پور م.، مرادی ف. و مسکرباشی م. ۱۳۹۰. تأثیر تغییر دما بر هدایت روزنه‌ای و غلظت کلروفیل در گندم. نشریه تولیدات گیاهی. ۳۴(۲): ۳۹-۵۲.
۷. عزیزاده م.، بذرافشان ا.، جعفری منصوریان ح. و رجبی‌زاده ا. ۱۳۹۱. شاخص‌های شیمیایی آب مورد استفاده در مراکز همودیالیز بیمارستان‌های وابسته به دانشگاه زاهدان. مجله سلامت و توسعه. ۲(۳): ۱۸۲-۱۹۱.
۸. محوی آ.، منصوریان ح. و رجبی‌زاده آ. ۱۳۸۹. بررسی کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون در حذف سولفات از محیط‌های آبی. دانشگاه علوم پزشکی قم. ۴(۳): ۲۱-۲۸.

19. Regni L. Bartucca M.L. Pannacci E. Tei F. Del Buono D. and Proietti P. 2021. Phytodepuration of Nitrate Contaminated Water Using Four Different Tree Species. *J. Sci. P. Italy*. 10(3): 515.
20. Saber A. Tafazzoli M. Mortazavian S. and James D. 2018. Investigation of kinetics and absorption isotherm models for hydroponic phytoremediation of waters contaminated with sulfate. *J. Sci. Iran*. 207(1): 276-291.
21. Son J. E. Kim H. J. and Ahn T. I. 2020. Hydroponic Systems. *Plant Factory*. 273-283.
۹. میرزایی ن. ریحانی تبار ع. اوستان ش. و حقیقت افشار م. ۱۳۹۳. تأثیر مصرف توأم آرسنیک و فسفر بر ویژگی‌های رشد و جذب آرسنیک و فسفر توسط گندم و گل جعفری. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۴۵(۳): ۳۵۳-۳۶۷.
۱۰. میرزائی م. معروفی ص. سلگی ع. عباسی م. و کریمی ر. ۱۴۰۰. برآورد غیرمخرب کلروفیل و نیتروژن در برگ انگور با استفاده از داده‌های ابرطیفی زمینی و کاربرد روش ماشین بردار پشتیبان. *مجله پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران)*. ۳۴(۱): ۱۵۲-۱۶۷.
11. Ahmadpari H. Eskafi Noghany M. Rigi Ladez B. Mehrparvar B. and Momeni S. 2019. Kinetics modeling and isotherms for adsorption of nitrate from aqueous solution by wheat straw. *Revista Tecnologia Ambiente*. 25: 203-214.
12. Coupe K. Sallami E. and Ganjian E. 2013. Phytoremediation of heavy metal contaminate d soil using different plant Species. *J. Bio. African*. 12(43): 6185 -6192.
13. Hazrat A. Ezzat K. and Muhhamadanwar S. 2013. Phytoremediation of heavy metals, Concepts and applications. *J. Sci*. 91(7): 869-881.
14. Hemmaty S. Dilmaghani M. R. and Naseri L. 2012. Effects of Sulfur Application on Soil pH and Uptake of Phosphorus, Iron and Zinc in Apple Trees. *J. plant physiology and breeding*. 2(1): 1-10.
15. Komaba H. and Fukagawa M. 2016. Phosphate—a poison for humans? *International Society of Nephrology*. 90(4): 753-763.
16. Kurniawan A. Khasanah K. and Jayatri F. N. M. 2022. Study on the Application of Phytoremediation of Phosphate Content to Eutrophication in Cengklik Reservoir, Boyolali Regency. *International Conference on Disaster Management and Climate Change*. *J. Sci. Earth and Environmental*. 986(1).
17. Li X. Li Y. Li Y. and Wu J. 2021. The phytoremediation of water with high concentrations of nitrogen and phosphorus contamination by three selected wetland plants. *J. water process Engineering*. 40 p.
18. Malakotian M. and Hashemi H. 2011. New Methods Analysis of Nitrate Removal from Water Resources. *J. T. e. Behdasht, Iran*. 13(6): 1-24.