علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره چهار، تیر ماه ۹۹

ارزیابی توان گیاه پالایی آب تره (*Nasturium officinale L.*) در رفع آلودگی کادمیوم

مریم جعفر زاده رزمی[۱]

مهناز اقدسی*[۲]

Aghdasi1346@gmail.com

احمد عبدل زاده[۳]

حمیدرضا صادقی پور[٤]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۳۰ **تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۸**

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین از مهمترین مسایلی است که می‌تواند بر روی رشد و نمو گیاهان و جانوران تاثیر بسزایی داشته باشد. کادمیوم یک فلز آلاینده محیطی است که اثراتی سو بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان دارد. هدف از این پژوهش بررسی امکان رفع آلودگی آب‌های آلوده به کادمیوم با استفاده از گیاه آب‌تره است.

روش بررسی: در این پژوهش اثر سطوح مختلف کلرید کادمیوم (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار) بر خصوصیات فیزیولوژیکی و توان جذب گیاه آب تره انجام شد. آزمایش درقالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف تیمار کادمیوم بر خصوصیات فیزیولوژیکی و میزان کادمیوم در گیاه معنی‌دار بود. به طوری که وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، ارتفاع ریشه و اندام هوایی، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه با افزایش سطوح کادمیوم روند کاهشی داشتند. همچنین هرچه سطوح کادمیوم در محیط کشت افزایش یافت، غلظت کادمیوم در ریشه و اندام هوایی گیاه افزایش یافت. بیش‌ترین محتوای کادمیوم در هر دو اندام ریشه و ساقه گیاه آب تره درغلظت ۵۰۰ میکرومولار کادمیوم مشاهده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج حاضر نشان داد که گیاه آب‌تره توانایی پالایش کادمیوم از آب‌های آلوده به این فلز را دارد.

واژه‌های کلیدی: آب‌تره، آلودگی، کادمیوم، رشد، گیاه پالایی.

۱- کارشناسی‌ارشد فیزیولوژی‌گیاهی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۲- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران (مسوول مکاتبات)

۳- استاد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۴- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

Evaluation of Phytoremediation Potential of *Nasturtium Officinal* L. for Cadmium Contamination Elimination

Maryam Jafarzadeh Razmi[1]
Mahnaz Aghdasi[2*]
Aghdasi1346@gmail.com
Ahmad Abdolzadeh[3]
HamidReza Sadeghipour[4]

Accepted: 2018.02.07 Received: 2017.09.21

Abstract

Background and Objective: One of the most fundamental problems that may affect growth and development of plants and animals are environmental pollution by some heavy metals. Cadmium is a contaminant metal which has harmful effects on the physiological activity of the plant. The aim of this study was to investigate the possibility of using the *Nasturtium officinal* plants for clarifying of contaminated water and evaluation of this plant ability for phytoremediation.

Method: In this study the effect of different concentrations of Cadmium (including 10, 50, 100, 300 and 500 µM $CdCl_2$) was investigated on physiological parameters and Cadmium absorption of *Nasturtium officinal* plant. The experiment was carried out in completely randomized design with three replications.

Findings: The obtained result showed that the effects of Cd was significant on growth, physiological characters and the amount of Cadmium in plants, so that fresh and dry weight of shoot and root, height of shoot and root and the photosynthetic pigments increased as levels of Cadmium increased in nutrient solution. By increasing Cadmium concentration in medium culture, the amount of Cadmium was enhanced in roots and shoots. The highest Cadmium content in both root and shoot organs was observed in 500µM cadmium treatment.

Discussion and Conclusion: The current results revealed that *Nasturtium officinal* plants have certain ability for Cd phytoremediation.

Key words: *Nasturtium Officinal L.*, Contamination, Phytoremediation, Growth, Cadmium.

1 - M.Sc., Plant Physiology, Golestan University, Gorgan, IRAN

2- Associate Professor, Dept. of Biology, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, IRAN * (Corresponding Author)

3 - Professor, Dep. of Biology, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, IRAN

4 - Associate professor, Dept. of Biology, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, IRAN

مقدمه

امروزه آلودگی محیط زیست به عنوان یکی از مباحث بسیار مهم در زندگی بشر مطرح است. فلزات سنگین از منابع آلاینده محیط زیست ازجمله آب و خاک می‌باشند که در صورت تجمع در خاک و جذب به وسیله گیاه، به زنجیره‌های غذایی وارد شده و در گیاهان و یا افراد تغذیه‌کننده از آن‌ها مسمومیت ایجاد می‌کنند (۱). کادمیوم یک فلز آلاینده محیطی است که در طبیعت منتشر می‌شود. منابع مختلف مانند فاضلاب شهری و مواد سوختی، غلظت این آلاینده را افزایش می‌دهند. همچنین استفاده از کودهای شیمیایی مخصوصاً کودهای فسفاته مقدار این عنصر را در خاک افزایش می‌دهد (۲). کادمیوم به راحتی به وسیله ریشه گیاه جذب می‌شود. این عنصر هیچ نقش بیولوژیکی در گیاهان ندارد، اما بیش‌ترین سمیت را برای گیاهان و جانوران ایجاد می‌کند. سمّیت این عنصر ۲۰ برابر بیش‌تر از سایر فلزات سنگین است (۳).

این عنصر به علت سمیت و تحرک زیاد یک آلاینده اساسی به شمار می‌رود. عوامل مهمی در جذب کادمیوم توسط گیاهان تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به غلظت کادمیوم خاک و میزان در دسترس بودن آن، تغییر شکل در حضور مواد آلی دیگر، pH خاک، پتانسیل احیاکنندگی، دما و غلظت سایر فلزات اشاره کرد. یون کادمیوم به شکل Cd^{2+} بیش‌ترین شکل کادمیوم قابل جذب توسط گیاه است (۴). این عنصر به دلیل رقابت با عنصر کلسیم سبب اختلال درجذب ریشه‌ای کلسیم می‌شود. توانایی جایگزینی کادمیوم با روی سبب می‌شود که این عنصر در بسیاری ازفرآیندهای متابولیسمی و ژنتیکی ازجمله اکسیداسیون اسیدهای چرب، فعالیتRNA پلیمراز و در واکنش‌های آنزیمی اختلال ایجاد کند. علایم جذب کادمیوم در گیاه را به صورت بروز لکه‌های زرد، خشکیدگی بر روی برگ و ریزش برگ‌ها، جلوگیری ازفتوسنتزکامل وجذب وانتقال عناصرمعدنی در گیاه، چوب‌پنبه-ای شدن، صدمه به ساختمان داخلی وخارجی ریشه و اختلال درتنفس به وقوع خواهد پیوست. از طرفی دیگر کادمیوم اثرات زیان‌باری بر سلامت انسان دارد. شیوع برخی بیماری‌ها در انسان به کادمیوم نسبت داده شده است. تجمع کادمیوم در کلیه باعث دفع زیاد پروتئین‌ها می‌شود. همچنین شواهد نشان داده که کادمیوم عامل بروز برخی از انواع سرطان نظیر سرطان پروستات و ریه است (۵).

آب‌تره با نام علمی *Nasturium officinale L.*، گیاهی گلدار از خانواده شب‌بواست که در کنار جوی‌ها و باتلاق‌ها می‌روید. آب‌تره با نام‌های بولاغ‌اوتی، علف چشمه، شاهی‌آبی و ترتیزک آبی نیز شناخته می‌شود. این گیاه به ارتفاع ۱۰ تا ۶۰ سانتی‌متر با برگ‌های کوچک به رنگ سبز تیره و گل‌های کوچک سفید و ساقه‌های خزنده است که به صورت وحشی در بسیاری از نقاط آسیا و اروپا می‌روید (۶). آب‌تره مقدار قابل توجهی آهن، کلسیم و اسید فولیک در خود دارد. این گیاه هم به دلیل خاصیت‌های دارویی و هم مزه تند و خوش‌گوار آن مورد علاقه بسیاری بوده است. میزان ید در این گیاه بالا بوده و لذا درمان بیماران مبتلا به کم کاری تیرویید سودمند ساخته است. از این گیاه در بهبود سرفه و گلودرد، هضم غذا، رفع شکنندگی پوست، کاهش حساسیت، برونشیت، طاسی سر، زیباشدن صورت، تصفیه خون، سوءهاضمه، نقرس، رماتیسم، رفع جوش‌های صورت، لکه‌های آفتاب‌زدگی، گواتر، اگزما، گلودرد، ازدیاد شیر، رفع خونریزی، دردهای سیاتیک و پیسی استفاده می‌شود (۷).

تاکنون روش‌های متعددی برای حذف آلاینده های زیست محیطی پیشنهاد شده است که می‌توان به روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی اشاره کرد. روش‌های فیزیکی و شیمیایی ضمن آن‌که بسیار پر هزینه می‌باشند، خصوصیات خاک را تغییر داده، تنوع زیستی را از بین برده و در نهایت خاک را به یک محیط بی‌فایده و غیرقابل استفاده برای رشد گیاهان تبدیل می-کنند (۸). اما گیاه پالایی روشی کم هزینه بوده و نیازی به افراد با تخصص بالا ندارد. ضمن آنکه این روش قابلیت پالایش ترکیبات آلی و غیر آلی را داشته و در مقایسه با سایر روش‌ها

مانع از تخریب خاک خواهد شد. گیاه‌پالایی یکی از به روزترین روش‌ها برای رفع آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین، ترکیبات آلی، علف‌کش‌ها و هیدروکربن‌های نفتی و مواد رادیواکتیو است که با استفاده از گیاهان صورت می‌گیرد. گزارش-ها نشان داده که از گیاهان آبزی برای پاک‌سازی آب‌های آلوده در مناطق هسته‌ای روسیه استفاده شده است. این نتایج نشان داد که برخی از گیاهان قادر هستند بعضی از انواع فلزات-سنگین را بدون نشان دادن علایم سمیت، در بافت‌هایشان ذخیره کنند (۹). گیاهان بر حسب گونه، توانایی جذب و نگه‌داری برخی از انواع فلزات سنگین را در خود دارند و از این طریق می‌توانند سبب پاک‌سازی آلاینده‌های محیط زیست شوند (۱۰). مطالعات پیشین نشان داد که برخی انواع گیاهان آبزی و جلبک‌ها قادر به انباشتن فلزات سنگین نظیر (کادمیوم، کروم، سرب، کبالت، نقره، سلنیوم و جیوه) هستند (۱۱). اگرچه انباشتن بیش از اندازه فلزات سنگین می‌تواند برای بیشتر گیاهان سمی باشد، اما برخی از گونه‌های گیاهی قادر به انباشتن و نیز تحمل این فلزات هستند (۱۲). به عنوان مثال آزولا از جمله گیاهانی است که قادر به جذب و انباشتن فلزات سنگین از آب‌های آلوده بوده و نسبت به آن متحمل است. گزارش‌ها نشان داده که خانواده‌های سیب‌زمینی، آفتابگردان، شب‌بو و اسفناج توانایی بالایی در انباشتن کادمیوم دارند. بررسی‌های انجام شده بر روی برخی از گیاهان خانواده شب‌بو نشان داده که گیاهانی نظیر شلغم، خردل سیاه و خردل سفید توانایی بالایی در جذب کادمیوم دارند (۱۳). از طرفی دیگر گزارش‌هایی مبنی بر استفاده از دست‌ورزی‌های ژنتیکی به منظور افزایش سازگاری گیاهان به تنش فلزات سنگین منتشر شده است. از طرفی دیگر نشان داده شده که با انتقال ژن ترهالوز-۶-فسفات سنتتاز *(AtTPS1)* از گیاه آرابیدوپسیس به گیاه تنباکو میزان مقاومت این گیاه به تنش فلزات سنگین افزایش می یابد (۱۴).

پیش از این توانایی جذب برخی از انواع فلزات سنگین توسط گیاه آب‌تره مورد بررسی گرفته است. این گزارش نشان داده که چنان‌چه گیاه آب‌تره به مدت ۱۴ روز در محیط کشت حاوی ۱ میلی‌گرم در لیتر از عنصر کروم رشد کند، توانایی انباشتن این فلز را تا ۷۶۲میکروگرم در هر گرم وزن خود دارد. همچنین گزارش‌های دیگری در ارتباط با انباشتن عناصری مانند روی **(Zn)**، مس **(Cu)** و نیکل **(Ni)** توسط این گیاه منتشر شده است (۱۵).

با توجه به آن‌که امروزه آلودگی آب‌ها به فلزات سنگین به عنوان یک مشکل جدی در دنیا مطرح است، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه آب‌تره و نیز توانایی این گیاه در پالایش آب‌های آلوده از فلز سنگین کادمیوم طرح‌ریزی شده است.

مواد و روش‌ها:

جمع آوری نمونه و شرایط کشت: گیاه‌چه‌های تازه روییده آب‌تره ازروستای کلو در ۵ کیلومتری شهرستان آزادشهر در استان گلستان جمع‌آوری و با آب مقطر شستشو شدند. سپس گیاه‌چه‌ها به محیط کشت ½ هوگلند انتقال داده شدند. pH محیط کشت به طور روزانه اندازه‌گیری و بر روی عدد ۷ تنظیم شد. بعد از۴ هفته رشد، سطوح مختلف تیمار کلریدکادمیوم(۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار) بر روی گیاه‌چه‌ها در محیط کشت هوگلند آغازشد. کلیه آزمایشات درطرح کاملاً تصادفی انجام شد. گیاه‌چه‌های آب‌تره پس از۷روز تیماردهی جمع‌آوری و جهت اندازه‌گیری فاکتورهای مختلفی مانند وزن تر و خشک، طول ساقه و ریشه، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عنصرکادمیوم به آزمایشگاه انتقال یافتند.

اندازه‌گیری وزن تروخشک گیاه: ریشه گیاه‌چه‌ها بعد از برداشت با آب مقطر شسته شده و با دستمال کاغذی خشک شدند. سپس ریشه‌ها ازبخش هوایی جدا ووزن هرکدام به طور جداگانه اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، اندام-های ریشه و بخش هوایی به طور جداگانه به مدت ۴۸ ساعت دردمای^{o}C ۷۲ درآون خشک شده و سپس توزین شدند.

استخراج عصاره گیاهی: ۰/۰۵ گرم ازپودر خشک گیاه را درلوله آزمایش ریخته و به آن ۵ میلی‌لیتراتانول ۷۰درصد اضافه وبه مدت یک‌هفته دریخچال نگهداری شدند. پس ازیک‌هفته عصاره‌ها به مدت۱۵دقیقه در۱۰۰۰۰ دور در دمای اتاق سانتریفوژ شدند. عصاره به دست آمده جهت سنجش قند محلول مورداستفاده قرارگرفت.

سنجش میزان کلروفیل وکاروتنویید: ابتدا مقدار ۰/۰۵ گرم بافت تازه گیاهی در۳ میلی‌لیتراستون ۸۰٪ ساییده شده وسپس مخلوط به دست آمده به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت۱۳۰۰۰ دور دقیقه سانتریفیوژشد. درنهایت فاز استونی فوقانی برای سنجش کلروفیل وکاروتنویید جدا شد. جذب عصاره‌ها با استفاده ازدستگاه اسپکتوفتومتر (ShimadZU UV-۱۶۰A) در پنج-طول موج ۴۷۰، ۶۴۵، ۶۴۶،۸،۶۶۳ و ۶۶۳/۲ نانومتر نسبت به شاهد (استون ۸۰٪) اندازه‌گیری شد (۱۶).

اندازه‌گیری کادمیوم: پس از شستشوی نمونه گیاهی با آب مقطر، قطعات گیاهی در کاغذ فویل آلومینیوم پیچیده شده و به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شدند. سپس به ۰/۰۵ میلی‌گرم از نمونه گیاهی ۲۵ میلی‌لیتر محلول HNO_3 اضافه و به مدت یک شب در اسید قرارداده شد. در مرحله بعدی نمونه ها در ظروف در بازدردمای^oC ۲۵۰ حرارت داده شدند تا محتوای مایع ظروف بخار وتقریباً خشک شود. به منظور تکمیل مرحله هضم ۵ میلی‌لیتر دیگر از پراکسیدهیدروژن ۳۰٪ به نمونه‌ها اضافه و مجددا نمونه ها حرارت داده شد تا تمامی محلول تبخیر شود. سپس دیواره ظروف حاوی نمونه‌ها با آب مقطر شسته شده و مخلوط تا جوشیدن حرارت داده شد. محتوای ظروف بعدازخنک شدن به ظروف استاندارد ۲۵ میلی‌لیتری منتقل وبا آب مقطربه حجم رسانده شدند. اندازه‌گیری میزان کادمیوم نمونه‌های گیاهی بادستگاه جذب اتمی مدل Spectra AA-10 محصول شرکت Varian از کشور استرالیا انجام شد (۱۷).

اندازه گیری فاکتورتجمع زیستی و فاکتور انتقال: فاکتورتجمع زیستی بخش هوایی (CFS) و ریشه (BCFR) و فاکتورانتقال (TF) گیاه با استفاده ازفرمول‌های زیر محاسبه شد. در این فرمول C نشان‌دهنده غلظت فلزا است (۱۸).

$$CFS = \frac{Cshoot}{Csoil}$$

$$BCFR = \frac{Croot}{Csoil}$$

$$TF = \frac{Cshoot}{Croot}$$

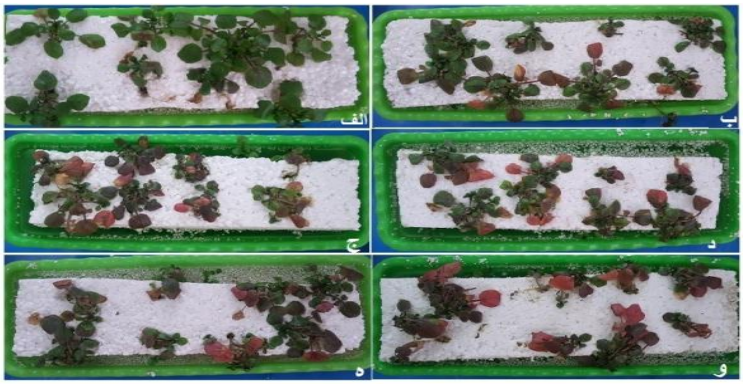
آنالیزهای آماری: آنالیز و تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار Excel و SASو همچنین بررسی معنی‌داربودن داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس و تست دانکن استفاده شد.

یافته ها

اثر تیمار کلرید کادمیوم بر صفات رشد

گیاه‌چه‌های آب‌تره پس از یک هفته تیمار با سطوح مختلف کلرید کادمیوم تفاوت قابل ملاحظه‌ای از نظر رشد با یکدیگر نشان دادند. با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت هوگلند رشد گیاه‌چه‌ها در مقایسه با شاهد (غلظت صفر میکرومولار) کمتر شده و برگ‌ها به رنگ قرمز درآمدند (شکل ۱). نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کلرید کادمیوم طول ساقه و ریشه کاهش می‌یابد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان طول ریشه و ساقه در غلظت صفر و ۵۰۰ میکرومولار دیده‌شده است. بررسی اثر تیمار غلظت-های مختلف کادمیوم بر وزن تر ریشه نشان داد که کمترین میزان وزن تر در غلظت ۵۰۰ میکرومولار کلریدکادمیوم دیده می‌شود. این نتایج نشان داد که تیمار غلظت‌های مختلف کادمیوم تفاوت معنی‌داری را در وزن تر ریشه در مقایسه با تیمار شاهد ایجاد کرده است. کمترین میزان وزن تر بخش هوایی در تیمار ۵۰۰ میکرومولار کلرید کادمیوم دیده شده که نسبت به نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری داشته است. بررسی اثر غلظت‌های مختلف کلرید کادمیوم بر گیاه‌چه آب‌تره نشان داد که با افزایش میزان کادمیوم در محیط کشت وزن خشک بخش هوایی کاهش می‌یابد. این نتایج نشان داد که تیمار گیاه‌چه‌ها با غلظت ۵۰۰

میکرومولار کلرید کادمیوم سبب کاهش قابل ملاحظه در وزن خشک ریشه در مقایسه با نمونه شاهد می‌شود . همچنین این نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت وزن خشک بخش هوایی کاهش می‌یابد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان وزن خشک بخش هوایی به ترتیب در تیمار صفر و ۵۰۰ میکرو مولار کلرید کادمیوم مشاهده شده است (جدول ۱). نتایج آنالیز واریانس داده‌های بدست آمده نشان داد که اثر تیمار کادمیوم بر صفات مورد بررسی وزن تر بخش هوایی و ریشه، وزن خشک بخش هوایی و ریشه و طول ریشه و ساقه در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۲).



شکل ۱- گیاهچه‌های آب‌تره پس از یک هفته تیمار با الف) صفر، ب)۱۰، ج)۵۰، د)۱۰۰، ه)۳۰۰ و و)۵۰۰ میکرومولار کلرید کادمیوم.

Figure 1- *Nasturium officinale* seedlings after one week treatment by A) 0, B) 10, C) 50, D) 100, E) 300 and F) 500 µM $CdCl_2$

جدول ۱- اثر تیمار غلظت‌های مختلف کلرید کادمیوم بر طول و وزن ریشه ساقه گیاهچه‌های آب‌تره در محیط‌کشت هوگلند.

Table 1- The effect of different concentrations of $CdCl_2$ treatment on length and weight of root and stem of *Nasturium officinale* seedlings in Hogland culture medium.

کادمیوم (میلی مولار)	طول ریشه (میلی‌متر)	طول ساقه (میلی‌متر)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن تر بخش هوایی (گرم)	وزن خشک بخش هوایی (گرم)
۰	۱۲۲±۱/۲۰۱^{a}	۶۰±۱/۱۵۴^{a}	۱۹/۷۳±۳/۱۷۹^{a}	۱/۲۳±۲/۹۵^{a}	۱۷/۷۸±۰/۳۳۵^{a}	۱/۱۴±۰/۳۴^{a}
۱۰	۱۲۰±۳/۷۸۵^{a}	۵۵±۰/۸۸۱^{a}	۱۶/۱۵±۲/۰۵۵^{b}	۱/۱±۲/۹۴^{b}	۱۴/۰۶±۰/۱۰۴^{b}	۱/۰۳±۰/۲۸^{b}
۵۰	۱۱۴±۰/۵۷۷^{a}	۵۰±۱/۴۵۲^{b}	۱۳/۹۷±۲/۰۲۷^{c}	۰/۸۱±۲/۸۴^{c}	۱۳/۴۲±۰/۹۴^{b}	۰/۸۱±۰/۱۲^{c}
۱۰۰	۱۰۵±۰/۱۵۴^{b}	۴۹±۱/۴۵۲^{b}	۱۲/۸۴±۰/۳۳۳^{c}	۰/۵±۲/۷۲^{d}	۱۱/۸۱±۰/۶۷۹^{c}	۰/۷۵±۰/۲۴^{d}
۳۰۰	۹۹±۱/۱۵۴^{b}	۴۱±۰/۸۸۱^{c}	۱۰/۹۴±۰/۳۳۲^{d}	۰/۲۴±۲/۷۱^{e}	۱۰/۶۸±۰/۳۱۸^{d}	۰/۵۱±۰/۱۱^{e}
۵۰۰	۸۳±۱/۸۵۵^{c}	۳۴±۰,۸۸۰^{c}	۹/۱۵±۱^{d}	۲/۶۹±۰/۱۱^{f}	۹/۲۴±۰/۵۰۷^{d}	۰/۴۱±۰/۰۳۴^{f}

ستون‌های حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن درسطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر تیمار کلریدکادمیوم بربرخی فاکتورهای رشد

Table 2- Analysis of variance of effect of $CdCl_2$ on some growth parameters

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر بخش هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه	طول ریشه	طول ساقه
کلرید کادمیوم	۳	۰/۱۸۰۷*	۰/۰۰۱۵*	۰/۰۰۰۱۲*	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۵*	۰/۰۰۱۶*
خطا	۱۵	۰/۱۰۱۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲

*درسطح کم‌تراز ۱ درصد معنی‌دار است.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کلروفیل a به ترتیبب در تیمار صفر و ۵۰۰ میکرومولار دیده شده است. اما بین تیمارهای ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار تفاوت معنی‌داری در میزان کلروفیل a دیده نمی‌شود. همچنین تیمار گیاه‌چه‌های آب تره با غلظت‌های مختلف کلرید کادمیوم سبب کاهش میزان کلروفیل b و کلروفیل کل شده است. بررسی میزان کاروتنوییدها در گیاه‌چه‌های تیمار شده نشان داد که بین غلظت‌های مختلف به‌کار برده شده تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود (جدول ۳). نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف کلرید کادمیوم، بر میزان کلروفیل a، کلروفیل کل و میزان کاروتنویید در سطح ۵ ٪ معنی‌دار بوده، اما بر میزان کلروفیلb در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۴).

میزان کادمیوم

نتایج حاصل از سنجش میزان کلرید کادمیوم در بخش هوایی گیاه‌چه آب‌تره نشان داد که در تیمار صفر میکرومولار، میزان کادمیوم تقریبا ناچیز می‌باشد. درحالی که با افزایش غلظت کلرید کادمیوم در محیط کشت، میزان کادمیوم در بخش هوایی افزایش یافته است. بیش‌ترین میزان کادمیوم در تیمار ۵۰۰ میکرومولار دیده شده است. در تیمار صفر میکرومولار میزان کادمیوم در ریشه شاهد تقریبا ناچیز بوده درحالی که با افزایش غلظت - کادمیوم در محیط کشت، میزان کادمیوم این اندام افزایش یافته است. بیش‌ترین میزان کادمیوم در اندام ریشه نیز در تیمار۵۰۰ میکرومولار دیده شده است (جدول ۳). نتایج آنالیز واریانس داده-های به‌دست آمده نشان داد که تیمار غلظت‌های مختلف کلرید - کادمیوم اثر معنی‌داری در سطح ۵٪ بر میزان کادمیوم بخش هوایی گیاه‌چه‌های آب‌تره داشته در حالی‌که بر میزان کادمیوم انباشته شده در ریشه درسطح کم‌تر از ۱٪ معنی‌داری است (جدول ۵). محاسبه فاکتورتجمع زیستی کادمیوم نشان داده که بین اندام ریشه وبخش هوایی تفاوت چندانی وجود ندارد. اما محاسبه فاکتورانتقال کادمیوم ازریشه به بخش هوایی درگیاه آب‌تره نشان داده که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت این فاکتور از ۰/۷۵ به ۱/۱۱ افزایش می‌یابد (جدول ۶).

جدول ۳- اثر تیمار غلظت‌های مختلف کلریدکادمیوم بر میزان کلروفیل a ، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و میزان کادمیوم در بخش ریشه و بخش هوایی گیاهچه‌های آب‌تره درمحیط کشت هوگلند.

Table 4- The effect of different concentrations of $CdCl_2$ treatment on the amount of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid and the amount of cadmium in root and aerial part of *Nasturium officinale* seedlings in Hogland culture medium.

کادمیوم (میلی مولار)	کلروفیل a (میلی‌گرم/گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم/گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم/گرم وزن تر)	کاروتنویید (میلی-گرم/گرم وزن تر)	کادمیوم ریشه (میکروگرم/گرم وزن خشک)	کادمیوم بخش هوایی (میکروگرم/گرم وزن خشک)
۰	۸۰/۷۷±۰/۳۰^{a}	۱۶۷/۲۸۸±۴/۷۰^{a}	۲۷۰/۸۱±۰/۲۸^{a}	۷۹/۵۶±۲/۳۳^{a}	۰^{a}	۰^{a}
۱۰	۸۰/۷۷±۰/۳۰^{a}	۱۲۳/۶۰±۱/۰۴۰^{a}	۲۴۶/۸۷±۵/۷۴^{b}	۷۹/۱۲±۳/۱۳^{ab}	۶۹۳/۸±۱۴/۲۱^{b}	۶۸۷/۱±۱۱/۰۴۰^{b}
۵۰	۷۷/۵۶±۴/۹۴^{b}	۱۱۶/۰۱±۶/۲۰^{b}	۲۲۵/۴۹±۱۰/۲۶^{c}	۷۸/۱۹±۵/۰۸^{ab}	۷۳۲/۱±۱۲/۲۰^{c}	۸۱۲/۷±۶/۲۰^{b}
۱۰۰	۷۷/۰۸±۲/۴۴^{b}	۱۱۰/۹۸±۷/۲۷^{b}	۲۲۹/۱۹±۱۰/۳۶^{c}	۶۷/۸۴±۲/۶۳^{ab}	۸۷۰/۵۰±۱۷/۲۷^{d}	۸۹۰/۵۰±۷/۲۷^{c}
۳۰۰	۷۶/۵۷±۲/۹۶^{b}	۱۱۲/۰۵±۳/۴۲^{c}	۲۱۷/۶±۵/۳۲^{c}	۶۴/۴۷±۳/۷۷^{ab}	۹۳۵/۵±۱۰/۴۲^{d}	۹۰۰/۵±۱۳/۴۲^{d}
۵۰۰	۵۴/۴۱±۲/۵۵^{c}	۹۸/۰۱±۴/۱۰^{d}	۱۸۹/۷۸±۸/۰۱^{e}	۶۴/۳۷±۲/۹۳^{ab}	۹۵۸/۲±۱۸/۱۰^{e}	۹۵۱/۳±۱۴/۱۰^{d}

ستون‌های حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن درسطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول۴- آنالیز واریانس داده‌های مربوط به میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در تیمارهای مختلف کلریدکادمیوم

Table 2- Analysis of variance of effect of different treatments of $CdCl_2$ on photosynthetic pigments

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنویید
کلرید کادمیوم	۱	۰/۰۹۷**	۰/۰۰۴*	۰/۱۴**	۰/۰۰۶**
خطا	۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱

* در سطح کم‌تر از 1درصد معنی‌دار است . ** در سطح کم‌تر از ۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۵- آنالیز واریانس اثر متقابل کلرید کادمیوم بر میزان جذب کادمیوم تحت تاثیر تیمار کلرید کادمیوم در گیاه آب‌تره

Table 3- Analysis of variance of interaction of $CdCl_2$ on the amount of absorbed cadmium by *Nasturium officinale* seedlings in different concentrations of $CdCl_2$ treatments.

منابع تغییرات	درجه آزادی	کادمیوم بخش هوایی	کادمیوم ریشه
تیمار کلریدکادمیوم	۳	۰/۳۱۰۲**	۰/۰۱۱۴*
خطا	۱۶	۰/۰۶۲**	۰/۰۰۰۹*

* در سطح کمتر از ۱ درصد معنی‌داراست . ** در سطح کمتر از ۵ درصد معنی‌داراست

جدول ۶- مقایسه غلظت کادمیوم در محیط کشت هوگلند، اندام ریشه و بخش هوایی، فاکتور تجمع زیستی کادمیوم در ریشه و بخش هوایی و فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به بخش هوایی در گیاه آب‌تره.

Table 4- Comparison of cadmium concentration in Hogland culture medium, root organ and aerial part, root and aerial part bioconcentration factor and cadmium transport factor from root to aerial part in *Nasturium officinale* seedlings.

غلظت کادمیوم در محلول غذایی (میکرومولار)	غلظت کادمیوم (میکروگرم در گرم بافت خشک)		فاکتور تجمع زیستی		فاکتور انتقال از ریشه به بخش هوایی
	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	
۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۰	۰	۰/۷۵
۱۰	۰/۰۵۰	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۱
۵۰	۰/۰۷۰	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۱۶
۱۰۰	۰/۰۸۰	۰/۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۱/۱۴
۳۰۰	۰/۰۹۰	۰/۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۱/۱۲
۵۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۱/۱۱

بحث و نتیجه گیری

فلزات سنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده های اکوسیستم‌های آبی می باشند. ورود کادمیوم به منابع آبی ممکن است از منابع کشاورزی یا صنعتی باشد. کادمیوم یک عنصر ضروری برای رشد گیاه نیست، اما به طور محدود به جوانه‌ها انتقال می‌یابد. زمانی‌که گیاهان در معرض مقادیر سمی فلزات سنگین قرار می‌گیرند، مکانیسم‌های مولکولی، شیمیایی و فیزیکی که مسئول تحمل و سازگاری آن‌ها به تنش‌های محیطی است تحت تاثیر قرار می‌گیرد (۱۹). نتایج حاضر نشان داد که تیمار کادمیوم سبب کاهش رشد در گیاه آب‌تره می‌شود. نتایج بدست آمده بیان‌گر آن است که با افزایش میزان کلرید کادمیوم در محیط کشت، میزان وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه کاهش می‌یابد. کاهش وزن اندام هوایی و زیرزمینی به عنوان اولین پاسخ فیزیولوژیکی به عوامل تنش‌زای محیط رشد است. پیش از این نیز گزارش‌ها نشان داده‌اند که حضور کادمیوم در برگ‌ها سبب کاهش رشد و نمو، فتوسنتز، فلورسانس کلروفیل و جذب عناصر معدنی می‌شود (۲۰). به نظر می‌رسد که فلزات سنگین با کاهش ویسکوزیته و قابلیت ارتجاع دیواره سلولی رشد طولی ریشه را کاهش می‌دهند (۲۱).

نتایج حاضر نشان داد که تیمار کادمیوم سبب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود که این نتایج با گزارش سایر محققان مشابه است (۲۲ و ۲۳). دیگر محققان نشان داده‌اند که تیمار کادمیوم سبب کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل در برخی از انواع علف‌های هرز می‌شود. انتقال کادمیوم به اندام‌های هوایی و انباشته‌شدن آن در سلول‌های برگ سبب تغییرات فیزیولوژیک در گیاهان می‌شود. یکی از بارزترین این تغییرات، تغییر رنگ برگ‌ها است (۱۵). از طرفی دیگر تیمار کادمیوم میزان کاروتنویید را در گیاهان کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد این کاهش به دلیل برهم کنش کادمیوم و یون منگنز در سلول‌های گیاهی باشد. برهم کنش کادمیوم و

یون منگنز سبب مهار انتقال الکترون در سطح کمپلکس شکستن آب شده و در نهایت سبب کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل و کاروتنویید می‌شود (۲۳). از طرفی نشان داده شده که کشت گیاه آب‌تره در خاک حاوی غلظت‌های مختلف ۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک سبب کاهش بیوماس ریشه و برگ شده و برگ‌ها به تدریج زرد می‌شوند. دراین تحقیق نیز رنگ گیاهچه‌ها قرمز شده که نشان‌دهنده تنش در این گیاهان است (۲۴). نتایج مشابهی توسط دیگر محققان در گیاه نعناع گزارش شده است (۲۵).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تیمار کادمیوم سبب انباشتگی کادمیوم در بخش‌های هوایی و زیرزمینی گیاه آب‌تره می‌شود. تاکنون نتایج متفاوتی از انباشتگی کادمیوم در گیاه آب‌تره منتشر شده است. به عنوان مثال لی جین و همکاران در سال ۲۰۱۵ آب‌تره را در خاک حاوی غلظت‌های مختلف ۰ و ۲۰ و ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک کشت داده و نشان دادند که با افزایش میزان کادمیوم خاک، میزان این عنصر در ریشه و اندام هوایی گیاه افزایش می‌یابد. نتایج این محققان نشان داد در شرایطی که میزان کادمیوم خاک ۱۰۰ mg/kg باشد میزان انباشتگی کادمیوم در بخش هوایی گیاه حدود ۲۱۴,۱۸ mg/kg خواهد بود (۲۶). اما نتایج دومان و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که گیاه آب‌تره پس از ۷۲ ساعت کشت در محیط هوگلند حاوی ۲ میلی مولار کلرید کادمیوم تنها قادر است ۷۸mg/g کادمیوم در خود انباشته کند. از نظر این محققان آب‌تره گیاه انباشته کننده کادمیوم نیست (۲۷). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش غلظت کلرید کادمیوم در محیط کشت هوگلند (از صفر تا ۵۰۰ میکرومولار) میزان کادمیوم در اندام‌های هوایی و ریشه به طور تدریجی افزایش یافته است. یکی از عواملی که می‌تواند به قضاوت در این مورد کمک کند استفاده از فاکتور BCF (Bioconcentration Factor) است (۲۸).

$$BCF = \frac{\text{غلظت فلز در گیاه (میکروگرم بر گرم وزن خشک)}}{\text{غلظت فلز در محیط کشت (میلی مولار)}}$$

به پیشنهاد این محققان گیاهان انباشته کننده به گیاهانی اطلاق می‌شود که فاکتور *BCF* در آن‌ها بالاتر از ۱ باشد. در تحقیق حاضر BCF برابر با ۱/۸ به دست آمده است که نشان‌دهنده توانایی گیاه آب‌تره در انباشتن کادمیوم می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که بتوان از این گیاه در رفع آلودگی آب از فلزات سنگین نظیر کادمیوم استفاده کرد. اگرچه باید توجه داشت که میزان جذب فلزات سنگین به گونه گیاهی، مرحله رشد گیاه و انتقال آن متفاوت /ست (۲۹). دیگر گزارش‌ها نیز نشان داده که آب‌تره توانایی جذب سایر فلزات سنگین نظیر کروم، کبالت و مس را دارد (۳۰).

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه گلستان به دلیل حمایت مالی این تحقیق نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

References

1. Antoniadis, N. and Alloway, B.J. 2001. Availability of Cd, Ni and Zn to rye grass in seawage sludge treated soils at different temperatures. *Water, Air and Soil Pollution, Vol. 132, pp. 201– 204.*
2. Baryla, A., Carrier, P., Frank, F., Coulomb, C., Sahut, C., Havaux, M. 2001. Leaf chlorosis oilseed rape plants (*Brassica napus*) grown oncadmium-polluted soil: Causes and consequences for phothosynthesis and growth. *Planta, Vol.212, pp. 696-709.*
3. Baszynki, T., Wajda, L., Krol, M., Wolinska, D., Krupa, Z., Tukendorf, A. 1980. Photosynthetic actinities of cadmium –treated tomato plants. *Physiologia Plantarum,Vol. 48, pp. 365-370.*
4. Benavides, M.P., Gallego, S.M., Tomaro, M.L. 2005. Cadmium toxicity

in plants. Brazilian *Journal of Plant Physiology, Vol.171, pp.21-34.*

5. Swaddiwudhipong, W., Nguntra, N., Kaewnate, Y., Mahasakpan, P. Limpatanachote, P., Jeekeeree, W., Punta, B., Funkhiew, T., Phopueng, I.m. 2015. Human health effects from cadmium exposure. *Southeast Asian Journal Trop Med Public Health, Vol.1,pp. 133-142.*
6. Mozafarian, V. 2013. Identification of Medicinal and Aromatic Plants of IRAN. Research Institute of Forest and Rangelands press. *pp. 333-335 (Persian).*
7. Salehi Sormaghi, M.H., 2010. Medicinal Plants. Doyaye Taghzieh press (Persian).
8. Broos, K., Beyens, H., Smolders, E. 2005. Survival of rhizobia in soil is sensitive to elevated zinc in the absence of the host plant. *Soil Biology and Biochemistry. Vol.37, pp.573–579.*
9. Chaney, R.L. 1983. Plant uptake of inorganic waste constituents. In: Parr, J.F., Marsh, P.B., Kla, J.M. (Eds.), Land Treatment of Hazardous Waste. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ: 50–76.
10. Kara, Y. 2005. Bioaccumulation of Cu, Zn, and Ni from the wastewater by treated *Nasturirium officinalis. International Journal of Science and Technology, Vol.2, pp.63-67.*
11. Duman, F., Cicek, M., Sezen, G. 2007. Seasonal changes of metal accumulation and distribution in common club-rush (Schoenoplectuslacustris) and common reed (Phragmitesaustralis). *Ecotoxicology, Vol. 16, pp. 457– 463*
12. Banuelos, G.S. and Meeks, D.W. 1990. Accumulation of selenium in plant grown on selenium-treated soil. *Journal Envrionment Quality, Vol. 19, pp.722-777.*
13. Kumar, P., Dushnekov, V., Motto, H., Raskin, I. 1995. Phytoextraction- the use of plants to reove heavy metals from soils. *Environmental Science Technology, Vol. 29, pp. 1232-1238.*
14. Martins, L.L., Pedro Mourato, M. Ries, R., Carvalheiro, F., Almeida, A.M., Fevereiro, P., Cuypers, A., 2014. Responce to oxidative stress induced by cadmium and copper in tobacco plants (Nicotiana tabacum) engineered with the trehalose-6-phosphate synthase gene (AtTPS1). *Acta Physiology Plan, Volt. 36, pp. 755-765.*
15. John, R., P. Ahmad, K., Sharma, S. 2008. Effect of cadmium and lead on growth, biochemical parameters and uptake in *Lemnapolyrrhiza*L. Plant Soil Environment. 54: 262–270.
16. Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology, Vol. 24, pp. 1-15.*
17. Sekabira, K., Oryem- Origa, H., Mutumba, G., Kakudidi, E., Basamba, T.A. 2011. Heavy metal phytoremediation by Commelina benghalensis (L) and Cynodondactylon (L) growing in Urban stream sediments. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry, Vol. 3, pp.133-142.*
18. Cluis, C. (2004). Junk-greedy greens: phytoremediation as a new option for

soil decontamination. *Biotechnology Journal, Vol.2, pp. 61 – 67.*

19. Nocito, F., Lancilli, C., Crema, B., Fourcroy, P., Davidian, J., Attilio Sacchi, G. 2006. Heavy Metal Stress and Sulfate Uptake in Maize Roots. *Plant Physiology, Vol. 141, pp. 1138-1148.*
20. Mishra, V.K., Tripathi, B.D. 2008. Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. *Bioresourse Technology, Vol. 99, pp.7091– 7097.*
21. Ma, L. Q., Angela, L., Rao, G.N. 1997. Effect of incubation and phophate rock on lead extrability and speciation in contaminated soils. *Journal Environment Quality, Vol. 26, pp.801–807.*
22. Ewaise, E.A. 1997. Effects of cadmium nickel and lead on growth, chlorophyll content and proteins of weed. *Biological Plantarum, Vol. 39, pp.403-410.*
23. Jeliazkova, E.A., Craker, L.E. Xing, B. 2003. Seed germination of anise, caraway, and fennel in heavy metal contaminated solutions. *Journal Herbs, Spices and Medicine Plants, Vol. 10, pp. 83-93.*
24. Ludevid, D. Hofte, H., Himelblau, E., Chrispeels, M.J. 1992. The expression pattern of the tonoplast intrinsic protein Y-TIP in Arabidopsis thaliana is correlated with cell enlargement. *Plant Physiology, Vol.100, pp.1633 – 1639.*
25. Stribley, D.P., Tinker, P.B., Snellgrove, R.C. 2006. Effect of vesicular mycorrhiza fungi on the relation of plant growth, internal phophorus concentration and phosphate analyses. European *Journal of Soil Science, Vol.31, pp.655-672.*
26. Li-Jin, L., Li, L., Miang-an, L., Xiao, Z., Dai-yu, Y. 2015. Cadmium accumulation characteristic emerged plant Nasturtium Officinalis. *Resource and Environment in the Yangtze basin, Vol. 4, pp.1-4.*
27. Duman, F., Leblebici, Z., Aksoy, A. 2009. Growth and bioaccumulation characteristics ofwatercress (Nasturtium officinale R. BR.) exposedto cadmium, cobalt and chromium. *Chemistry Speciation and Bioavailability, Vol.2, pp.256-264.*
28. Shin, H.W., Sidharthan, M., Young, K.S. 2002. Forest fire ash impact on micro- and macroalgae in the receiving waters of the east coast of South Korea. Mar. *Pollution Bulletin, Vol.45, pp. 203-209.*
29. Deng, H., Ye, Z.H., Wong, M.H. 2004. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. *Environment Pollution, Vol. 132, pp. 29–40.*
30. Zurayk, R., Sukkariyah, B., Baalbaki, R. 2001. Common hydrophytes as bioindicators of Ni, Cr and Cd pollution. *Water Air Soil Pollution, Vol.127, pp. 373– 388.*