بررسی تأثیر کاربرد کادمیوم و شوری محلول‌های آبی بر رشد و غلظت عناصر غذایی عدسک آبی (*Lemna minor* L.)

جعفر صوفیان[1*]، احمد گلچین[2]، صلاح الدین مرادی[1]، لیلا جهانبان[1] و لیلا غیرتی آرانی[1]

[1] **ایران، تهران، دانشگاه پیام نور، گروه کشاورزی**

[2] **ایران، زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی**

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۲

چکیده

بمنظور بررسی اثر کاربرد کادمیوم بر رشد و غلظت عناصر غذایی عدسک آبی تحت شرایط شوری، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه ای اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل کادمیوم (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی گرم در لیتر کادمیم از منبع سولفات کادمیم) و غلظت نمک (صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار از منبع کلرور سدیم) بودند که به محلول غذایی اپستین اضافه شدند. نتایج نشان داد که کاربرد کادمیوم و شوری هر یک بتنهایی و نیز بصورت کاربرد توأم سرعت رشد نسبی عدسک آبی را کاهش دادند. غلظت کادمیوم عدسک آبی با افزایش میزان کاربرد کادمیوم افزایش یافت. کاربرد شوری غلظت کادمیوم عدسک آبی را افزایش داد. کادمیوم و شوری هر یک بتنهایی و نیز بصورت کاربرد توأم غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس، و سدیم را کاهش دادند. غلظت منگنز با کاربرد کادمیوم افزایش یافت اما شوری غلظت آنرا را کاهش داد. در یک نتیجه گیری کلی، کاهش رشد و مرگ عدسک آبی در غلظت‌های بالای کاربرد کادمیوم و شوری محلول‌های آبی مشاهده شد و عدسک آبی غلظت‌های بالایی از کادمیوم را در خود انباشته کرد بطوریکه این گیاه یک انباشته کننده خوبی برای کادمیوم می‌تواند باشد.

واژه های کلیدی: کادمیوم، کلرید سدیم، عدسک آبی، عناصر غذایی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۸۹۲۸۷۶۹، پست الکترونیک: 95sufian@gmail.com

مقدمه

افزایش استفاده از فلزات و مواد شیمیایی در فرایندهای صنعتی باعث گسترش پسابهای حاوی فلزات سنگین شده، که مشکلات انهدام آنها در محیط زیست ایجاد کرده است (۳۱). فلزات سنگین بطور کلی به عناصری اطلاق می‌شود که دارای چگالی بیشتر از ۶ گرم بر سانتیمتر مکعب باشند، این گروه شامل عناصر ضروری بیولوژیک از قبیل کبالت، کروم، مس، و منگنز و عناصر غیرضروری مانند کادمیوم، سرب و جیوه می‌باشد که هر دوی این گروه‌ها در غلظت-های بالا برای انسان، حیوان و گیاهان سمی هستند (۱۳). منابع اولیه ایجاد آلودگی فلزات سنگین فعالیت‌های صنعتی از قبیل تولید سوخت و انرژی، معدن کاری، ذوب سنگ-های فلزدار و استفاده از پساب‌های حاوی فلزات سنگین است. این شتاب چشمگیر آلودگی خاکها به فلزات سنگین نتیجه انقلاب صنعتی است (۳۴). سه فلز کادمیوم، سرب، جیوه و شبه فلز آرسنیک مشکلات سلامتی زیادی برای انسان در نقاط مختلف جهان ایجاد کرده است (۲۴).

کادمیوم یکی از فلزات سنگین سمی و غیر ضروری برای موجودات زنده است که اثر منفی بر محیط زیست دارد و می‌تواند به اشکال مختلف به زنجیره غذایی انسان وارد و سلامت او را به مخاطره اندازد. طبق گزارش وزارت بهداشت ایالت متحده آمریکا، شواهد کافی برای سرطان-زایی کادمیم و ترکیبات آن در انسان وجود دارد. کادمیوم

می‌تواند باعث اختلال در عملکرد کلیه و استخوان و ایجاد سرطان کبد و خون شود (۳۹). کادمیوم به دنبال فرسایش خاک، سنگ بستر و نیز در ته‌نشست آلودگی‌های ناشی از کارخانه‌های صنعتی و برخی کودهای کشاورزی وارد محیطزیست می‌شود،کادمیوم و نیکل کاربرد گسترده ای در صنعت دارند و در مقادیر کم، سمی هستند که از طریق پساب فرایندهای صنعتی به محیط زیست وارد می‌شوند. (۲۸). هرز آبهای سطحی مناطق شهری که از سطح جادهها و خیابانها منشأ گرفته‌اند اغلب حاوی مقدار زیادی فلزات سنگین هستند که وارد آبهای سطحی و زیرزمینی شده و به چرخه انتقال می‌یابند (۸).

امروزه استفاده از گیاه پالایی برای کاهش یا حذف آلودگی خاک‌ها، آب‌های زیرزمینی و فاضلاب‌ها به دلیل کم هزینه بودن بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۲۷). گونه‌های مختلف گیاهی و حتی رقم‌های مختلف یک گونه پتانسیل مختلفی برای جذب فلزات سنگین از آب و خاک دارند، بنابراین یافتن گونه یا رقم مناسب که از پتانسیل جذب بالایی برخوردار باشد برای انجام عمل گیاه پالایی بسیار حائز اهمیت است. برای تصفیه پساب‌ها گیاهان بکار رفته علاوه بر داشتن توان جذب فلزات سنگین باید به شوری نیز مقاوم باشند، چون پساب‌ها دارای مقدار قابل ملاحظه-ای املاح محلول هستند. اثرات زیان بار شوری بر رشد گیاه از طریق کاهش فرایندهای اصلی از قبیل فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم انرژی و لپید صورت می‌گیرند (۱۲). شوری آب می‌تواند میزان رشد گیاه و ظرفیت جذب فلز را متأثر سازد (۳۷).

عدسک آبی(*Lemna minor* L.) گیاهی تک لپه‌ای، دایمی، آبزی، شناور که دارای ویژگی‌های منحصر بفردی می‌باشد که آن را در زمره گیاهان مناسب برای گیاه پالایی قرار داده است. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان رشد سریع و تولید زیتوده زیاد، قابلیت ذخیره زیستی بالا، توانایی تبدیل و یا کاهش آلودگی‌ها، قابلیت انعطاف‌پذیری آنها (برگشت به حالت اولیه) در برابر آلودگیهای بسیار شدید و استفاده همزمان برای رفع چندین آلودگی را نام برد. از این گیاه بطور وسیعی برای مطالعات گیاه پالایی در تصفیه پساب‌ها استفاده می‌شود (۴۴). عدسک آبی اغلب در مزارع برنج شمال رایج است و بیشتر در آب‌های راکد وجود دارد (۶). هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر کاربرد کادمیوم و شوری بر رشد عدسک آبی؛ میزان جذب کادمیوم توسط عدسک آبی از محلول‌های آبی حاوی کادمیوم؛ تأثیر شوری بر جذب کادمیوم؛ و اثر کادمیوم و شوری و بر همکنش آنها بر جذب عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف بود.

مواد و روشها

بمنظور بررسی پتانسیل جذب کادمیم توسط عدسک آبی از محلول‌های غذایی آلوده به این فلز سنگین در سطوح شوری‌های مختلف یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه ای اجرا شد. فاکتور اول شامل کادمیم در سطوح صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی گرم در لیتر از منبع سولفات کادمیم و فاکتور دوم شامل غلظت نمک محلول غذایی در سطوح صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار از منبع کلرور سدیم بود که به محلول غذایی اپستین اضافه شدند.

تهیه محلول غذایی: برای تهیه محلول غذایی اپستین طبق جدول ۱، ابتدا محلول های A، B و C بطور جداگانه بعنوان محلول ذخیره تهیه شدند. محلول A شامل چهار محلول مجزا، محلول B شامل یک محلول مرکب از شش نمک مختلف و محلول C شامل یک محلول مجزا بود که بعد از تهیه این محلول ها، از هر کدام از آنها به اندازه ذکر شده در جدول ۱ برداشته و با هم مخلوط گردید و در نهایت به حجم یک لیتر رسانده شد.

کشت گیاه: عدسک آبی از تالاب‌هاوشالیزارهای شهرستان بابل جمع آوری شد.، پس از شستشوی آن با آب معمولی و سپس آب مقطر و گرفتن آب آزاد آن ها، مقدار ۲۰ گرم

از آن توزین و بداخل ظروف حاوی محیط کشت منتقل شد. در این تحقیق از ظروف یکبار مصرف با عمق ۲۰ سانتی متر طول و قطر دهانه ۱۵ سانتی متر استفاده شد.

جدول ۱- ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در این آزمایش (اپستین ۱۹۷۲)

ترکیب	غلظت محلول ذخیره (گرم در لیتر)	نوع محلول	حجممحلولذخیرهدرهرلیترمحلولنهایی (میلیلیتر)
KNO_3	۱۰۱/۱۰	A	۶/۰
$Ca(NO_3)_2\ 4H_2O$	۲۳۶/۱۶		۴/۰
$NH_4H_2PO_4$	۱۱۵/۰۸		۲/۰
$MgSO_4\ 7H_2O$	۲۴۶/۴۹		۱/۰
KCl	۳/۷۲۸	B	
H_3BO_3	۱/۵۴۶		
$MnSO_4\ H_2O$	۰/۳۳۸		
$ZnSO_4\ 7H_2O$	۰/۵۷۵		۱/۰
$CuSO_4\ 5H_2O$	۰/۱۲۵		
H_2MoO_4 (%85 MoO4)	۰/۰۸۱		
Fe-EDTA	۰/۹۲۲	C	۱/۰

پس از انتقال گیاهان ذکر شده بداخل ظروف کاشت، حجم مشخصی از محلول های غذایی حاوی کادمیوم و شوری به ظروف کشت اضافه شدند و هر چهار روز یک بار آب محیط کشت همه ظرف ها تعویض و آب مقطر و محلول غذایی تازه و حاوی غلظت های مختلف کادمیوم بمدت ۳۰ روز به ظرف های حاوی ترتیزک آبی اضافه شد. pH محیط کشت هنگام تعویض محلول غذایی اندازه گیری و تنظیم شد.

برداشت گیاه: پس از گذشت ۳۰ روز گیاهان برداشت و پس از شستشو با آب مقطرو گرفتن آب آزاد آنها، وزن نهایی گیاهان اندازه گیری گردید و در آون در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد بمدت ۷۲ ساعت خشک شدند. سپس نمونه‌های گیاهی تهیه شده آسیاب و بعد از هضم آنها در آزمایشگاه، میزان عناصر آن ها اندازه گیری گردید.

سرعت رشد نسبی (RGR) در هر یک از تیمارها بوسیله معادله زیر محاسبه شد (۳۵):

$$PGR\ (\%\ /\ day) = [(\ln W2) - (\ln W1)]\ /\ t \times 100$$

که در آن W1 و W2 ، بترتیب وزن اولیه و نهایی تر گیاه و t طول دوره آزمایش است.

اندازه گیری غلظت عناصر غذایی: غلظت نیتروژن کل با دستگاه کجلدال، فسفر با روش رنگ سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر، و پتاسم و سدیم با دستگاه فیلم فتومتر اندازه گیری شد. عناصر کلسیم، منیزیم و عناصر کم مصرف شامل روی، آهن، منگنز و مس و همچنین کادمیم با دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری: داده‌های بدست آمده بکمک نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین تیمارهای مختلف بکمک آزمون چند دامنه ای دانکن صورت پذیرفت.

نتایج

سرعت رشد نسبی عدسک آبی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح کادمیوم و شوری هر یک بتنهایی و نیز اثر متقابل آنها بر سرعت رشد نسبی عدسک آبی معنی دار بود.

بیشترین سرعت رشد نسبی عدسک آبی در تیمار بدون

کاربرد کادمیوم و شوری در محلول غذایی بدست آمد و کمترین آن در تیمار توأم ۸۰ میلی مولار شوری و ۸۰ میلی گرم کادمیوم بود (شکل ۱). اثر متقابل کادمیوم و شوری باعث کاهش رشد و در سطوح بالاتر سبب مرگ گیاه شد. مقایسه میانگین ها نشان داد با افزایش غلظت کادمیوم محلول غذایی رشد عدسک آبی بتدریج کاهش یافت بطوریکه از سطح ۲۰ تا ۸۰ میلی گرم کادمیوم، سرعت رشد نسبی عدسک آبی منفی شد که نشان دهنده مرگ گیاه بود. همچنین با افزایش سطوح شوری محلول غذایی سرعت رشد نسبی عدسک آبی کاهش یافت (شکل ۱).

غلظت کادمیوم عدسک آبی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کادمیوم و شوری بتنهایی و نیز اثر برهمکنش آنها بر غلظت کادمیوم عدسک آبی معنی دار بود. بیشترین غلظت کادمیوم بافت‌های این گیاه در تیمار توأم ۸۰ میلی گرم کادمیوم در لیتر محلول غذایی و ۸۰ میلی مولار کلرور سدیم با میانگین ۴۱۳۷/۲۳ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم بافت خشک و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد با میانگین غلظت ۱۳/۳۲ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم بافت خشک مشاهده شد (شکل a۲). افزایش سطوح کادمیوم و شوری و نیز اثر متقابل سطح شوری و کادمیوم محلول غذایی باعث افزایش جذب کادمیوم بوسیله عدسک آبی شد.

غلظت عناصر غذایی

عناصر پرمصرف عدسک آبی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کادمیوم و شوری بر غلظت نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، و منیزیم و نیز اثر برهمکنش آنها بر غلظت نیتروژن، پتاسیم، کلسیم عدسک آبی معنی دار بود ولی روی غلظت فسفر و منیزیم معنی دار نبود.

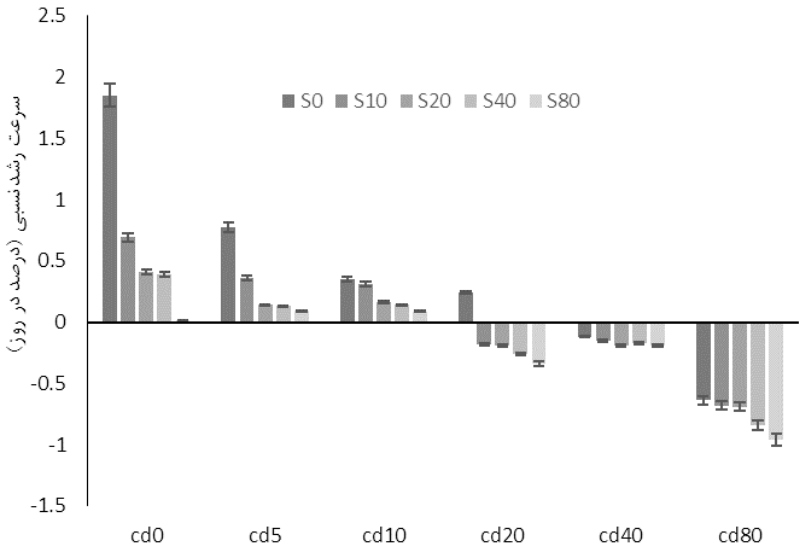
با توجه به شکل ۲ نتایج نشان داد که افزایش غلظت کادمیوم و شوری محلول غذایی هر کدام بتنهایی تأثیر منفی بر غلظت نیتروژن، پتاسیم، و کلسیم عدسک آبی داشتند و اثر متقابل شوری و کادمیوم، غلظت نیتروژن، پتاسیم، و کلسیم را با شدت بیشتری کاهش داد. حداکثر غلظت نیتروژن، پتاسیم، و کلسیم گیاه در تیمار شاهد مشاهده شد و کمترین غلظت نیتروژن، پتاسیم، و کلسیم در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم و ۸۰ میلی مولار شوری بدست آمد.

مقایسه میانگین داده ها (شکل ۳) نشان داد بیشترین غلظت فسفر در تیمار شاهد با میانگین ۱/۷ درصد بدست آمد و کمترین میزان آن نیز در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم با میانگین غلظت ۰/۲ حاصل شد. همچنینبیشترین غلظت فسفر گیاه در تیمار شاهد با میانگین ۱/۴۴ درصد اندازه گیری شد و کمترین میزان آن در تیمار ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۰/۶۱ درصد حاصل شد.

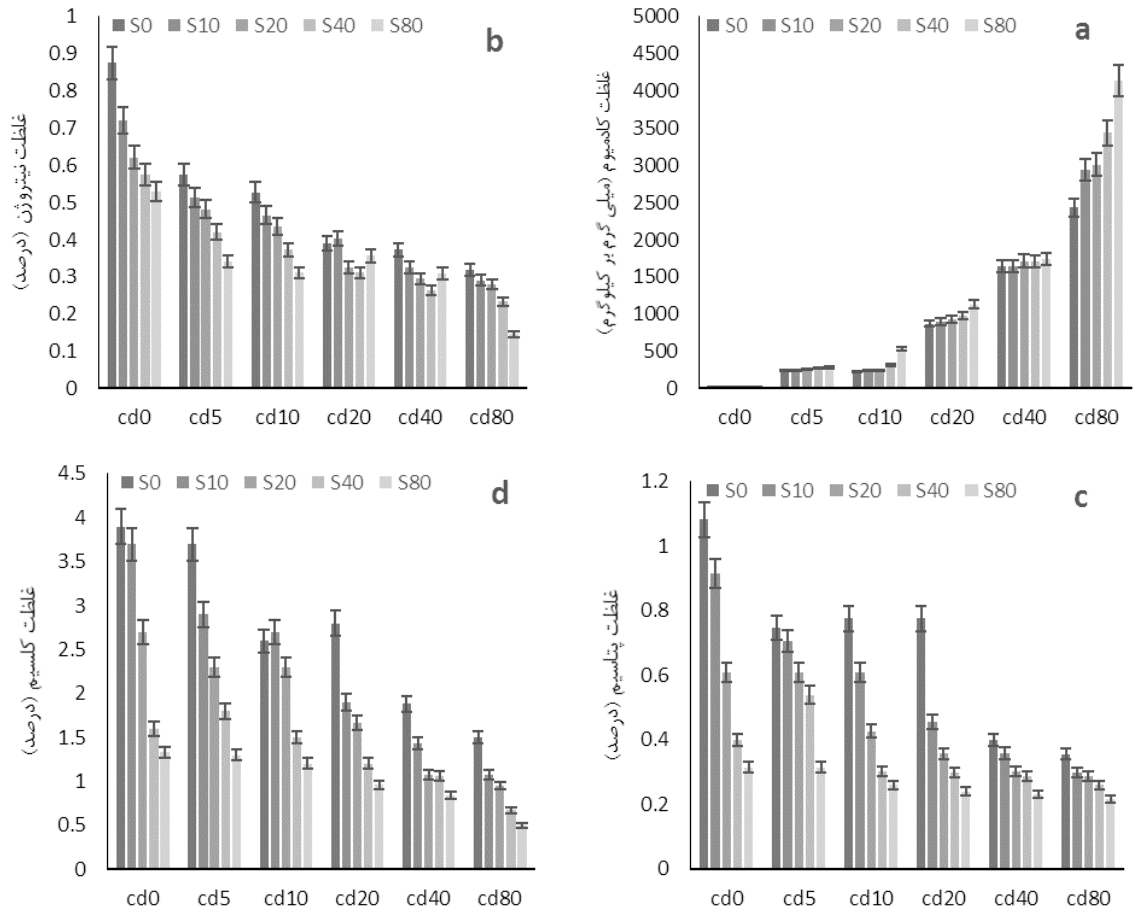
بر اساس مقایسه میانگین داده ها (شکل ۴) با کاربرد کادمیوم، بیشترین و کمترین غلظت منیزیم عدسک آبی بترتیب در تیمارهای شاهد (سطح صفر کادمیوم) و ۸۰ میلی گرم کادمیوم در محلول غذایی بدست آمد. بیشترین و کمترین غلظت منیزیم گیاه بترتیب با میانگین های ۰/۵۵ و ۰/۳۵ درصد بترتیب در تیمار شاهد و تیمار ۸۰ میلی مولار شوری بدست آمد.

عناصر کم مصرف عدسک آبی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کادمیوم و شوری بر غلظت آهن، روی، مس و منگنز معنی دار بود و نیز اثر برهمکنش کامیوم و شوری بر غلظت آهن، مس، و منگنز معنی دار بود ولی بر غلظت روی معنی دار نبود.

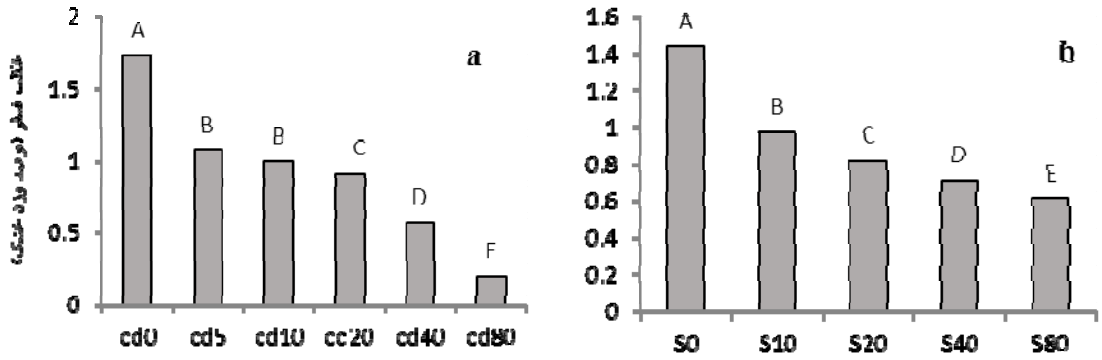
مقایسه میانگین داده ها (شکل ۵) نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم و شوری محلول غذایی هر یک بتنهایی، غلظت آهن و مس کاهش یافت. بیشترین غلظت آهن و مس گیاه در تیمار شاهد (بدون کاربرد کادمیوم و شوری) حاصل شد. اثر متقابل سطوح کادمیوم و شوری باعث کاهش غلظت آهن و مس گیاه شد، بطوریکه کمترین غلظت آهن و مس در تیمار دارای بالاترین غلظت کادمیوم و شوری محلول غذایی(۸۰ میلی گرم کادمیوم و ۸۰ میلی مولار شوری) بدست آمد.



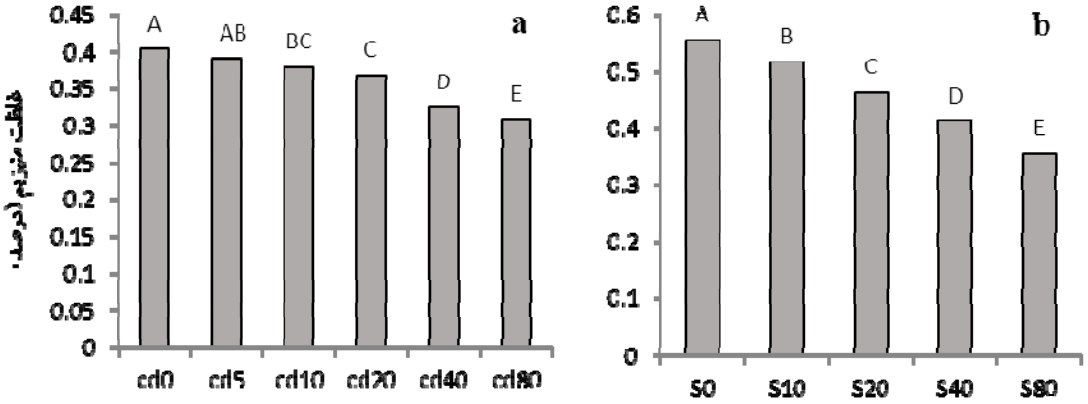
نمودار ۱- اثر کادمیوم و شوری بر سرعت رشد نسبی عدسک آبی (cd0، cd5، cd10، cd20، cd40، و cd80 بترتیب نشان دهنده سطوح کادمیوم ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم می باشد. S0، S10، S20، S40، و S80 بترتیب نشان دهنده سطوح شوری ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی مولار شوری می باشد؛ آزمایش با سه تکرار و مقایسه میانگین داده ها با آزمون چند دامنه ای دانکن ($p\leq0.05$) انجام شد).



شکل ۲- اثر کادمیوم و شوری بر غلظت کادمیوم (a)، نیتروژن (b)، پتاسیم (c)، و کلسیم (d) عدسک آبی(cd0، cd5، cd10، cd20، cd40، و cd80 بترتیب نشان دهنده سطوح کادمیوم ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم می باشد. S0، S10، S20، S40، و S80 بترتیب نشان دهنده سطوح شوری ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی مولار شوری می باشد؛ آزمایش با سه تکرار و مقایسه میانگین دادهها با آزمون چند دامنه ای دانکن ($p\leq0.05$) انجام شد).



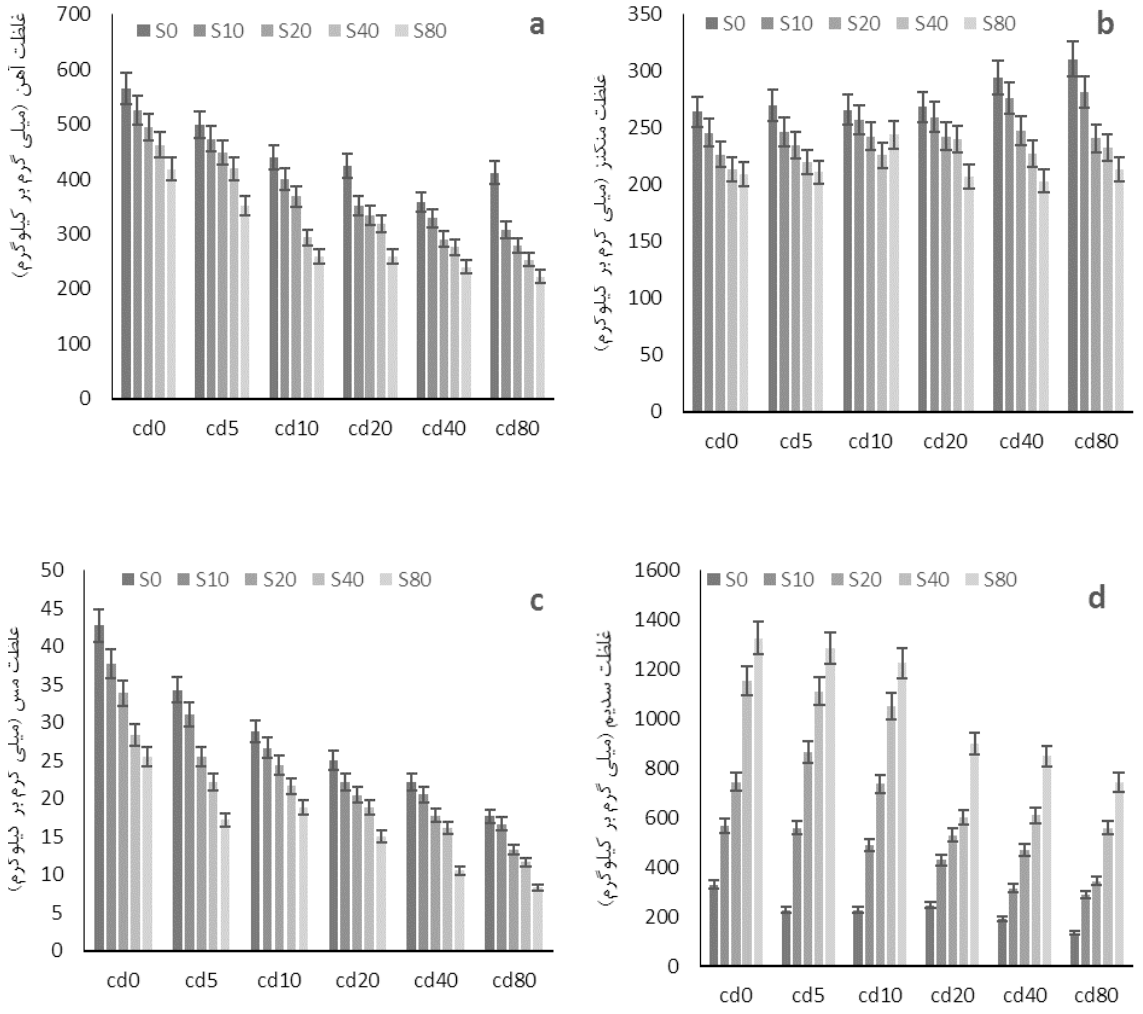
شکل ۳- اثر کادمیوم (a) و شوری (b) بر غلظت فسفر عدسک آبی(cd0، cd5، cd10، cd20، cd40، و cd80 بترتیب نشان دهنده سطوح کادمیوم ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم می باشد. S0، S10، S20، S40، و S80 بترتیب نشان دهنده سطوح شوری ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی مولار شوری می باشد؛ آزمایش با سه تکرار و مقایسه میانگین داده ها با آزمون چند دامنه ای دانکن ($p\leq0.05$) انجام شد).



شکل ۴- اثر کادمیوم (a) و شوری (b) بر غلظت منیزیم عدسک آبی (cd0، cd5، cd10، cd20، cd40، و cd80 بترتیب نشان دهنده سطوح کادمیوم ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم می‌باشد. S0، S10، S20، S40، و S80 بترتیب نشان دهنده سطوح شوری ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی مولار شوری می‌باشد؛ آزمایش با سه تکرار و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p\leq0.05$) انجام شد).

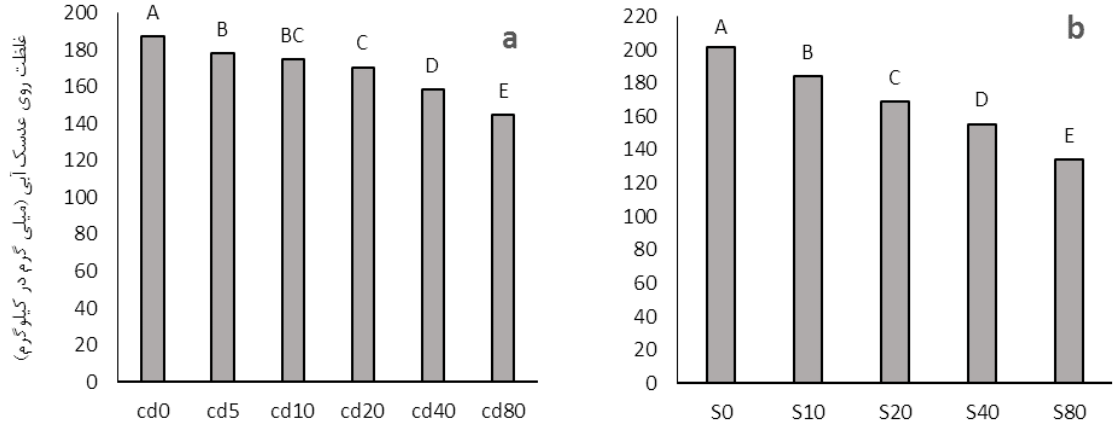
با افزایش میزان کاربرد کادمیوم غلظت منگنز عدسک آبی بتدریج افزایش یافت ولی کاربرد شوری غلظت منگنز را کاهش داد بطوریکه بیشترین و کمترین غلظت منگنز گیاه بترتیب در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم بدون کاربرد شوری و تیمار ۴۰ میلی گرم کادمیوم و ۸۰ میلی مولار شوری بدست آمد (شکل ۵).

با توجه به مقایسه میانگین داده ها (شکل ۶)، با کاربرد کادمیوم بیشترین و کمترین غلظت روی عدسک آبی بترتیب در تیمار شاهد (بدون کاربرد کادمیوم) و در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم (۲۳ درصد کمتر نسبت به شاهد) بدست آمد. همچنین کاربرد شوری با افزایش غلظت سطوح شوری بتدریج غلظت روی کاهش یافت.



شکل ۵- اثر کادمیوم و شوری بر غلظت آهن (a)، منگنز (b)، مس (c)، و سدیم (d) عدسک آبی (cd0، cd5، cd10، cd20، cd40، و cd80 بترتیب نشان دهنده سطوح کادمیوم ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم می باشد. S0، S10، S20، S40، و S80 بترتیب نشان دهنده سطوح شوری ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی مولار شوری می‌باشد؛ آزمایش با سه تکرار و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p\leq0.05$) انجام شد).

با افزایش کاربرد سطوح کادمیوم محلول غذایی، غلظت سدیم عدسک آبی کاهش یافت و با افزایش میزان شوری محلول غذایی، غلظت سدیم گیاه افزایش یافت (شکل ۵). بیشترین غلظت سدیم در تیمار دارای بالاترین سطح شوری و پایین ترین سطح کادمیوم (بدون کاربرد کادمیوم و ۸۰ میلی مولار شوری) با میانگین ۱۳۲۶/۳ میلی گرم در کیلوگرم بدست آمد. کمترین غلظت سدیم گیاه بمیزان ۱۳۴/۱ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار دارای پایین ترین سطح شوری و بالاترین سطح کادمیوم (۸۰ میلی گرم کادمیوم و سطح بدون کاربرد شوری) بدست آمد.



شکل ۶- اثر کادمیوم (a) و شوری (b) بر غلظت روی عدسک آبی (cd0، cd5، cd10، cd20، cd40، و cd80 بترتیب نشان دهنده سطوح کادمیوم ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم می‌باشد. S0، S10، S20، S40، و S80 بترتیب نشان دهنده سطوح شوری ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی مولار شوری می‌باشد؛ آزمایش با سه تکرار و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p\leq0.05$) انجام شد).

بحث

عناصر سنگین و بویژه کادمیوم با تأثیر بر میزان فتوسنتز و کاهش میزان کلروفیل درگیاه باعث کاهش عملکرد گیاه شده و اثرات منفی و مخرب را در گیاه بجای می گذارند (۲۵). دمایریزن (۱۸) در تحقیقی که برروی تأثیر شوری بر رشد و ظرفیت تجمع نیکل در عدسک آبی نشان داد که بیشترین سرعت رشد عدسک آبی در تیمار ۱۲۵ مول بر مترمکعب کلرور سدیم بود و کمترین مقدار آن در تیمار ۳۷۵ مول بر مترمکعب بود همچنین در بیشترین سطح شوری ۵۰۰ مول بر متر مکعب رشد گیاه منفی بود. خلاف و زردویی (۲۶) تأثیر فلزات سنگین بر رشد عدسک آبی را بررسی کردند، آن ها بیان کردند که حضور کادمیوم تا ۰/۴ میلی گرم در لیتر در محیط رشد هیچ نشانه ای از سمیت در این گیاه ایجاد نکرد اما هنگامی که غلظت کادمیوم در محیط رشد به ۰/۶۴ میلی گرم در لیتر رسید، رشد آن بمیزان ۵۰ درصد کاهش یافت که نتایج این مطالعات با تحقیق حاضر مطابقت داشت. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج اسکربسکای و همکاران (۴۸) مبنی بر کاهش رشد گیاه با افزایش کادمیوم محلول غذایی تطابق داشت.

مطالعات زیادی در مورد افزایش غلظت کادمیوم محلول و قابل جذب با افزایش غلظت کلرید سدیم محلول خاک گزارش کرده اند (۱۹). یون کلر باعث افزایش پویـایی و قابلیت جذب کادمیـوم بوسیله گیاه می شود (۲). نتایج پژوهش محمدی (۹) نیز با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. گریگر و همکاران (۲۰) بیان کردند که یون Na^+ می تواند کادمیوم را از رسوب بداخل آب آزاد کند و بنابراین باعث افزایش غلظت کادمیوم آب می شود. در تحقیقی که بوسیله سلیمی و همکاران (۷) در ارتباط با تأثیر شوری بر گیاه پالایی کادمیوم از خاک‌های آلوده به این فلز سنگین بوسیله آفتابگردان انجام شد نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری مقادیر کادمیوم جذب شده در ریشه، برگ و ساقه افزایش یافت.

تحقیقات نشان داده است که غلظت عناصر پرمصرف گیاه در حضور کادمیوم بشدت کاهش می‌یابد. بطوری که محتوای کاتیون های چند ظرفیتی می‌تواند در حضور کادمیوم از طریق رقابت بر سر جایگاه‌های پیوندی یا توسط ناقلین تحت تأثیر قرار گیرد (۳۸).

کادمیوم در متابولیسم نیتروژن از طریق مهار فعالیت آنزیم های گلوتامین سینتاز، گلوتامات سینتاز و نیترات ردوکتاز، و فرآیند نیترات اختلال ایجاد می کند (۴۵). بار و همکاران (۱۴) گزارش کردند که رقابت کلراید با نیترات، مانع از جذب نیتروژن کافی بوسیله گیاه می شود.نوسیتو و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که کادمیوم جذب پتاسیم توسط ریشه را کاهش داد و تحرک بالای کادمیوم یکی از دلایل اصلی تأثیرات منفی کادمیوم بر جذب عناصر دیگر می باشد. نتایج حسینی و همکاران (۴) نیز نشان داد که شوری باعث کاهش غلظت پتاسیم بافت های گیاه گردید. سدیم موجود در محیط شور اثر آنتاگونیسمی بر جذب پتاسیم دارد (۴۲). هیو و اشمیدهالتر (۲۳) گزارش کردند که با افزایش شوری غلظت یونهای Cl^- و Na^+ در گیاه افزایش یافت و از مقدار پتاسیم کاسته شد و مسمومیت گیاه بوسیله Cl^- و Na^+ ایجاد گردید. مسمومیت متابولیکی سدیم نتیجه توانایی این یون در رقابت با K^+ گیاه است که با یون پتاسیم برای متصل شدن به جایگاه های اصلی برای انجام وظایف سلول رقابت می کند. بیش از ۵۰ آنزیم با K^+ فعال می شوند و سدیم نمی تواند جایگزینی برای این آنزیمها باشد (۴۳).

کادمیوم بدلیل ایجاد اختلالات تغذیه ای عامل موثری بر کاهش میزان جذب فسفر توسط گیاه می باشد. سمیت کادمیوم ممکن است باعث کمبود فسفر یا بروز مشکلات مربوط به انتقال فسفر در داخل گیاه گردد (۲۱). فسفات و کلر هر دو بشکل آنیونی می باشند و دارای مکانیسم جذب یکسانی می باشد (۱). پاپادوپولوس و رندیگ (۳۶) نیز معتقدند که در خاک های شور، آنیونهای Cl^- و $H_2PO_4^-$ برای جذب توسط گیاه با یکدیگر رقابت می کنند، در نتیجه جذب فسفر، و غلظت آن در گیاه کاهش مییابد.

کادمیوم می تواند بوسیله حامل های کلسیم بدرون گیاه حمل (۱۷) و بنابراین حضور آن در محیط رشد سبب کاهش غلظت کلسیم گیاه شود (۲۰). همچنین مقدار کادمیوم در بافت های گیاه به سطح کلسیم محیط رشد بستگی دارد (۴۰). وجود یونهای سدیم و کلر بمقدار زیاد منجر به برهم خوردن تعادل عناصر غذایی در محلول غذایی یا خاک شده و نهایتاً جذب و انتقال سایر عناصر ضروری مانند کلسیم، پتاسیم و منیزیم از خاک به گیاه مختل می گردد (۱۰). انباشته شدن کادمیوم در بسیاری از گیاهان باعث کمبود آهن، منیزیم و کلسیم می شود و سنتز کلروفیل را متوقف می کند و سرعت رشد و فتوسنتز را بشدت کاهش می دهد (۳۰).

حقیری (۲۱) گزارش کرد که غلظت زیاد کادمیوم در محیط رشد گیاه، جذب آهن و سایر عناصر کم مصرف توسط گیاه را بدلیل کاهش سطح توسعه ریشه و کاهش متابولیسم گیاه مختل می نماید. همچنین کاهش در غلظت آهن گیاه بدلیل افزایش غلظت کادمیوم محلول غذایی به اثر آنتاگونیسمی این دو عنصر ارتباط داده شده است (۴۷). در آزمایش حاضر شوری باعث کاهش بیشتر غلظت آهن گیاه بدلیل برهمکنش منفی آهن و سدیم شد. تاجی و گلچین (۳) نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم، غلظت منگنز ریشه ۴۵ درصد افزایش یافت. افزایش غلظت منگنز گیاه احتمالاً بدلیل رقابت با آهن و کاهش غلظت آهن در گیاه با افزایش غلظت کادمیوم محلول غذایی باشد.نیر و سینگ (۱۹۸۹) کاهش غلظت روی با افزایش غلظت کادمیم را در گیاه ذرت گزارش کردند. ییلدیز (۴۸) نیز در تحقیقی عنوان کرد که با افزایش سطوح کادمیم، غلظت روی در دو گیاه گوجه فرنگی و ذرت کاهش یافت. کاهش غلظت روی بدنبال افزایش غلظت کادمیم، احتمالاً بدلیل شباهت شیمیایی این دو عنصر و رابطه آنتاگونسیتی آنها با یکدیگر می باشد.

عبدالصبور و همکاران (۱۱) بیان کردند که کادمیوم منجر به بروز مشکلاتی در ارتباط با انتقال عناصر کم مصرف در گیاه شد. بطوریکه در مواردی که گیاه با مسمومیت کادمیوم مواجه شد از غلظت و میزان جذب عناصر کم مصرف گیاه

کاسته شد. افزایش غلظت مس در گیاه تحت استرس کادمیوم ممکن است در پاسخ به کاهش غلظت روی و رقابت یونی بین روی و مس باشد. ماس و همکاران (۲۹) در مورد رشد گیاهانی که تحت استرس شوری (کلرید سدیم)قرار گرفته بودند بیان نمودند که افزایش شوری منجر به کاهش میزان جذب عناصر کم مصرف بدلیل رقابت با سدیم می شود. کاهش غلظت عناصر کم مصرف گیاه در شرایط شور و آلوده به فلزات سنگین را می توان به افزایش غلظت عناصر سنگین و سدیم و رابطه آنتاگونیسمی آن با عناصر کم مصرف نسبت داد (۵).هیو و اشمیدهالتر (۲۳) گزارش کردند که با افزایش شوری غلظت یونهای سدیم و کلر در گیاه افزایش یافت.

بطور کلی کاهش رشد بعلت شوری را می توان به تأثیر سوء نمک بر فتوسنتز، جذب عناصر غذایی، تنفس گیاه، سنتز اسید های نوکلئیک، کاهش میزان پروتئین، کاهش فعالیت آنزیمی و کاهش میزان تبخیر و تعرق نسبت داد (۴). هالر و همکاران (۲۲) تأثیر شوری را بر چند ماکروفیت آبزی مورد مطالعه قرار دادند که نتایج آن ها با نتایج این تحقیق مبنی بر کاهش رشد گیاه با افزایش شوری مطابقت دارد. کلر پس از جذب و ورود به برگها و شاخه ها حالت سمی برای گیاه ایجاد می کند. سدیم نیز از طرفی با کاهش نفوذ در خاک دسترسی به آب و اکسیژن را محدود ساخته و از طرف دیگر با محدود کردن مسیرهای جذب عناصر مغذی بویژه پتاسیم و منیزیم که برای ساخت کلروفیل ضروری هستند به گیاه لطمه می زند (۴۶).

نتیجه گیری کلی

پژوهش حاضر نشان داد که گیاه عدسک آبی غلظت‌های بالایی از کادمیوم را در خود انباشته کرد. همچنین نتایج آزمایش نشان داد که شوری می‌تواند بر جذب کادمیوم توسط گیاه تأثیر گذار باشد و غلظت کادمیوم را در بافت-های عدسک آبی افزایش دهد. محلول‌های آبی حاوی کادمیوم و شوری سبب تغییر غلظت عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف در بافت گیاه عدسک آبی شد. کاربرد کادمیوم غلظت نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس، و سدیم عدسک آبی را کاهش و غلظت منگنز را افزایش داد. افزایش غلظت شوری محلول غذایی باعث کاهش غلظت نیتروژن، پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن، منگنز، روی و مس و افزایش سدیم عدسک آبی شد. در یک نتیجه گیری کلی می توان عنوان نمود که در شرایط آزمایش حاضر عدسک آبی یک گیاه انباشته‌گر خوبی برای کادمیوم می‌باشد.

منابع

۱. افلاکی، ا. ۱۳۸۴. تأثیر سطوح مختلف SAR و شوری بر عملکرد و کیفیت گوجه فرنگی در محیط کشت پرلیت. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.

۲. بنی هاشمی، س. م.، ع. لیاقت، و ب. متشرع زاده. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر شوری محیط ریشه بر جذب کادمیوم توسط آفتابگردان. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تحصصی مهندسی محیط زیست. انجمن مهندسی محیط زیست ایران. تهران. ایران.

۳. تاجی، ه. و ا. گلچین. ۱۳۸۹. بررسی سطوح مختلف کادمیوم و گوگرد بر عملکرد و غلظت کادمیم و برخی عناصر کم مصرف در برگ و ریشه ذرت (*Zea Mays* L.) در شرایط گلخانه ای. علوم و فنون کشت های گلخانه ای، ص. ۳۲-۲۳.

۴. حسینی، س. م. و ن. ع. کریمیان. ۱۳۷۸. تاثیر شوری بر عصاره پذیری روی قابل استفاده گیاهی. ششمین کنگره علوم خاک ایران. ۹-۶ شهریور، دانشگاه فردسی مشهد. مشهد، ایران.

۵. رجایی، ا. ۱۳۸۵. تاثیر سطوح مختلف شوری و روی بر عملکرد و میزان جذب کادمیوم توسط چند گونه گیاهی. پایان نامه دکتری خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۶. زهزاد، ب و ر. عظیم‌زاده. ۱۳۷۵. شناسایی گیاهان هرز آبزی سیستم آبرسانی مزارع و شالیزارهای استان گیلان. آفات و بیماری های گیاهی. ج۶۴ ش ۱ و ۲.

۷. سلیمی، م.، ا. ابراهیمی، ا. قاضی فرد، پ. نجفی، ح. امینی، پ. رزمجو، و م. وحید دستجردی. ۱۳۹۰. تأثیر شوری بر گیاه پالایی

کادمیوم از خاکهای آلوده. تحقیقات و نظام سلامت، ۷ (۶): ۱۱۳۷ – ۱۱۳۰.

۸. گلچین، ا.، م. اسماعیلی، و م. تکاسی. ۱۳۸۴. منابع آلاینده خاک و محصولات زراعی و باغی استان زنجان به فلزات سنگین، سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان زنجان.

۹. محمدی، م. م. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر نرخ جذب کادمیوم و قابلیت پالایش خاک به روش گیاه پالایی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۶.

۱۰. همایی، م.۱۳۸۲. واکنش گیاهان به شوری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۹۷، ۵۸ صفحه.

11. Abdel-Sabour, M. F., Mortvedt, J. J. and Kelson, J. J. 1988. Cadmium-Zinc interaction in plants and extractable cadmium and zinc fractions in soil. Soil Sci. 145 (6): 426-431.

12. Agastian, P., S.J. Kingsley. and M. Vivekanandan. 2000. Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. Photosynthetica, 38: 287-290.

13. Amini, M., M. Afyuni, H. Khademi, K. C. Abbaspour and R. Schulin. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of central Iran. Sci. Total Environ. 347: 64-77.

14. Bar, Y., A. Apelbaum, U. Kafkafi, and R. Goren. 1997. Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants. J. Plant Nutr., 20: 715-731.

15. Bayuelo-Jimenez, J. S., D.G. Debouck and J. P. Lynch. 2003. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. Field Crops Resear. 80: 207-22.

16. Ciecko, Z., S. Kalembasa, M. Wyszkowski, and E. Rolka. 2004. The effect of elevated cadmium content in soilon the uptake of nitrogen by plants. Plant Soil Environ., 50 (7): 283–294.

17. Clemens, S., D. M. Antosiewicz, J. M. Ward, D.P. Schachtman and j. I. Schroeder. 1998. The plant cDNA LCT1 mediates the uptake of calcium and cadmium in yeast. Proceedings of the Nation. Academy of Sci. USA., 95: 12043-12050.

18. Demirezen Y.D. 2007. Effects of salinity on growth and nickel accumulation capacity of Lemnagibba (Lemnaceae). J. Hazard Mater, 147: 74-77.

19. Doner, H. E. 1978. Chloride as a factor in mobilities of Ni (II), Cu (II) and Cd (II) in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 882–885.

20. Greger, M., and G. Bertell. 1992. Effects of Ca2+ and Cd2+ on the carbohydrate metabolism in sugar beet (Beta vulgaris). J. Experiment. Botany, 43: 167- 172.

21. Haghiri, F. 1974. Plant uptake of cadmium as influenced by cadtion exchange capacity, organic matter, zinc and soil temperature. J. Environ. Qual. 3(2): 180- 183.

22. Haller, W. T., D. L. Sutton, and W. C. Barlowe. 1974. Effect off salinity on growth of several aquatic macrophytes. Ecology. 55:891-894.

23. Hu, Y., and U. Schmidhalter. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 541-549.

24. Hutton, M. 1987. Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment. JOHN WILEY and SONS. 53-60.

25. Jiang, W., D. Liu and W. Hou. 2001. Hyperaccumlation of cadmium by roots, bulbs and shoots of garlic (Allium sativum L.). Biores, Teach. 76: 9-13.

26. Khellaf, N. and M. Zerdaoui. 2009. Phytoaccumulation of zinc by the aquatic plant, Lemnagibba L. Bioresour. Technol. 100: 1637-1640.

27. Kramer, U. 2005. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. Current Opinion in biotech, 16: 133-141.

28. Lodeiro, P., B. Cordero, J.L. Barriada, R. Herrero and M.E. Sastre de Vicente. (2005). "Biosorption of cadmium by biomass of brown marine macroalgae." Bioresour. Technol., Vol. 96, PP. 1796-1803.

29. Mass, E. V., G. Ogata, and M. J. Garber. 1972. Influence of salinity on Fe, Mn and Zn uptake by plants. Agron. J. 64:793-795.

30. Mobin, M., and N. A. Khan. 2007. Photosynthetic activity pigment composition and antioxidative response of two mustard cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. J. plant Physiol., 164:601-610.

31. Modak, J.M. and K.A. Natarajan. 1995. Biosorption of metals using nonliving biomass – A review. Mineral Metallurgical Process, 12(4): 189-196.

32. Naier, D., and A. Singh. 1989. Toxity of heavy metals (Zn. Cu, Cd, Pb) to vascular plants. A

literature review. Water, Air and Soil Pull, 47: 287-319.

33. Nocito, F. F., L. Pirovano, M. Cocucci, and G. A. Sacchi. 2002. Cadmium-induced sulphate uptake in maize roots. Plant Physiol. 129: 1872-1879.

34. Nriagu, J. O. 1979. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. Nature, 279: 409-411.

35. Ozturk, F., F. Duman, Z. Leblebici and R. Temizgul. 2010. Arsenic accumulation and biological responses of watercress (Nasturtium officinale R. Br.) exposed to arsenite. Environ. and Experimen. Botany, 69: 167–174.

36. Papadopoulos, L., and V.V. Rendig. 1983. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. Plant Soil. 73:47-57.

37. Parida K. A. and B. A. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: review. Ecotox Envıron. Safe. 60: 324-349.

38. Sandalio, L. M., H. C. Dalurzo, M. Gomez, M. C. Romero-Puertas and L. A. del Rio. 2001. Cadmium– induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. Experiment. Botany 52(364): 2115-2126.

39. Sari, A. and M.Tuzen. 2008. Biosorption of cadmium (II) from aqueous solution by red algae (Ceramiumvirgatum): Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. J. Hazard. Mater, 157: 448-454.

40. Skorzynska-Polite, E., A. Tukendorof, E. Selstam and T. Baszynski. 1998. Calcium modifies Cd effect on runner bean plants. Environmen. and Experimen. Botany., 40: 275-281.

41. Skrebsky, E. C., L. E. Tabaldi, L. B. Pereira, R. Rauber, J. Maldaner, D. Cargnelutti, J. F. Gonçalves, G. Y. Castro, M. R. C. Shetinger, and F. T. Nicoloso. 2008. Effect of cadmium on growth, micronutrient concentration, and δ-aminolevulinic acid dehydratase and acid phosphatase activities in plants of Pfaffiaglomerata. Braz. J. Plant Physiol. 20(4):10-24.

42. Song, J. and H. Fujiyama. 1998. Importance of Na content and water status for growth in Nasalinized rice and tomato plants. Soil Sci. and Plant Nutr., 44, 197–208.

43. Tester, M. and R. Davemport. 2003. Na+ tolerance and Na+ transport in higher plants. A review. Annal. Botany, 91: 503-527.

44. Vaillant, N., Fabien Monnet, F., Huguette Sallanon, H., Alain Coudret, A., Hitmi, A., 2004. Use of commercial plant species in a hydroponic system to treat domestic wastewaters. J. Environ. Qual. 33 (2): 695–702.

45. Wang, L., Q. Zhou, L. Ding, and Y. Sun. 2008. Effect of cadmium toxicity on nitrogen metabolism in leaves of Solanumnigrum L. J. Hazard. Mater.154:818-825.

46. Winter, P. 2003. Salt injury to land scape plants ، Seasonal tips, City of Novi, Mishigan, USA.

47. Wong, M. K., G. K. Chuah, L. L. Koh, K. P. Ang and C. S. Hew. 1984. The uptake of cadmium by Brassica chinensis and its effect on plant zinc and iron distribution. Environ. Exp. Bot. 24: 189 –195.

48. Yildiz, N. 2005. Response of Tomato and Corn plants to increasing Cd levels in nutrient culture. Pak. J. Bot., 2005. 37(3): 593-599.

Growth and nutrients concentration of duckweed (*Lemna minor* L.) as affected by cadmium and salinity application of aqueous solutions

Sufian J.[1], Golchin A.[2], Moradi S. [1], Jahanban L.[1] and Gheiratie Arani L.[1]

[1]Dept. of Agriculture, Payam Noor University, POBOX; 19395-3697, Tehran, I.R. of Iran

[2] Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, I.R. of Iran

Abstract

A greenhouse experiment was conducted to study the effect of cadmium application on growth and nutrient concentrations in the duckweed under salinity conditions. The experiment was factorial arranged in a completely randomized design (CRD) with three replications. Factors were cadmium levels (0, 5, 10, 20, 40, and 80 mg L-1 cd as cadmium sulfate) and salt concentration levels (0, 10, 20, 40, and 80 mM as sodium chloride) that added to Epstein nutrient solution. The results showed that cadmium and salinity, both alone and in combination, decreased relative growth rate of watercress. Cadmium concentration of duckweed increased by application of cadmium. Salinity increased cadmium concentration of duckweed. The application of cadmium and salinity, both alone and in combination, decreased nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, copper, sodium concentration. Manganese concentration increased by cadmium but decreased by salinity. In conclusion, duckweed accumulated the high concentration of cadmium, as is a cadmium accumulator plant, although high concentration of cadmium and salinity were causing plant death.

Key words: duckweed, cadmium, sodium chloride, nutrients