بررسی اثر آب آبیاری شور و کاربرد عنصر روی در خاک آلوده به کادمیوم بر خصوصیات رشدی و غلظت کادمیوم کلم قمری

۱- فاطمه یوسفی‌هزاری، کارشناس ارشد علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد
fa_yousefi393@yahoo.com
۲- علیرضا آستارایی، دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- امیر فتوت، دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد

دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۲۰
پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۲۱

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی اثر آبیاری با دو نوع آب شور حاوی کلریدسدیم و کلریدکلسیم و کاربرد عنصر روی در خاک آلوده به کادمیوم بر خصوصیات رشدی و غلظت کادمیوم در کلم قمری (*Brassica olerace var. gongylodes*) است. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح شوری آب (صفر، ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر) با دو نوع نمک کلریدسدیم و کلریدکلسیم در آب آبیاری و سه سطح روی (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک) از منبع سولفات‌روی بود. تمامی تیمار ها با ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک توسط نمک نیترات کادمیوم آلوده شد. نتایج نشان داد که افزایش شوری منجر به افزایش غلظت کادمیوم کلم و کاهش رشد آن می‌شود. شوری کلریدکلسیم نسبت به شوری کلریدسدیم، غلظت روی کمتری را در ریشه گیاه کلم نشان داد. تیمار روی تأثیری بر بهبود خصوصیات رشدی گیاه نداشت.

واژگان کلیدی: روی؛ کلریدسدیم؛ کلریدکلسیم؛ کادمیوم؛ کلم قمری.

مقدمه

فلزات سنگین عناصری با جرم اتمی بیش از ۵۵/۸ گرم بر مول بوده که غیر قابل تجزیه زیستی هستند [۳۵]، این فلزات به طور طبیعی به میزان کم در خاک‌ها وجود دارند، اما فعالیت‌های مختلف صنعتی و کشاورزی موجب افزایش مقدار آنها در خاک می‌گردد [۱]. فلزات سنگین به هر شکل به خاک‌های کشاورزی وارد شوند، باید در سطوحی نگه‌داری شوند که حداقل زیان را به گیاهان وارد نموده و کمترین خطر مصرف را از طریق ورود به زنجیره غذایی داشته باشند[۳۳]. کادمیوم یکی از فلزات سنگین است که جذب آن توسط موجودات زنده، مشابه جذب عنصر روی است [۲]. اثر هم‌افزایی بین کادمیوم و روی وجود دارد، ولی اثر روی بر جذب کادمیوم و تجمع آن در گیاهان همیشه یکسان نیست [۲۵]. کاربرد روی می‌تواند از طریق کاهش سمیت کادمیوم در گیاه جو (*Hordeum vulgare*)، باعث بهبود رشد گیاه شود [۴۰]. به دلیل موقعیت جغرافیایی کشور ایران، بخش وسیعی از اراضی کشاورزی دارای مشکل شوری خاک و آب است. از طرفی افزایش جمعیت در سال‌های اخیر، موجب افزایش مصرف آب در بخش کشاورزی و همچنین استفاده بیش از حد آب‌های زیرزمینی شور شده است [۱۶]. عملکرد محصولات در شرایط شوری خاک و آب، کاهش می‌یابد [۱۳]. در واقع شوری می‌تواند موجب بسیاری از نارسایی‌ها در گیاهان از جمله اختلال در انتقال عناصر غذایی و سوخت و ساز شود، که در آخر

منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود [۱۹]. هر چند کاهش رشد گیاه در شوری‌های مختلف بستگی به ترکیبات نمکی، غلظت نمک‌ها، مراحل فیزیولوژیکی گیاه و گونه‌های گیاهی دارد [۲۰].

تغذیه متعادل گیاهان در حال رشد در شرایط شوری خاک‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا در این شرایط ممکن است قابلیت دسترسی به عناصر به علت نگه داشت و تثبیت آن‌ها کاهش یابد و یا این‌که تداخل با جذب و انتقال عناصر توسط ریشه‌ها منجر به کاهش رشد گیاه شود[۱۷]. تحقیقات نشان می‌دهد که با افزایش شوری خاک، مقدار عنصر روی قابل دسترس گندم افزایش می‌یابد [۲۴]. کاربرد سولفات روی در اراضی شور، تحمل گیاه گندم به شوری را افزایش داده و در نتیجه موجب افزایش عملکرد آن می‌گردد [۲۳]. همچنین مشخص شده است نمک‌های محلول در خاک، بر جذب کادمیوم توسط گیاه موثرند [۲۳ و ۳۴] .

کلم قمری (*Brassica olerace* var. gongylodes) گیاهی یک‌ساله، نوعی سبزی خوراکی از اعضای خانواده چلیپائیان است [۶]. بخش خوراکی آن شامل ساقه گوشتی و کروی آن است که در روی خاک قرار می‌گیرد. این گیاه غنی از مواد غذایی بوده و به عنوان گیاهی دارویی دارای مقادیر بالایی از ویتامین‌ها (A, B1, B2, B5, B6و E)، عناصر معدنی (کلسیم، منیزیم، آهن و روی) و ترکیبات آنتی‌اکسیدانت است [۳].

این تحقیق به منظور بررسی اثر سطوح مختلف روی، نوع نمک و سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر غلظت عنصر روی و کادمیوم کلم قمری در خاک آلوده به کادمیوم و بررسی تأثیر آن‌ها بر خصوصیات رشدی و شاخص کلروفیل کلم قمری، انجام شد.

مواد و روش ها

تحقیق حاضر در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد، به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار بر روی گیاه کلم قمری (*Brassica olerace var.* gongylodes) انجام شد. خاک آزمایشی از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتر، از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد نمونه‌برداری و آماده‌سازی شد. سپس برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتری [۱۲]، pH نمونه خاک در گل اشباع با استفاده از دستگاه pH متر مدل METROHM 632 [۲۶]، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی مدل JENWAY4310 [۳۱]، نیتروژن کل به روش کجلدال و هضم با اسیدسولفوریک [۵]، فسفر قابل دسترس به روش اولسن و همکاران [۲۹] توسط دستگاه طیف‌سنج مدل S2000 UV/Vis، پتاسیم قابل دسترس خاک با استفاده از دستگاه شعله سنج [۳۱]، کربن آلی به روش اکسایش با دی‌کرومات‌پتاسیم [۳۷]، درصد آهک به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون برگشتی با سود در حضور معرف فنل فتالئین [۱۰] اندازه‌گیری شد. برای تعیین عناصر سنگین قابل استخراج از ماده شیمیایی DTPA-TEA[1] و از روش لیندزی و نرول [۲۷] استفاده شد. نمونه‌های خاک پس از عبور از الک دو میلی‌متری بر روی پلاستیکی پخش و سپس ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم عنصر کادمیوم با استفاده از نمک نیترات‌کادمیوم در آب مقطر حل و بر روی خاک پاشیده شد. همچنین سه سطح عنصر روی (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط نمک سولفات‌روی در آب حل شده و بر روی نمونه‌های خاک مربوط به هر تیمار پاشیده شد.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک قبل از انجام آزمایش

بافت	pH	ECe (dSm^{-1})	کادمیوم ($mg.kg^{-1}$)	روی ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن (٪)	کربن آلی (٪)	آهک (٪)
لوم رسی	۷/۵	۳/۷	۰/۰۳	۰/۶	۲۹۰	۳/۱	۰/۰۲	۰/۳۵	۲۰/۷

[1]Diethylene Triamine Pentaacetic Acid-Triethanolamine

پس از اعمال تیمارها، نمونه خاک هر تیمار به طور کامل با هم مخلوط و به کیسه های پلاستیکی انتقال یافته و با آب مقطر تا حد ظرفیت زراعی خیس شدند. درب نایلون‌ها جهت تبادل گازی به مدت ۶۰ روز باز و در دمای اتاق در حد ظرفیت زراعی نگهداری (روش وزنی) شدند. سپس نمونه‌های خاک روی ورقه‌های پلاستیکی مخصوص پخش و پس از خشک کردن در مجاورت هوا و عبور از الک ۲ میلی‌متری، به گلدان‌هایی با حجم ۳۰۰۰ سانتیمتر مکعب انتقال داده شد. پس از کشت گیاه کلم قمری، گلدان‌ها با آب‌های شور (شامل سه سطح صفر، ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر) از دو منبع نمک کلریدسدیم و کلرید کلسیم تا مرحله برداشت گیاه آبیاری شد. پس از گذشت سه ماه از کشت گیاهان، شاخص کلروفیل برگ‌ها توسط کلروفیل‌متر مدل (SPAD-502) اندازه‌گیری و برداشت گیاهان انجام شد. تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک اندام‌های ریشه‌ایی و هوایی در هر گلدان اندازه‌گیری شد. در پایان، نمونه‌های گیاهی به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای $^{\circ}C$ ۷۰ نگهداری و وزن خشک این اندام‌ها توسط ترازوی دیجیتالی توزین شد. غلظت کادمیوم و روی نمونه‌های گیاهی توسط دستگاه جذب اتمی (مدل Shimadzu AA-670) اندازه گیری شد. جهت تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن خشک ریشه و اندام هوایی

اثر متقابل نوع نمک و سطوح شوری، منجر به اختلاف معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) در وزن خشک اندام هوایی شد (جدول ۲). مقایسه سطوح شوری کلرید سدیم نشان داد این نمک در هر دو سطح شوری ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با سطح شوری صفر کلرید سدیم شده است. از طرفی مقایسه سطوح کلرید کلسیم نشان داد که افزایش نمک کلرید کلسیم در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به سطح شوری صفر کلرید کلسیم نشده و کاهش مشاهده شده تنها در سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس برمتر معنی‌دار است. بیشترین کاهش وزن خشک اندام هوایی در سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس برمتر از کلرید کلسیم مشاهده شد که با سطوح ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر از کلریدسدیم اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). اثر متقابل نوع نمک و سطوح شوری منجر به اختلاف معنادار ($P< ۰/۰۱$) وزن خشک ریشه شد (جدول ۲). در هردو نوع نمک با افزایش شوری وزن خشک ریشه نسبت به سطح شوری صفر کاهش نشان داد. همچنین وزن خشک ریشه در سطوح شوری ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر نمک کلرید سدیم در مقایسه با سطوح شوری مشابه کلریدکلسیم بترتیب کاهشی معادل ۲۵ و ۲۸/۶ درصد نشان داد (جدول ۳) و در هر دو سطح شوری، بیشترین کاهش وزن خشک متأثر از نمک کلرید سدیم است. افزایش هدایت الکتریکی به ۶/۳ دسی زیمنس بر متر با نمک کلرید سدیم به‌طور معنی‌داری وزن خشک ساقه و برگ خیار را نسبت به شاهد معادل ۵۵ تا ۶۰ درصد کاهش داد. در حالی که هدایت الکتریکی مشابه با کلرید کلسیم در آب آبیاری تأثیر زیادی بر وزن خشک برگ و ساقه گیاه خیار نداشت [۳۶]. نتایج بررسی چهار رقم سیب زمینی در هدایت الکتریکی ۱۵تا ۱۸ دسی زیمنس بر متر نشان داد که کلرید کلسیم نسبت به کلرید سدیم، وزن خشک و تر ساقه تمامی ارقام را کاهش داده است[۹]. غلظت‌های زیاد کلرید سدیم (۲/۵ و ۵ میلی‌مول) منجر به محدود کردن خصوصیات رشدی خیار می‌شود که به طور عمده به علت اختلال در سیستم فتوسنتزی کلروپلاست و اثرات ویژه یونی مربوط است[۷]. تحقیقات نشان می‌دهد که گیاه مانع انتقال سدیم به برگ می‌شود و برای تنظیم اسمزی باید انرژی صرف کند، در واقع زمانی که از ورود سدیم به برگ جلوگیری می‌شود، به سدیم به طور مستقیم اجازه داده می‌شود که سمیت بیولوژیکی ایجاد کند[۳۶]. حساسیت گیاه کلم به کلرید سدیم در مقایسه با کلرید کلسیم در اندام هوایی ممکن است به علت سمیت بیولوژیکی باشد. در این تحقیق، اثر متقابل سطوح روی و نوع شوری تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی نداشت (جدول ۲). ولی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بر وزن خشک ریشه کلم داشت، به طوری که کمترین وزن خشک ریشه در شوری حاصل از کلرید سدیم و در سطح

روی ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۴). اثر متقابل سطوح روی و شوری منجر به اختلاف معنی‌دار وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی شد($p<۰/۰۱$) (جدول ۲). افزایش شوری و سطوح روی منجر به کاهش وزن خشک اندام هوایی شد (جدول ۴). کمترین وزن خشک ریشه در غلظت روی ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و با سطح شوری آب ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که با سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس برمتر که دارای ۱۰۰ میلی-گرم برکیلوگرم روی بود و همچنین سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر که دارای سطح روی ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴).

تعداد و سطح برگ

اثر متقابل نوع نمک و سطوح شوری، منجر به اختلاف معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) در سطح برگ کلم قمری شد (جدول ۲). با افزایش سطوح شوری نمک کلرید سدیم در آب آبیاری، کاهش سطح برگ مشاهده شد (جدول ۳). سطوح شوری ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر، به ترتیب حدود ۳۳ و ۳۱/۱ درصد کاهش نسبت به سطح شوری صفر کلرید سدیم نشان داد. همچنین کاهش معنی‌دار سطح برگ کلم قمری با افزایش شوری آب آبیاری حاصل از نمک کلرید کلسیم مشاهده شد (جدول ۳). سطوح شوری ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر، به ترتیب حدود ۲۱/۱ و ۳۷/۱ درصد کاهش معنی‌داری در مقایسه با شوری صفر کلرید کلسیم نشان داد. با مقایسه دو نوع نمک فوق مشخص شد که بیشترین کاهش سطح برگ در شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر نمک کلرید کلسیم دیده می‌شود که اختلاف معنی‌داری با سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس برمتر از کلرید سدیم ندارد (جدول ۳) که مشابه نتایج تحقیقی بود که در آن ثابت شده بود که اولین پاسخ گیاه به افزایش تنش شوری کاهش در سطح برگ است [۳۰].

اثر متقابل سطوح روی و نوع شوری تأثیر معنی داری بر تعداد برگ و سطح برگ اندام هوایی نداشت (جدول ۲). همچنین اثر متقابل روی و سطوح مختلف شوری منجر به اثر معنی‌داری بر سطح برگ کلم قمری نشد (جدول ۲). با کاربرد روی در محلول غذایی، مقدار کلروفیل، سطح برگ و تعداد برگ چغندر قرمز افزایش می‌یابد [۴]. همچنین با افزودن ۲۰ میکروگرم روی در هر گرم خاک، نتایج مشابهی به دست آمد [۲۲].

مقدار کلروفیل

اثر متقابل سطوح نمک‌های کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر شاخص کلروفیل معنی‌دار نبود (جدول ۲). با بررسی چهار رقم سیب زمینی در هدایت الکتریکی ۱۵ تا ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد که در سه رقم از سیب‌زمینی‌ها، کلریدکلسیم نسبت به کلریدسدیم مقدار کلروفیل را کاهش داده و در یکی از رقم‌ها اختلاف معنی‌دار نبود [۹]. اثر متقابل روی و نوع شوری، و همچنین روی و سطوح شوری تأثیر معنی داری را بر شاخص کلروفیل ندارند (جدول ۲). درحالی‌که در تحقیقی رشد ساقه برنج و کلروفیل برگ گیاه برنج با استفاده از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و با شرایط شوری ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر از نمک کلرید سدیم افزایش یافت [۳۲].

اثرات متقابل روی و شوری آب آبیاری بر غلظت روی و کادمیوم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل تیمارهای روی و سطوح شوری آب آبیاری منجر به اختلاف معنی دار ($p<0.01$) در غلظت روی و کادمیوم اندام هوایی و ریشه کلم قمری شد (جدول ۲). بیشترین غلظت روی در ریشه کلم در تیمار روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با تیمار شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که نسبت به شاهد (شوری و روی صفر) معادل ۴/۵ برابر افزایش نشان داده است. در حالی که بیشترین غلظت روی در اندام هوایی کلم در تیمار روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با شوری صفر مشاهده شده که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند و در مقایسه با شاهد حدود ۲/۴ برابر افزایش نشان دادند (جدول ۵). در واقع، در یک خاک آلوده به کادمیوم و در مقادیر بالای شوری اثر روی بر غلظت کادمیوم کلم بستگی به نوع نمک، مقادیر شوری خاک، غلظت کادمیوم و روی قابل دسترس دارد.

اثر متقابل تیمار روی و شوری آب آبیاری نشان داد که بیشترین غلظت کادمیوم اندام هوایی و ریشه در سطح فاقد روی با ۵ دسی زیمنس بر متر شوری آب آبیاری دیده می‌شود. کمترین غلظت کادمیوم اندام هوایی و ریشه نیز در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی که فاقد آب آبیاری شور بودند، مشاهده شد (جدول۵).

ارتباط منفی بین کادمیوم و روی در خاک و گیاه به وسیله برخی پژوهشگران گزارش شد [۲۱ و ۲۸]. همچنین گزارش شده است که کاربرد سولفات‌روی منجر به کاهش تجمع کادمیوم دانه گندم در تمامی سطوح شوری می‌شود [۲۲]. روی از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان مانند سوپر اکسید دیسموتاز و همچنین رقابت با کادمیوم برای پیوند برقرار کردن با گروه های سولف‌هیدریل باعث حفاظت آنزیم ها و پروتئین های غشاء از سمیت کادمیوم می‌شود [۲۵]. اثر روی بر غلظت کادمیوم گیاهان بسیار بحث برانگیز است و به ویژگی‌های گیاه، شرایط رشد و مقدار کادمیوم استفاده شده شرایط آزمایش بستگی دارد [۱۴، ۱۸، ۲۸ و ۳۹].

اثرات متقابل روی و نوع نمک آب آبیاری بر غلظت عناصر روی و کادمیوم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمارهای نوع نمک و روی، بر غلظت کادمیوم اندام هوایی و ریشه کلم قمری و غلظت عنصر روی اندام هوایی تأثیر معنی‌داری ($p<0.01$) دارد؛ هرچند منجر به تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی در ریشه کلم قمری نشده است (جدول ۲).

نمک کلریدکلسیم همراه با تیمار روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم منجر به بیشترین غلظت عنصر روی در اندام هوایی کلم قمری شده است (جدول ۴). اثر متقابل تیمار روی و نوع نمک نشان داد که بیشترین غلظت کادمیوم ریشه در حضور نمک کلریدکلسیم و تیمار روی صفر مشاهده می‌شود (جدول ۴). بیشترین غلظت کادمیوم اندام هوایی در شوری حاصل از کلرید سدیم و در سطح روی صفر مشاهده شد (جدول ۴).

اثرات متقابل نوع نمک و سطوح شوری آب آبیاری بر غلظت کادمیوم و روی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل نوع نمک و سطوح شوری آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر غلظت عناصر روی و کادمیوم در اندام هوایی کلم قمری نداشته، ولی منجر به تأثیر معنی‌دار ($p<0.01$) بر غلظت کادمیوم و روی در ریشه کلم قمری شده است (جدول ۲). بیشترین غلظت کادمیوم ریشه در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر از نمک کلریدکلسیم مشاهده شد. افزایش غلظت کادمیوم با افزایش شوری خاک در محصولات زراعی نیز گزارش شده است [۳۸]. درواقع تجمع کادمیوم در خاک با شوری زیاد، موجب افزایش جذب آن در گیاهانی چون گندم و غده سیب‌زمینی می‌شود [۲۷].

اما بیشترین غلظت روی در ریشه در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر از نمک کلریدسدیم مشاهده شد (جدول ۳). بین شوری و روی موجود در بافت گیاه جو (Hordeum vulgare) ارتباط مثبت وجود دارد [۱۵].

جدول۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر رشد، نمو، مقدار کلروفیل و غلظت عناصر کادمیوم و روی در گیاه کلم قمری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		وزن خشک		کل سطح برگ ($cm^2.pot^{-1}$)	تعداد برگ در گلدان	روی		کلروفیل SPAD	کادمیوم	
		اندام هوایی ($g.pot^{-1}$)	ریشه ($mg.kg^{-1}$)			اندام هوایی ($mg.kg^{-1}$)	ریشه ($mg.kg^{-1}$)		اندام هوایی ($mg.kg^{-1}$)	ریشه ($mg.kg^{-1}$)
مدل	۱۹	۳/۷**	۰/۹**	۸۴۹۳۵/۴**	۲۱/۸**	۳۹۷۲/۳**	۳۰۱۴۰/۳**	۴۷/۵**	۴۶۲/۵**	۳۶۹۰۲/۷**
روی	۲	۲/۸*	۱/۴**	۷۰۶۳۵/۰**	۳۳/۹**	۲۰۳۸۹/۲**	۱۴۱۲۸۹/۸**	۶/۳^{ns}	۲۱۲/۵**	۱۲۷۶۷۹/۱**
نوع نمک	۱	۰/۹^{ns}	۰/۷**	۴۱۳۷۲/۲^{ns}	۲۰/۲*	۱۳۸/۴^{ns}	۴۶۰۳۷/۳**	۲۶/۳^{ns}	۵۶/۶^{ns}	۱۴۰۴۵/۱**
سطوح شوری	۲	۱۸/۷**	۵/۲**	۵۱۶۲۲۲/۸**	۵۹/۴**	۳۶۹۶/۸**	۸۹۹۳۷/۰**	۲۹۴/۴**	۲۹۷۸/۸**	۱۲۳۹۸۱/۱**
روی* نوع نمک	۲	۰/۵^{ns}	۰/۲**	۴۷۱۲۴/۸^{ns}	۱۲/۸^{ns}	۴۳۵۵/۳**	۱۹/۵^{ns}	۹/۰^{ns}	۴۵۹/۳**	۱۸۴۵/۵**
روی* سطوح شوری	۴	۳/۳**	۰/۲**	۴۰۱۰۱/۵^{ns}	۲۰/۹**	۳۱۵۲/۰**	۶۱۹۴/۹**	۱۱/۲^{ns}	۵۷/۲*	۲۷۱۰۰/۶**
نوع نمک * سطوح شوری	۳	۲/۸*	۰/۲**	۳۳۸۸۹/۰*	۷/۷^{ns}	۶۲/۳^{ns}	۱۰۱۷۱/۰**	۱۴/۹^{ns}	۸/۸^{ns}	۳۳۳۹/۳**
خطا	۳۴	۰/۷	۰/۰۲	۱۰۹۰۸/۸	۴/۳	۱۴۶/۸	۳۶۷/۹	۷/۳	۲۱/۱	۱۰۴/۰
ضریب تغییرات (٪)		۱۳/۸	۱۵/۰	۱۴/۲	۸/۷	۱۴/۹	۱۱/۰	۵/۷	۱۴/۳	۵/۷

اعداد موجود در هر ستون در صورت داشتن حروف مشابه درسطح اطمینان ۵٪ معنی دار نیستند.

جدول۳. اثر متقابل نوع نمک و سطح شوری آب آبیاری بر خصوصیات رشدی،کلروفیل و غلظت عناصر روی و کادمیوم گیاه کلم قمری

نوع شوری (mg/kg)	سطوح شوری ($dS.m^{-1}$)	وزن خشک		سطح کل برگ ($cm^2.plant^{-1}$)	کادمیوم		روی	
		ریشه ($gr.plot^{-1}$)	اندام هوایی ($gr.plot^{-1}$)		ریشه ($mg.kg^{-1}$)	اندام هوایی ($mg.kg^{-1}$)	ریشه ($mg.kg^{-1}$)	اندام هوایی ($mg.kg^{-1}$)
کلرید سدیم	۰	۱/۶^{a}	۷/۱^{a}	۹۷۴/۷^{a}	۷۸/۴^{e}	۲۰/۴^{a}	۱۱۸/۳^{c}	۱۰۱/۲^{a}
	۲/۵	۰/۶^{c}	۵/۲^{b}	۶۵۳/۲^{bc}	۱۶۳/۶^{d}	۳۴/۸^{a}	۱۸۲/۰^{b}	۷۸/۵^{a}
	۵	۰/۵^{c}	۵/۳^{b}	۶۷۱/۰^{b}	۲۵۰/۶^{b}	۴۶/۱^{a}	۳۲۱/۸^{a}	۶۱/۳^{a}
کلرید کلسیم	۰	۱/۶^{a}	۷/۱^{a}	۸۸۲/۸^{a}	۷۹/۳^{e}	۱۸/۵^{a}	۱۱۸/۶^{c}	۷۷/۹^{a}
	۲/۵	۰/۸^{b}	۶/۳^{a}	۶۹۶/۲^{b}	۲۰۸/۷^{c}	۲۸/۹^{a}	۱۲۶/۲^{c}	۹۰/۲^{a}
	۵	۰/۷^{b}	۵/۰^{b}	۵۵۵/۲^{c}	۲۹۳/۹^{a}	۴۴/۴^{a}	۱۹۹/۵^{b}	۷۳/۰^{a}

جدول ۴. اثرات متقابل روی و نوع نمک بر وزن خشک ریشه، غلظت روی و کادمیوم گیاه کلم قمری

نوع نمک ($ds.m\ l^{-1}$)	تیمار روی ($mg.kg^{-1}$)	کادمیوم اندام هوایی ($mg.kg^{-1}$)	کادمیوم ریشه ($mg.kg^{-1}$)	روی اندام هوایی ($mg.kg^{-1}$)	وزن خشک ریشه ($gr.plot^{-1}$)
کلرید سدیم	۰	۴۱/۰^{a}	۲۶۲/۸^{b}	۵۵/۴^{d}	۱/۲^{a}
	۵۰	۲۴/۹^{d}	۸۴/۵^{f}	۹۶/۵^{b}	۰/۵^{c}
	۱۰۰	۳۳/۳^{b}	۱۳۹/۲^{d}	^{b}۱۰۰/۰	۰/۹^{b}
کلرید کلسیم	۰	۳۱/۰^{bc}	۲۹۱/۵^{a}	۳۹/۰^{e}	۱/۲^{a}
	۵۰	۳۴/۲^{b}	۱۲۱/۵^{e}	۷۴/۶^{c}	۰/۸^{b}
	۱۰۰	۲۷/۸^{cd}	۱۷۰/۰^{c}	۱۳۷/۳^{a}	۱/۲^{a}

اعداد موجود در هر ستون در صورت داشتن حروف مشابه درسطح اطمینان ۵٪ معنی دار نیستند.

جدول ۵. اثرات سطوح روی و شوری آب آبیاری بر رشد نمو، کلروفیل و غلظت روی و کادمیوم گیاه کلم قمری

شوری	وزن خشک		تعداد	کادمیوم		روی	غلظت روی	
(dS. m^{-1})	ریشه ($g.plot^{-1}$)	اندام هوایی ($g.plot^{-1}$)	برگ	ریشه ($mg.kg^{-1}$)	اندام هوایی ($mg.kg^{-1}$)	(mg/kg)	ریشه ($mg.kg^{-1}$)	اندام هوایی ($mg.kg^{-1}$)
صفر	۲/۰^{a}	۰/۸^{a}	۲۶/۵^{a}	۷۷/۳^{f}	۲۳/۲^{d}	۰	۷۲/۲^{e}	۴۴/۷^{d}
	۱/۱^{c}	۶/۴^{bc}	۲۵/۵^{ab}	۸۲/۱^{f}	۱۷/۶^{e}	۵۰	۹۰/۶^{e}	۹۳/۷^{b}
	۱/۸^{b}	۶/۹^{b}	۲۵/۳^{ab}	۷۶/۸^{f}	۱۷/۵^{e}	۱۰۰	۱۹۲/۶^{c}	^{a}۱۴۷/۰
۲/۵	۰/۹^{d}	۵/۹^{cd}	۲۲/۵^{c}	۳۰۶/۱^{b}	۳۳/۸^{c}	۰	۸۹/۹^{e}	۴۵/۸^{d}
	۰/۵^{fg}	۴/۹^{d}	۲۲/۲^{c}	۱۰۳/۸^{e}	۲۶/۹^{d}	۵۰	۱۲۱/۸^{d}	۷۹/۶^{bc}
	۰/۸^{de}	۶/۷^{bc}	۲۳/۷^{bc}	۱۲۹/۶^{d}	۳۳/۷^{c}	۱۰۰	۲۴۱/۴^{b}	۱۵۵/۱^{a}
۵	۰/۸^{de}	۴/۸^{d}	/۵^{abc}	۳۸۶/۲^{a}	۵۰/۹^{a}	۰	۱۸۷/۵^{c}	۴۴/۷^{d}
	۰/۴^{g}	۵/۴^{d}	۱۸/۵^{d}	۱۴۲/۴^{d}	۴۴/۳^{b}	۵۰	۱۷۸/۸^{c}	۸۳/۴^{bc}
	۰/۷^{ef}	۵/۲^{d}	/۲^{abc}	۲۵۲/۰^{c}	۴۰/۴^{b}	۱۰۰	۳۹۵/۴^{a}	۷۵/۴^{c}

اعداد موجود در هر ستون در صورت داشتن حروف مشابه درسطح اطمینان ۵٪ معنی دار نیستند.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد تجمع کادمیوم و روی در ریشه کلم قمری بیشتر از اندام هوایی است. نتایج محقق دیگری نشان داد که انباشت فلزات سنگین در کلم به ترتیب در ریشه> برگ> ساقه می‌باشد [۸]. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که افزایش کاتیون‌های قابل تبادل خاک بر غلظت کادمیوم و روی در گیاه مؤثر هستند. هر چند افزایش غلظت روی منجر به کاهش غلظت کادمیوم اندام هوایی شد، کاهش مشاهده شده در هیچ یک از خصوصیات رشدی گیاه تأثیر گذار نبود و رشد گیاه را بهبود نداد. در واقع در یک خاک آلوده به کادمیوم و در مقادیر بالای شوری اثر روی بر غلظت کادمیوم کلم بستگی به نوع شوری خاک و غلظت کادمیوم و روی قابل دسترس دارد. نوع کاتیون قابل تبادل و قدرت یونی بر رفتار روی و کادمیوم مؤثر هستند. کاتیون و قدرت یونی توسط ایجاد رقابت، تغییر در پتانسیل الکترواستاتیکی سطوح کلوئیدی خاک با تغییر غلظت، pH، اثر ویژه کاتیون‌های چند ظرفیتی بر ضخامت لایه دوگانه پخشیده، تغییر غلظت مواد آلی محلول و تغییر نوع فلز، رفتار فلزات سنگین را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۱۱]. بنابراین بررسی خصوصیات خاک شور مناطق تحت کشت و مراقبت در کاربرد کودهای روی در خاک‌های شور آلوده به کادمیوم امری ضروری به نظر می‌رسد. همچنین استفاده از آب شور در مناطق آلوده به فلزات سنگین به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود.

References

[1]. Abdullahi, M. S., Uzairu, A. & Okunola, O. J., (2009). Quantitative determination of heavy metal concentration in onion leaves. *International Journal of Environmental Research.* 3(2), 271-274.

[2]. Allaway, W.H., Burau, R.G., Fulkerson, W., . Laitinen, H.A., Newberne, P.M., Pierce, J.O. & Wixson, B.G. (1974). Cadmium, Zinc, and lead. *National Academy of sciences*, Washington: D.C. V1:43-56

[3]. Beecher, C., (1994). Cancer preventive properties of varieties of Brassica oleracea: a review. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59: 1166-1170.

[4]. Behtash, F., Tabatabaei, S.J., Malakouti, M.J., Sororaddin M.H., & Oustan, Sh., (2010). Effect of Zinc and Cadmium on

Growth, Chlorophyll Content, Photosynthesis, and Cadmium Concentration in Red Beet. *Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Science,* 24, 1, (in Farsi).

[5]. Bremner, M. (1970). Nitrogen total, regular kjeldahl method. Methods of Soil Analysis, Part2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Wisconsin. USA: Madison publisher. 610-616.

[6]. Byers, T., Nestle, M., McTiernan, A., Doyle, C., Currie-Williams, A., Gansler, T. & Thun, M. (2002). The American Cancer Society 2002 Nutrition and Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Reducing the Riskof Cancer with Healthy Food Choices and Physical Activity. *CACancer Journal. Clinicans*, 52: 92-119.

[7]. Drew, M.C., Hole, P.S. & Picchioni, G. A. (1990). Inhabitation by NaCl of net Co2 fixation and yield of cucumber. Journal. American. Society. *Horticultural. Science*. 115: 472-477.

[8]. Etehadnia, M., Schoenau, J., Waterer, D., Karen, T. (2010). The effect of CaCl2 and NaCl Salt Acclimation in stress Tolerance and its potential role in ABA and Scion/Rootstock-Mediated salt Stress responses. Plant Stress. 4: 72-81

[9].FAO. (1990). Management of gypsiferous soils. Food and Agriculture organization. Available at Web site http://www.worldcat.org/title/management-of-gypsiferous-soils/oclc/65862815. (verified 5 October 2011).

[10]. Gee, G.W., & Bauder J.W. (1986). Particle-size analysis. Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods. Wisconsin, USA: Madison Publisher

[11]. Grattan, S.R., Grieve, C.M. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. - Science. Horticultural. 78: 127-157.

[12]. Hart, J.J., Welch, R.M., Norvell, W.A. & Kochian, L.V. (2002). Transport interactions between Cadmium and Zinc in roots of bread and durum wheat seedlings. Physiology Plant, 116, 73e78.

[13]. Hassan, M. J., Zhu, Z., Ahmad, B., and Mahmood, Q. 2006. Influence of cadmium toxicity on rice genotypes as affected by zinc, sulfur and nitrogen fertilizers. *Caspin Journal. Environmental Science*. 4(1): 1-8.

[14]. Helal, H.M., Haque S.A., Ramadan A.B., & Schung, E. (1996). Salinity-Heavy Metal Interactions as Evaluated by Soil Extraction and Plant Analysis. Commun. Soil Science Plant Analysis. 27:1355–1361.

[15]. Homaee, M. (2002). Plants response to salinity. *Iranian Society of Irrigation and Drainage.* 58, 97, (in Farsi).

[16]. Honma, Y., Hirata, H. (1978). A noticeable increase in Cd absorption by Zn deficient rice plants. *Soil Science and Plant Nutrition.* 24, 295e297.

[17]. Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sridharan, R. & Panneerselvam, R. (2007a). Studies on germination, seedling vigour, lipid peroxidation and proline metabolism in Catharanthus roseus seedlings under salt stress. *South African Journal of Botany* 73, 190-195.

[18]. Jaleel, C. A., Manivannan. P., Kishorekumar, A., Sankar, B. & Panneerselvam, R. (2007b). Calcium chloride effects on salinity induced oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation in Catharanthus roseus. *Comptes Rendus Biologies* 330.

[19]. Jalil, A. F., Selles, & Clark, J.M. (1994). Effect of Cd on growth and uptake of Cd and other elements by durum wheat. *Journal of Plant Nutrition* 17: 1839-1858.

[20]. Karimian, N. (1995). Effect of nitrogen and phosphorus on Zinc nutrition of corn in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition,* 18: 2261-2271.

[21]. Khoshgoftarmanesh, A. H., shariatmadari, H., Karimian, N., Kalbasi, M. 2004. Salinity and zinc application effects on phytoavailability of cadmium and zinc. *Soil Sciences Society American Journal*, 68:1885-1889.

[22]. Khosh goftarmanesh, A. H., Shariatmadari, H, Kalbasi, M. & Qma, L. (2003). Effect of NaCl salinity and Zn Application on species of Cd and in soil solution. Seventh International conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Uppsala, Sweden.

[23]. Köleli, N., Eker, S. & Cakmak, I. (2004). Effect of Zinc fertilization on Cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in Zinc-deficient soil. *Environmental Pollution* 131: 453-459

[24]. Mc Lean, E.D. (1982). Soil pH and lime requirement. Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Wisconsin, USA: Madison Publisher

[25]. Norvell, W. A., Hopkins, J. Wu., D.G. & Welch, R. M. (2000). Assosiation of Cadmium in Durum Wheat Grain with Soil Chloride and Chelate-Extractable Soil Cadmium. *Soil Science Society of America Journal,* (64):2162-2168.

[26]. Oliver, D.P., Schultz, J.E., Tiller, K.G., Wilhelm, N.S., Merry, R.H.Cozens, G.D. (1994). The effects of Zinc fertilization on Cadmium concentration in wheat grain. *Journal of Environmental Quality,* 23, 705-711.

[27]. Olsen, S. R.; Sommers, L. E., (1990). Phosphorus. in: Page, A.L. (Ed.). Methods of Soil Analysis. Parts 2, Agron., Monogr No. 9 Madison, WI. 403-431.

[28]. Parida, A.K., Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety,* 60: 324-349.

[29]. Richards, L.A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, L.A. Richards (eds). Handbook of . U.S. Dept. of Agriculture, Washington: p. 4-160.

[30]. Saleh, J. and Maftoun, M. (2008). Interactive Effects of NaCl Levels and Zinc Sources and Levels on the Growth and Mineral Composition of Rice. *Journal of Agricultural Science and Technology,* 10: 325-336.

[31]. Smith, S. R. (1994). Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge-treated soil. 1. Nickel, Cu and Zn uptake and toxicity to ryegrass. *Environmental Pollution Journal,* 85:321-327.

[32]. Terry, N. & Banuelos, G.(2000). Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Boca Raton: Lwis Publication, c2000.

[33]. Torresday, J. L., Videa, J. R. P., Rosa, G. D. & Parsons, J., 2005. Pytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorbtion spectroscopy. *Coordination chemistry Review*, 249, 1797- 1810.

[34]. Trajkova, F., & Papadatonakis, N. (2006). Comparative effects of NaCl and CaCl2 salinity on cucumber grown in a closed hydroponic system. *HortScience*, 41(2); 437-441.

[35]. Walkley, A. & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. (37): 29.

[36]. Weggler-Beaton, K., Mclaughlin, M.J. &. Graham, R. D.(2000). Salinity increases Cadmium uptake by wheat and Swiss Chard from soil amended with biosolide. *Australian Journal of Soil Research*, 38: 37-45.

[37]. Welch, R.M., Hart, J.J., Norvell, W., Sullivan, L.A., Kochian, L.V. (1999). Effects of nutrient solution Zinc activity on net uptake, translocation, and root export of Cadmium and Zinc by separated sections of intact durum wheat (*Triticum turgidum L-var durum*) seedling roots. *Plant Soil*, 208, 243-250.

[38]. Wu, F.B., Zhang, G.P. (2002). Alleviation of Cadmium-toxicity by application of Zinc and ascorbic acid in barley. *Journal of Plant Nutrition,* 25, 2745-2761.

Effect of irrigation water salinity and Zinc application on growth and Cadmium concentration of Kohlrabi in Cadmium-contaminated soil

1- F. Yousefi Hezari, MSc of Soil Sciences Department, Ferdowsi University of Mashhad
Fa_yousefi393@yahoo.com
2- A. R. Astaraei, Associate Professor, Department of Soil Sciences, Ferdowsi University of Mashhad
3- A. Fotovat, Associate Professor, Department of Soil Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 11 Dec 2013
Accepted: 12 Nov 2014

Abstract

The aim of the study was to investigating of the effect of irrigation with two types of $CaCl_2$ and NaCl salinities and Zinc application on Cadmium concentration and growth of kohlrabi plant (*Brassica olerace var. gongylodes)* in Cadmium-Contaminated soil. This experiment was completely random design (factorial) with three replicates. Treatments were three levels of Zn (0, 50 and 100 $mg.kg^{-1}$) using Zinc sulfate salt, and three salinity levels (0, 2.5 and 5 dSm^{-1}) by using two types of sodium chloride and calcium chloride salts in irrigation water. For polluted soil, 15 $mg.kg^{-1}$ of Cadmium by Cadmium nitrate salt was added to all soils before treating soil with different treatments. Result showed that increasing water salinity led to raising Cadmium concentration in above ground of kohlrabi and decreasing kohlrabi growth. $CaCl_2$ salinity, compare to NaCl salinity showed less Zinc concentration at root Kohlrabi plant. Zinc treatment had no any effect on plant growth properties.

Keywords: Cadmium; Calcium chloride; Kohlrabi; Sodium chloride; Zinc.