اثرهای شوری آب آبیاری و کاربرد روی بر حلالیت کادمیم خاک و غلظت آن در گندم

امیر حسین خوش‌گفتار منش[۱]، حسین شریعتمداری[۱] و نجفعلی کریمیان[۲]

چکیده

یک آزمایش فاکتوریل با دو سطح روی (صفر و ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، پنج سطح شوری آب آبیاری (صفر، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۱۲۰ میلی‌مولار نیترات سدیم) با سه تکرار اجرا گردید. بذر گندم، رقم روشن ***Triticum aestivum*** **cv. (Roshan** *در داخل گلدان‌ها کشت گردید. بعد از برداشت گیاه، غلظت روی و کادمیم در اندام‌های هوایی اندازه‌گیری شد. فعالیت گونه‌های مختلف روی و کادمیم محلول خاک با استفاده از نرم‌افزار* **MINTEQA2** *تخمین زده شد.*

شوری ناشی از کلرید سدیم باعث افزایش غلظت کادمیم کل و نیز گونه‌های Cd^{2+}، $CdCl^{0}_{2}$ و $CdCl^{+}$ *محلول خاک شد، در حالی‌که شوری نیترات سدیم تأثیری بر غلظت کادمیم محلول خاک نداشت. غلظت کادمیم گیاه، با غلظت کادمیم کل و کلر محلول خاک هم‌بستگی مثبت و با غلظت روی محلول خاک هم‌بستگی منفی داشت. مصرف سولفات روی باعث کاهش غلظت کادمیم و افزایش غلظت روی در گیاه گردید. نتایج این آزمایش نشان داد یون کلرید، نقش مؤثری در افزایش حلالیت کادمیم خاک و جذب آن به وسیله گیاه دارد.*

واژه‌های کلیدی: *کادمیم، روی، شوری، گندم.*

مقدمه

شوری و آلودگی خاک با فلزات سنگین، دو مشکل اساسی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان هستند (۱۱). آلودگی خاک و آب به فلزات سنگین، ضمن کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولید کشاورزی و سلامت افراد جامعه را با خطر مواجه می‌کند (۲). با وجود این‌که در مورد اثرهای نامطلوب انباشته‌شدن نمک در خاک و گیاه، پژوهش‌های زیادی انجام شده (۱۰ و ۱۷)، توجه کمتری به نقش شوری آب و خاک در انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان و دام معطوف شده است (۱۲).

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲.استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.5.0]

در میان فلزات سنگین، کادمیم دارای اهمیت ویژه‌ای است؛ زیرا به راحتی جذب ریشه گیاه شده و سمیت آن برای گیاهان تا ۲۰ برابر بیشتر از سایر فلزات سنگین است (۲). ورود کادمیم به زنجیره غذایی و مصرف آن به وسیله انسان و دام مضر است (۱٦).

خاک، منبع اصلی ورود کادمیم به داخل گیاه است. به‌طور کلی قابلیت استفاده کادمیم خاک تحت تأثیر مقدار و منشأ کادمیم، pH، مقدار ماده آلی، مقدار و نوع رس، رقابت سایر عناصر به ویژه روی، ظرفیت تبادل کاتیونی و شوری می‌باشد (۷ و ۱۳).

نتایج آزمایش‌های برخی محققان (۷، ۱۳، ۱٤، ۱۵، ۱٦، ۱۹ و ۲۱) نشان می‌دهد شوری و یا یون کلرید نقش مؤثری در افزایش حلالیت کادمیم خاک و جذب آن به وسیله گیاه دارد. افزایش جذب کادمیم در شرایط شور، در بسیاری از غلات گزارش شده است (۱٦).

کادمیم از منابع مختلف وارد خاک می‌شود ولی در زمین‌های کشاورزی، کادمیم موجود در کودهای فسفره، یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی خاک با این عنصر سمی است (۲). نقش کودهای فسفره، در آلودگی خاک‌های زراعی با کادمیم، در بسیاری از منابع ذکر گردیده است (۲، ۱٤، ۱۵، ۱۹ و ۲۱). مقدار قابل توجهی کادمیم به‌صورت ناخالصی در کودهای شیمیایی فسفره وجود داشته که منشأ آنها از سنگ معدن است (۱). در طی سه دهه گذشته، هیچ نظارتی بر ورود، توزیع و مصرف کودهای شیمیایی فسفره در ایران نبوده و همین امر موجب شده سالیانه مقادیر قابل توجی فسفر و کادمیم وارد خاک‌های زراعی و باغی کشور شود (۵). از پیامدهای مصرف بی‌رویه کودهای فسفره، کمبود روی (یک عنصر غذایی) و تجمع کادمیم (یک عنصر سمی) در بافت‌های گیاهی است (۲).

با وجود این‌که pH مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده غلظت کادمیم خاک محسوب شده و به نظر می‌رسد در خاک‌های آهکی و قلیایی، غلظت کادمیم محلول خاک ناچیز باشد، ولی نتایج بررسی‌های متعددی نشان داده است که نقش شوری در افزایش حلالیت کادمیم، می‌تواند مهم‌تر از نقش pH باشد (۷ و ۱٤). در خاک‌های شور، به دلایل بسیاری از جمله تشکیل کمپلکس‌های کادمیم و کلر و نیز تبادل سدیم با کادمیم در محل‌های جذب سطحی ذرات جامد خاک، حلالیت کادمیم و قابلیت جذب آن به وسیله گیاه افزایش می‌یابد (۷). بنابراین خطر انباشته شدن کادمیم در گیاهانی که در خاک‌های شور کشت می‌شوند وجود دارد. از طرفی به دلیل رابطه آنتاگونیستی بین روی و کادمیم، کمبود روی در این شرایط تشدید می‌شود. ضمن این‌که احتمال افزایش غلظت کادمیم در دانه گندم و کاهش کیفیت غذایی آن نیز وجود دارد (۲).

قابلیت استفاده روی و کادمیم برای گیاه، علاوه بر غلظت کل فلز در محلول، به گونه‌های مختلف آن نیز بستگی دارد (۷، ۱٦ و ۱۸). روی و کادمیم در محلول خاک به شکل‌های مختلف از جمله کاتیون آزاد دو ظرفیتی، کمپلکس‌های معدنی و آلی وجود دارند (۹ و ۱۸). درک بهتر و واقعی‌تر رفتار فلزات سنگین در خاک با تعیین گونه‌های مختلف فلزی در محلول امکان‌پذیر است (۱۸ و ٦). برخی برنامه‌های رایانه‌ای در دسترس بوده که با داشتن بانک‌های اطلاعاتی گسترده قادرند ضمن تعیین گونه‌های شیمیایی فلزات در محلول خاک، واکنش‌های شیمیایی آنها را پیش‌بینی و مدل‌سازی کنند (٦ و ۹). یکی از این برنامه‌ها، MINTEQA2 بوده که توسط تعدادی از محققان برای تعیین گونه‌های شیمیایی فلزات در محلول خاک به‌طور موفقیت آمیزی به کار گرفته شده است (٦ و ۹). این محققان گزارش کردند که مدل MINTEQA2 و روش رزین‌های تبادل کاتیونی، نتایج مشابهی برای تعیین گونه‌های مس و روی در خاک مورد مطالعه داشته‌اند (۹ و ۱۸).

کادمیم و روی از نظر شیمیایی بسیار مشابه‌اند. بنابراین، کادمیم می‌تواند به جای روی در واکنش‌ها شرکت کند. ولی برخلاف روی که یک عنصر مهم و حیاتی است، کادمیم به دلیل میل ترکیبی آن با گروه‌های تیول (SH-) آنزیم‌ها و دیگر پروتئین‌ها، برای گیاه سمی است (۲). از طرفی مقدار قابل

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.5.0]

استفاده روی در اغلب خاک‌ها به ویژه خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل pH بالا، درصد بالای آهک و کمبود ماده آلی خاک در حد پایینی قرار دارد (۳).

هدف این مطالعه، بررسی تأثیر شوری بر حلالیت روی و کادمیم در خاک و غلظت آنها در گندم بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی بلندنظر در استان قم اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو سطح روی (صفر و ۱/۵ میلی‌گرم روی از منبع سولفات روی در کیلوگرم خاک) و پنج سطح شوری آب آبیاری (شامل صفر، ٦٠، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی مولار کلرید سدیم و ۱۲۰ میلی‌مولار نیترات سدیم) در سه تکرار اجرا شد. این مقادیر شوری، بر اساس محدوده تغییرات شوری در اراضی زراعی استان قم انتخاب شد. برای تعیین نقش تنش اسمزی ناشی از شوری و قدرت یونی در جذب کادمیم به وسیله گیاه، از یک سطح شوری نیترات سدیم نیز استفاده گردید. برای اجرای آزمایش، از خاک سطحی (۲۵-۰ سانتی‌متری) یکی از اراضی زراعی استان، که دارای مقدار بالای فسفر بود، نمونه‌برداری شد. در طی ۲۰ سال گذشته، مقادیر بسیار بالای کودهای فسفره در این خاک استفاده شده است. نتایج تجزیه برخی ویژگی‌های این خاک در جدول ۱ آورده شده است. پس از عبور خاک از الک ۵ میلی‌متری، ۲ کیلوگرم خاک در هر گلدان قرار داده شد. سپس بر اساس نتایج تجزیه خاک، ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره و ٤٠ میلی‌گرم پتاسیم از منبع فسفات پتاسیم به‌طور یکسان به هر یک از گلدان‌ها اضافه شد. با توجه به بالا بودن فسفر بومی خاک، کود فسفره توصیه نشد. هم‌چنین به نیمی از گلدان‌ها (۱۵ گلدان) ۱/۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم از منبع سولفات روی همراه با آب آبیاری اضافه گردید. سپس تعداد ۸ بذر گندم، رقم روشن (*Triticum* cv. Roushan) داخل هر گلدان کاشته شد. آبیاری گلدان‌ها تا حد ظرفیت مزرعه و در نظر گرفتن برخه آب‌شویی ۱۵ درصد، با استفاده از روش وزنی انجام شد. تا مرحله سبز شدن بذرها، آب مقطر و در مراحل بعدی از آب‌های شور برای آبیاری استفاده گردید. گیاهان از سطح خاک برداشت شده، پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و وزن خشک اندام‌های هوایی تعیین شد. سپس نمونه‌های گیاهی آسیاب شده و از هر نمونه یک گرم در داخل بوته چینی به مدت ۵ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد کوره الکتریکی خاکستر شد. با اضافه کردن ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال و عبور محلول از کاغذ صافی، عصاره‌گیری انجام شده و غلظت عناصر روی و کادمیم گیاه با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۸).

بعد از برداشت گیاه، نمونه‌های خاک هر تیمار پس از جدا کردن ریشه‌ها و هواخشک کردن، مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. هر نمونه خاک با آب مقطر به حالت اشباع درآمده و بعد از یک شب، عصاره اشباع خاک تهیه شده و قابلیت هدایت الکتریکی، pH، غلظت کلسیم، منیزیم (به روش تیراسیون با ورسین)، سدیم و پتاسیم (با روش شعله سنجی)، سولفات، کلر و بی‌کربنات (۸)، روی و کادمیم (با دستگاه جذب اتمی و در مورد نمونه‌هایی که غلظت کادمیوم آنها کمتر از ۰/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود با استفاده از کوره گرافیتی) در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار MINTEQA2 (٦)، غلظت گونه‌های مختلف روی و کادمیم محلول خاک تخمین زده شد.

نتایج

با افزایش شوری ناشی از کلرید سدیم، وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) کاهش یافت. کاهش وزن خشک گیاه متناسب با غلظت کلرید سدیم در آب آبیاری بود (شکل ۱). شوری ناشی از تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار نیترات سدیم نیز باعث کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه شد. از لحاظ وزن خشک اندام‌های هوایی، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۱۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و نیترات سدیم دیده نشد (شکل ۱).

مصرف سولفات روی موجب افزایش معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه شده و این تأثیر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.5.0]

جدول۱. برخی ویژگی‌های خاک قبل از آزمایش

ویژگی	واحد	مقدار
pH	–	۷/۸
قابلیت هدایت الکتریکی	دسی زیمس بر متر	۱/۵
عصاره اشباع		
کربنات کلسیم معادل	درصد	۲۲
رس	درصد	٥٤
سیلت	درصد	۳٦
شن	درصد	۱۰
فسفر قابل استفاده	میلی‌گرم در کیلوگرم	۱۸
پتاسیم قابل استفاده	میلی‌گرم در کیلوگرم	۲۱۰
روی قابل عصاره‌گیری با* EDTA	میلی‌گرم در کیلوگرم	۰/۹
کادمیم قابل عصاره‌گیری با EDTA	میلی‌گرم در کیلوگرم	۱/۳

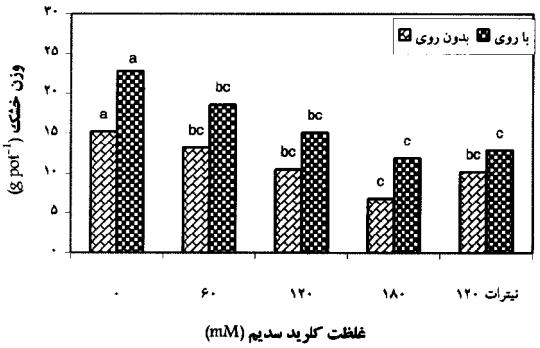
مستقل از منبع شوری بود (شکل ۱). به نظر می‌رسد روی، ضمن کاهش اثرهای زیان‌آور و غلظت بالای نمک، میزان تحمل به شوری گیاه را افزایش داده است.

افزایش غلظت کلرید سدیم، باعث افزایش معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) غلظت کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه، متناسب با سطح شوری کلرید سدیم گردید (جدول ۲). افزایش غلظت کادمیم گیاه در تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار نیترات سدیم معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) نبود.

شوری کلرید سدیم باعث کاهش معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) غلظت روی در اندام‌های هوایی گیاه گردید (جدول ۲). کاهش غلظت روی در گیاه، متناسب با غلظت کلرید سدیم در آب آبیاری بود. هم‌چنین تأثیر نیترات سدیم بر غلظت روی در اندام‌های هوایی گیاه معنی‌دار نبود.

مصرف سولفات روی سبب کاهش غلظت کادمیم و افزایش روی در اندام‌های هوایی گیاه گردید (جدول ۲). در واقع با به‌کارگیری روی، اثر شوری در افزایش جذب کادمیم و کاهش جذب روی به وسیله گیاه کاهش یافت.

افزایش شوری سبب افزایش غلظت سدیم در گیاه شده ولی



* در هر سطح روی، ستون‌های با حروف یکسان، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.

شکل۱. اثر سطوح مختلف نمک و تیمار روی بر وزن اندام هوایی گندم

تأثیری بر غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه نداشت(نتایج نشان داده نشده است). چنین تأثیری مستقل از منبع شوری بود.

با افزایش غلظت کلرید سدیم آب آبیاری، غلظت سدیم و کلر محلول خاک به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) افزایش یافت (جدول ۳). تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار نیترات سدیم باعث افزایش معنی‌دار غلظت سدیم شده ولی تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلر محلول خاک نداشت (جدول ۳). شوری آب آبیاری تأثیری بر pH خاک و غلظت منیزیم، پتاسیم، کلسیم، بی‌کربنات و سولفات محلول خاک نداشت (نتایج نشان داده نشده است).

با افزایش غلظت کلرید سدیم آب آبیاری، غلظت کادمیم کل محلول خاک، به طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) افزایش یافت (جدول ٤). در حالی که تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار نیترات سدیم، تأثیری بر غلظت کادمیم محلول خاک نداشت. غلظت گونه‌های مختلف کادمیم محلول خاک، تخمین زده شده با نرم‌افزار MINTEQA2 در جدول ٤ نشان داده شده است. به نظر می‌رسد شوری ناشی از کلرید سدیم تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر غلظت گونه یون Cd^{2+} نداشته در حالی‌که غلظت کمپلکس $CdC1^{+}$ محلول خاک را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) افزایش داده است. تیمار ۱۲۰ میلی مولار نیترات سدیم، تأثیری بر غلظت و توزیع گونه‌های کادمیم محلول خاک (Cd^{2+}, $CdC1^{+}$, $CdC1^{0}_{2}$) نداشته است. هم‌چنین، مصرف سولفات روی تأثیری بر غلظت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.5.0]

جدول۲. اثر متقابل شوری آب آبیاری و روی مصرفی بر غلظت کادمیم و روی در اندام‌های هوایی گندم

سطح شوری (mM)	غلظت ($mg\ kg^{-1}$)	
	کادمیم	روی
بدون روی		
صفر	۰/۹۰^{D}	۲۵/۷^{D}
٦۰ کلرید سدیم	۱/۱۰^{CD}	۲۳/۵^{D}
۱۲۰ کلرید سدیم	۱/۲۷^{C}	۲۰/۵^{DE}
۱۸۰ کلرید سدیم	۳/۲۰^{A}	۱۵/۲^{E}
۱۲۰ نیترات سدیم	۱/۰۱^{CD}	۲٤/۹^{D}
با روی		
صفر	۰/۰۹^{E}	۵۵/٦^{A}
٦۰ کلرید سدیم	۰/۹۸^{D}	٤۹/۵^{B}
۱۲۰ کلرید سدیم	۰/۹۸^{D}	۳۵/۹^{C}
۱۸۰ کلرید سدیم	۲/۱۰^{B}	۲۸/۵^{D}
۱۲۰ نیترات سدیم	۰/۲۰^{E}	۵۰/۱^{AB}

** در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف یکسان از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

جدول۳. اثر متقابل شوری آب آبیاری وروی مصرفی بر غلظت سدیم و کلر عصاره اشباع خاک

سطح شوری (mM)	سدیم (mM)	کلر (mM)
بدون روی		
صفر	۲/۱۰^{C}	۱۵/۱^{D}
٦۰ کلرید سدیم	۲۰/۵^{BC}	۳۰/۲^{C}
۱۲۰ کلرید سدیم	۳۲/۱^{AB}	٤۵/٦^{B}
۱۸۰ کلرید سدیم	٤۸/۸^{A}	٦۱/۵^{A}
۱۲۰ نیترات سدیم	۳۵/۵^{AB}	۱٦/۰^{D}
با روی		
صفر	۱۳/۲^{C}	۲۰/۹^{BC}
٦۰ کلرید سدیم	۲۲/۱^{BC}	۳۲/۱^{B}
۱۲۰ کلرید سدیم	۳۰/۵^{B}	۳۵/۱^{B}
۱۸۰ کلرید سدیم	۳۵/٦^{AB}	۵۹/۰^{A}
۱۲۰ نیترات سدیم	۳۰/۱^{B}	۲۵/۰^{BC}

** در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف یکسان از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

کل و توزیع گونه‌های کادمیم محلول خاک نداشته (جدول ٤)، اگرچه غلظت روی کل محلول خاک را افزایش داده است (جدول ۳). شوری تأثیری بر توزیع گونه‌های روی محلول خاک نداشت، بنابراین غلظت گونه‌های روی محلول خاک ارائه نشده است.

بحث

نتایج این آزمایش نشان داد، شوری ناشی از کلرید سدیم باعث افزایش کادمیم در گیاه شد (جدول ۲). افزایش غلظت کادمیم در گیاه می‌تواند ناشی از افزایش حلالیت کادمیم بر اثر شوری باشد که توسط سایر محققان نیز تأیید شده است (۱۸ و ۱۹). هم‌چنین نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد مصرف سولفات روی باعث کاهش اثر شوری ناشی از کلرید سدیم در افزایش غلظت کادمیم گیاه شده است.

شوری ناشی از کلرید سدیم آب آبیاری، با افزایش غلظت کل کادمیم محلول خاک، غلظت کادمیم اندام‌های هوایی گیاه را افزایش داد. در حالی‌که تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار نیترات سدیم، تأثیر معنی‌داری بر افزایش غلظت کادمیم گیاه نداشت. بنابراین احتمال می‌رود اثر کلرید سدیم بر قابلیت استفاده کادمیم و انباشته شدن آن در گیاه به دلیل تشکیل کمپلکس‌های کلر و کادمیم ($CdC1^{2-n}_{n}$) در محلول خاک باشد. بنابراین ساز و کار تبادل یون کادمیم تثبیت شده در سطح ذرات خاک به وسیله سدیم، در افزایش غلظت کادمیم محلول خاک بی‌تأثیر است (۱۸). هم‌چنین برخی محققان (۲۰) گزارش کرده‌اند، کمپلکس‌های کلر و کادمیم ($CdCl^{2-n}_{n}$) به مقدار بسیار کمی بر روی ذرات خاک و رس‌ها جذب می‌شوند. بنابراین کمپلکس‌های مذکور در محلول خاک باقی مانده و قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه را افزایش خواهند داد. از طرفی ممکن است این فرضیه بیان شود که افزایش جذب کادمیم در گیاه ناشی از قدرت یونی و یا تنش اسمزی بوده که موجب تخریب ساختمان غشای سلولی ریشه و اختلال در انجام وظایف آن شده است (۱۸). با توجه به این‌که تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار نیترات سدیم، تأثیر معنی‌داری در افزایش غلظت کادمیم گیاه نداشته، می‌توان نتیجه گرفت تنش اسمزی،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.5.0]

جدول ٤. اثر متقابل شوری آب آبیاری و روی مصرفی بر غلظت گونه‌های مختلف کادمیم عصاره اشباع خاک*

سطح شوری (mM)	$^{**}Cd_T$ (mgL^{-1})	$^{***}Cd^{2+}$ (μgL^{-1})	$CdCl^{+}$ (μgL^{-1})	$CdCl_2^{0}$ (μgL^{-1})
بدون روی				
صفر	۰/۰۱ ^{D}	۸/۱ ^{B}	۱/۹ ^{D}	۰/۱ ^{D}
٦۰ کلرید سدیم	۰/۰۳^{D}	۱۰/۵^{B}	۱۷/۲^{C}	۱/۱ ^{C}
۱۲۰ کلرید سدیم	۰/۱۳^{C}	۱٤/۲^{AB}	۹۹/۸^{B}	۱۰/۱^{BC}
۱۸۰ کلرید سدیم	۰/۵۲^{A}	۱۸/۵^{AB}	۳۰۹/٦^{A}	۱۸/۵^{AB}
۱۲۰ نیترات سدیم	۰/۰۳^{D}	۱۰/۹^{B}	۰/۵^{DE}	۰/۲^{D}
با روی				
صفر	۰/۰۱ ^{D}	۷/۹^{B}	۰/۸^{DE}	۰/۹^{CD}
٦۰ کلرید سدیم	۰/۰۲^{D}	۱۰/۵^{B}	۱۵/۵^{C}	۲۱/۵^{A}
۱۲۰ کلرید سدیم	۰/۱۸^{C}	۱۵/۸^{AB}	۸۹/۵^{B}	۲۸/۹^{A}
۱۸۰ کلرید سدیم	۰/٤٤^{AB}	۱۷/۹^{AB}	۳۰۵/۸^{A}	۱/ ۵ ^{C}
۱۲۰ نیترات سدیم	۰/۰۲ ^{D}	۱۰/۱^{B}	۲/۱^{D}	

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

** Cd_T غلظت کادمیم کل محلول خاک بوده که با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شده است.

*** غلظت گونه‌های Cd^{2+}, $CdCl^{+}$ و $CdCl^{0}_{2}$ محلول خاک که با استفاده از نرم‌افزار MINTEQA2 تخمین زده شده است.

اثـر قابل ملاحظه‌ای در افزایش غلظت کادمیم گیاه نداشته است. برخـی از پژوهشـگران نیـز افـزایش غلظـت کادمـیم در گیاه را مستقل از اثر اسمزی نمک گزارش کرده‌اند (۱۸ و ۱۹).

افـزایش وزن مـاده خشـک گـندم در اثـر مصرف سولفات روی، نشـان‌دهـنده اهمیت روی در رشد رویشی به ویژه در مراحل ابتدایی رشـد گـیاه اسـت (۲۲). پژوهشـگران بسـیاری نقـش روی را در اسـتحکام گـیاه، مقاومـت بـه بیماری‌ها و افزایش تحمل گیاه در برابر شـوری (۳، ٤ و ۲۲) گـزارش کـرده‌انـد. بـه دلـیل تشابه ویژگی‌های فیزیکـی و شـیمایی روی بـا کادمیم، و رابطه ضدیتی موجود بین این دو عنصـر (۲)، بـا مصـرف سـولفات روی، ضـمن کـاهش جـذب کادمـیم و بهـبود کیفـیت غذایـی گـندم، عملکـرد دانـه نیـز افـزایش می‌یابد.

در مجموع می‌توان گفت یون کلرید باعث افزایش پویایی و قابلیت جذب کادمیم خاک به وسیله گیاه می‌شود. در خاک‌هایی که غلظت کلر محلول خاک بالا بوده و مقدار زیادی کودهای فسفره (با ناخالصی کادمیم) طی سال‌های متمادی مصرف شده است، احتمال انباشته شدن مقادیر بالای این عنصر سمی در گیاه و ورود آن به زنجیره غذایی انسان و دام وجود دارد. مصرف کود سولفات روی ضمن افزایش تحمل به شوری گندم، نقش مهمی در کاهش اثرهای زیان‌آور کادمیم در شرایط شور خواهد داشت.

منابع مورد استفاده

۱. بغوری، ا. ۱۳۷۰. مروری بر نتایج حاصل از کاربرد کودهای فسفره بر کادمیم خاک و گیاه و بررسی میزان کادمیم در کودهای وارداتی. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه ۸۲۲، تهران، ایران.

۲. ثواقبی، غ. ر. و م. ج. ملکوتی. ۱۳۷۹. اثرات روی و کادمیم بر غلظت عناصر و ترکیب شیمیایی دانه گندم. مجله آب و خاک، ویژه نامه کشاورزی پایدار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران. ۱۲(۹): ٥٤-٦٥.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.5.0]

۳. خوش گفتارمنش، ا. ح.، م. ر. بلالی و ز. خادمی. ۱۳۸۰. تأثیر مصرف سولفات روی بر رشد و عملکرد گندم در اراضی شور بایر اصلاح شده. هفتمین کنگره علوم خاک، شهر کرد.

٤. خوش‌گفتار منش، ا. ح. و ح. سیادت. ۱۳۸۱. *تغذیه معدنی سبزیجات و محصولات باغی در شرایط شور*. وزارت کشاورزی، معاونت باغبانی، تهران. ۸۷ صفحه.

۵. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۷. رابطه بین مصرف کودهای فسفاته و افزایش تولیدات کشاورزی در کشور. نشریه فنی ۱، نشریه علمی پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

6. Allison, J.D., D.S. Brown and K.J. Novo-Gradac. 1991. MINTEQA2/PRODEFA2, A Geochemical Assesment Model for Environmental Systems: Ver. 3.0 USERS MANUAL. Environ. Res. Lab., US. Environmental Protection Agency, Athens, GE 30613.
7. Bingham, F.T., G. Sposito and J.E. Strong. 1984. The effect of chloride on the availability of cadmium. J. Environ. Qual. 13:71-74.
8. Cottenie, A., M. Verloo, L. Kickens, G. Velghe and R. Camerlynck. 1982. Chemical Analysis for Plant and Soils. Laboratory of Analytical and Agrochemistry. State University of Ghent, Belgium.
9. Fotovat, A., U.R. Naidu. 1998. Changes in composition of soil aqueous phase influence chemistry of indigenous heavy metals in alkaline sodic and acidic soils. Geoderma. 84::213-234.
10. Helal, H.M. 1983. Effects of sodium chloride on ionic relations, energy status and dry matter synthesis by various crop plant species. D.Sc. (Habil) thesis, Justus-Liebig University, Giessen, Germany.
11. Helal, H.M., M. Abdel Monem, F. Azam. 1995. Heavy metal uptake by *L. italicum* as affected by salt water irrigation. In: R. Prost (Ed.) Third International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements. Proceedings. Paris, France.
12. Helal, H.M., S.A. Haque, A.B. Ramadan and E. Schung. 1996. Salinity-heavy metal interactions as evaluated by soil extraction and plant analysis. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27(5-8): 1355-1361.
13. Lie, Y., R.L. Chaney and A.A. Schneiter. 1994. Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels. Plant Soil. 167:275-284.
14. McLaughlin, J. J., L.T. Palmer, K.G. Tiller, T.A. Beech and M.K. Smart. 1994. Increased soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field grown potato tubers. J. Environ. Qual. 23:1013-1018.
15. McLaughlin, J.J., K.G. Tiller, and M.K. Smart. 1997. Speciation of cadmium in soil solutions of salin soils and relationships with cadmium in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) Aust. J. Soil Res. 35 :183-198.
16. Norvell, W.A., J. Wu., D.G. Hopkins and R.M. Welch. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. Soil Sci. Soc. Am. J. 64 : 2162-2168.
17. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Department of Agriculture, Washington, D. C.
18. Smolders, E., R.M. Lambergts, M.J. McLaughlin and K.G. Tiller. 1998. Effect of soil solution chloride on cadmium availability to Swiss chard. J. Environ. Qual. 27:426-431.
19. Smolders, E. and J.J. Mclaughlin. 1996. Chloride increases cadmium uptake in Swiss chard in a resin-buffered nutrient solution. Soil Sci. Soc. Am. J. 60:1443-1447.
20. Temminghof, E. J. M., S.E.A.T.M. Van DerZee and F.A.M. De Haan. 1995. Speciation and calcium competition effects on cadmium sorption by a sandy soil at various pHs. J. Soil Sci. 46 :649-655.
21. Weggler-Beaton, K., M.J. McLaughlin and R.D. Graham. 2000. Salinity increases cadmium uptake by wheat and Swiss chard from soil amended with biosolids. Aust. J. Soil Res. 38 :37-45.
22. Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I. Gulekin, S. Karanlink, S. A. Bagci and I. Cakmak. 1997. Effect of different zinc appplication methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-defficient calcareous soils. J. Plant Nutr. 20(4-5): 461-471.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.5.0]