مقاله کامل علمی- پژوهشی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هفتم، شماره پنجم، ۱۳۹۹
۱۶۷-۱۸٤
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2021.18319.3392

تأثیر استفاده از آب و خاک آلوده به کادمیم بر اجزای عملکرد ذرت

حامد ریاحی فارسانی[۱]، *مهدی قبادی‌نیا[۲]، محمدرضا نوری امامزاده‌ئی[۳]، عبدالرزاق دانش‌شهرکی[۴] و حمیدرضا متقیان[۵]

[۱]دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، [۲]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، [۳]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، [۴]استادیار گروه مهندسی زراعت، دانشگاه شهرکرد، [۵]دانشیار گروه مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰٦/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: حفاظت از منابع آب‌وخاک می‌تواند نقش مهمی در سلامت محصولات کشاورزی داشته باشد. استفاده از آب‌های نامتعارف و وجود فلزات سنگین در این آب‌ها و هم‌چنین آلودگی منابع خاک به‌واسطه ورود فلزات سنگین می‌تواند مشکلات زیادی برای کمیت و کیفیت محصولات زراعی به همراه داشته باشد. ماندگاری بالای فلزات سنگین در محیط باعث انتقال به گیاه و زنجیره مواد غذایی شده و صدمات جبران‌ناپذیری را به انسان، رشد گیاه، خاک و محیط‌زیست وارد کنند. این پژوهش به‌منظور بررسی شیب تغییرات آلودگی فلز سنگین کادمیم در آب آبیاری و خاک بر شیب رشد و تجمع آن در اندام‌های ذرت دانه‌ای رقم ۲۰۱ در مزرعه دانشگاه شهرکرد انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای این منظور آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به‌صورت کشت گلدانی در یک خاک با بافت لوم سیلتی اجرا شد. عامل اول غلظت کادمیم در آب آبیاری از منبع نمک نیترات کادمیم در پنج سطح (شاهد (صفر)، ۰/۰۱، ۰/۰۵، یک و دو میلی‌گرم بر لیتر) و عامل دوم مقدار کادمیم کل خاک از منبع نمک نیترات کادمیم با سه سطح (شاهد (صفر)، ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در نظر گرفته شد. پس از اعمال تیمارهای کادمیم در خاک، ذرت رقم ۲۰۱ کشت شد و در طول دوره رشد با آب دارای سطوح مختلف کادمیمی آبیاری گردید. در پایان دوره رشد، غلظت کادمیم در اجزای مختلف گیاه (ساقه، برگ و دانه)، خاک و هم‌چنین عملکرد نسبی ذرت تعیین شد. هم‌چنین در زمان آزمایش مقدار تبخیروتعرق و نیاز آبی ثبت گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که آلودگی آب‌وخاک به کادمیم، اثری معنی‌دار (در سطح یک درصد) بر اجزای عملکرد شامل عملکرد دانه در واحد بوته، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه گیاه ذرت داشت، اما اثر متقابل آلودگی آب‌وخاک به کادمیم بر اجزای عملکرد معنی‌دار نشد. سطوح بالای کادمیم در

* مسئول مکاتبه: mahdi.ghobadi@gmail.com

آب‌وخاک، بیش‌ترین و تیمار شاهد کم‌ترین کاهش عملکرد را داشتند. نتایج نشان داد که ساقه بیش‌ترین (۲/۲۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و دانه (غیرقابل تشخیص) کم‌ترین غلظت کادمیم را داشتند. در این پژوهش بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش عملکرد اجزای گیاه ذرت ناشی از کاربرد سطوح مختلف کادمیم در خاک، در عملکرد دانه و تعداد ردیف در بلال به‌ترتیب به مقدار ۱۱/٤٦، ۱۵/۵۱ و ۲/٤۷، ۳/۸۱ درصد به‌دست آمد. آلودگی آب و خاک به کادمیم اثری معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر کارایی مصرف آب در گیاه ذرت داشت. کارایی مصرف آب ناشی از کاربرد سطوح بالای آلودگی آب‌وخاک، به‌ترتیب به‌میزان ۱۵/٤۵ و ۱۷/۲۱ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که هرچند که میزان کادمیوم در دسترس در انتهای آزمایش در تیمارهای آلودگی‌های مختلف خاک تفاوت معنی‌داری نداشته است اما افزایش غلظت کادمیوم محلول در آب آبیاری باعث کاهش شیب رشد محصول شده است و در نتیجه کاهش عملکرد محصول نهایی شده است. به‌علاوه غلظت کادمیوم در ساقه و برگ نیز افزایش داشته است. بنابراین در خاک‌های با آلودگی بالاتر از سطح مجاز نیز باید آلودگی منابع دیگر مانند آب موردتوجه و بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، جذب، غلظت کادمیوم دانه، کاهش عملکرد

مقدمه

آلودگی خاک با فلزات سنگین به‌دلیل اثرات نامطلوب آن بر سلامت اکوسیستم و امنیت غذایی به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است (۹). فلزات سنگین آلاینده‌های اصلی یافت‌شده در پساب‌های صنعتی هستند. حضور هر یک از فلزات سنگین در مقدار زیاد مانع بسیاری از مصارف مفید آب خواهد شد. هوا و خاک یکی از منابع مهم ورود فلزات سنگین به گیاهان هستند که می‌توانند به‌صورت واسطه باعث ورود این فلزات به ریشه و یا برگ‌های گیاهان شوند (۳۰). فلزات سنگین از نظر بیولوژیکی غیرقابل تجزیه هستند و می‌توانند به‌مدت طولانی در محیط باقی‌مانده و از طریق جذب توسط گیاهان و ورود به زنجیره غذایی تهدیدی جدی برای کاهش رشد گیاهان، کیفیت و امنیت غذایی و خاک محسوب شوند و با تجمع این فلزات در مواد غذایی و محیط‌زیست باعث صدمات مهم و جبران‌ناپذیری گردند (۲۹). صنعت فولاد با آلوده کردن منابع آب‌وخاک با فلزات سنگین از جمله سرب و روی، عامل مهم در آلوده کردن محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود که تجمع فلزات سنگین جذب‌شده در اندام گیاه در غلظت‌هایی بیش از استاندارد، ضمن فراهم آوردن شرایط کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی، آلوده شدن زنجیره غذایی و به خطر افتادن سلامت جوامع انسانی را به همراه دارد. هم‌چنین عناصر سنگین و سمی نظیر کادمیم و سرب با آبیاری با پساب وارد خاک شده و جذب این عناصر را توسط گیاه می‌تواند سلامت انسان و محیط‌زیست را به خطر اندازد (۳۷). یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مورد پیگیری در کشاورزی، عملکرد محصول و سلامت مصرف‌کنندگان محصولات کشاورزی می‌باشد. وجود فلزات سنگین از جمله کادمیم در چرخه تولید محصولات کشاورزی باعث کاهش عملکرد و سمی شدن محصول خواهد شد چراکه به‌راحتی توسط سیستم ریشه‌ای گیاه جذب‌شده و سمیت آن برای گیاه دو تا ۲۰ برابر سایر فلزهای

سنگین می‌باشد (۱۸). فلزات سنگین از جمله کادمیم و سرب با ایجاد تنش موجب کاهش میزان محتوی کلروفیل، فعالیت فتوسیستم I، کاهش فتوسنتز، کاهش حجم ریشه و کاهش وزن بافت‌های گیاه و به‌تبع آن کاهش رشد گیاه می‌شوند، هم‌چنین برای رشد گیاه ضروری نبوده و بر رشد و نمو گیاه اثر منفی دارند (۷ و ۳۷). کادمیم به‌دلیل سمیت و تحرک زیاد، یک آلاینده خطرناک برای گیاه به شمار می‌رود فلز کادمیم به غشاءهای تیلاکلوئیدی کلروپلاست آسیب می‌زند و ظرفیت فتوسنتزی را به شدت کاهش داده و رشد گیاه را متوقف می‌سازد (۱۱). سنا و همکاران (۲۰۱۸)، با بررسی تأثیر آبیاری با آب فاضلاب و تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاهان نشان‌دادند مقدار کادمیم و سرب در فاضلاب بیش‌ازحد استاندارد بوده و دارای شاخص ریسک سلامتی بالاتر از یک می‌باشد (۲۶). ماین و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی در شمال شرق چین بر روی حجم فلزات سنگین مانند کادمیم، جیوه، و ترکیبات ایزتوپ‌های فلز سرب و تأثیر آن بر جذب این فلزات در گیاه ذرت نشان‌دادند مقادیر فلزات از ریشه به ساقه و ساقه به دانه کاهش یافت (۱۷). حضور فلزات سنگین در محیط باعث بروز مشکلات و عوارض زیست‌محیطی برای ساکنان آن محل و زیست‌بوم می‌گردد.

استان چهارمحال و بختیاری سطح قابل‌توجهی را به کشت ذرت اختصاص می‌دهد که بخشی از این کشت که در نزدیکی شهرک‌های صنعتی قرار دارد با استفاده از فاضلاب‌های خروجی این مناطق آبیاری می‌شود، بر اساس گزارش‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست استان چهارمحال و بختیاری غلظت بالای کادمیم در خروجی فاضلاب منطقه صنعتی مشاهده شده است. با توجه به اهمیت خطرات جذب فلزات سنگین در گیاهان بر سلامت انسان این پژوهش به بررسی تأثیر مقادیر مختلف کادمیم در آب آبیاری و خاک بر عملکرد ذرت و هم‌چنین غلظت این فلز در اندام‌های گیاه ذرت می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر غلظت کادمیم آب آبیاری و خاک بر عملکرد گیاه ذرت به‌صورت کشت گلدانی در مزرعه دانشگاه شهرکرد با ارتفاع ۲۰۶۱ متر از سطح دریا با میانگین بارندگی و دمای سالیانه به‌ترتیب حدود ۳۳۵ میلی‌متر و ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد اجرا شد (۳). خاک مورداستفاده در این پژوهش از لایه سطحی برداشته شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و ویژگی‌های شیمیایی آب مورد آزمایش تعیین شد که در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. برای این منظور در یک نمونه خاک بعد از کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری، پارامترهایی مانند هدایت الکتریکی (۲۳)، pH خاک (۳۱)، موادآلی خاک توسط اکسیداسیون تر (۱۹)، پتاسیم قابل‌جذب (۱۰)، فسفر قابل‌جذب (۲۱)، غلظت کادمیم خاک پس از عصاره‌گیری نمونه‌ها با DTPA-TEA (۱٤) با دستگاه جذب اتمی مدل GBC932 و بافت خاک به روش هیدرومتری (۸) اندازه‌گیری شدند. مقادیر رطوبت ظرفیت زراعی و رطوبت نقطه پژمردگی دائم توسط دستگاه صفحه‌های فشاری[1] اندازه‌گیری شدند. این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد.

در این آزمایش، عامل اول پنج سطح غلظت کادمیم از منبع نمک نیترات کادمیم آب آبیاری (شاهد (صفر)، ۰/۰۱، ۰/۰۵، یک و دو میلی‌گرم بر لیتر) و عامل دوم کادمیم کل خاک از منبع نمک نیترات کادمیم با سه سطح (شاهد (صفر)، ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) می‌باشد. در این پژوهش غلظت

1- *Pressure Plates*

عناصر سنگین کادمیم با توجه به پیشنهادهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان غذا و کشاورزی (FAO)، آژانس حفاظت از محیطزیست (EPA) و سازمان حفاظت محیطزیست ایران (IRNDOE) و هم‌چنین گزارش‌های آنالیز فاضلاب خانگی و صنعتی شرکت آب و فاضلاب، شرکت شهرک‌های صنعتی و محیطزیست استان چهارمحال و بختیاری انتخاب شدند. نمونه خاک برای انجام آزمایش‌های لازم، هوا خشک و کوبیده گردید. در این پژوهش برای کاشت از گلدان‌هایی با ارتفاع ٤٠ و قطر ۲۵ سانتی‌متر استفاده گردید.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

Table 1. Some physical and chemical characteristics of studied soil.

رطوبت ظرفیت مزرعه FC	رطوبت نقطه پژمردگی PWP	جرم مخصوص ظاهری Bulk Density	بافت خاک Texture	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	ماده آلی Organic matter	فسفر P	کادمیم Cd	پتاسیم K
(درصد وزنی)	(درصد وزنی)	($g.cm^{-3}$)	---	($dS.m^{-1}$)	---	(%)	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)
27.9	8.4	1.33	Silty loam	0.547	7.73	0.624	44.6	0.002	323

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد آزمایش.

Table 2. Some chemical characteristics of studied water.

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	سدیم Na	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	کادمیم Cd	بی‌کربنات HCO^{-3}	نیترات NO_3^-	سولفات SO_4^{-2}
---	($dS.m^{-1}$)	($meq.L^{-1}$)	($meq.L^{-1}$)	($meq.L^{-1}$)	($meq.L^{-1}$)	($meq.L^{-1}$)	($meq.L^{-1}$)	($mg.L^{-1}$)	($meq.L^{-1}$)
7.71	0.514	0.83	0.04	3.91	1.02	0	4.01	24.93	0.08

برای آماده کردن محل کشت، مقادیر ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم از منبع نمک نیترات کادمیم ($Cd(NO_3)_2*4H_2O$) به‌صورت محلول به خاک اضافه شد. برای هر گلدان با توجه به گنجایش آن مقدار ۲۵ کیلوگرم خاک در نظر گرفته و برای اینکه گیاهان از نظر عناصر غذایی محدودیت نداشته باشند بر اساس آزمون خاک ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره، ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن از منبع سکوسترین ۱۳۸، مقدار ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس از منبع سولفات مس و ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی از منبع سولفات روی اضافه شد. سپس تا حد ظرفیت زراعی آبیاری و برای جلوگیری از تبخیر از سطح خاک روی گلدان‌ها با پلاستیک پوشانده شد و در این مدت رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی ثابت نگه داشته شد. پس از یک ماه انکوباسیون، مرحله کاشت شروع شد. در هر گلدان سه تا چهار بذر ذرت زودرس رقم ۲۰۱ کشت و پس از حدود یک هفته به سه عدد تنک شدند. رقم زودرس ۲۰۱ دارای طول دوره تا رسیدن فیزیولوژیکی ۱۰۰-۹۰ روز می‌باشد. زمان آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک و دستگاه رطوبت‌سنج SM300 ساخت شرکت دلتا-تی و رساندن رطوبت خاک تا عمق ریشه به حد

ظرفیت زراعی تیمار شاهد محاسبه و برای هر عملیات آبیاری اعمال گردید (۵). عمق آب آبیاری از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$dn = (FC - PWP) * D_{rz} \quad (1)$$

نیاز آبیاری (میلی‌متر)، FC کسر رطوبت حجمی خاک در نقطه ظرفیت زراعی، PWP، در این رابطه dn کسر رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم و Drz عمق توسعه ریشه (میلی‌متر) است. برای اضافه کردن کادمیم به آب در تیمارهای آب حاوی کادمیم بر اساس مقدار کادمیم تیمارهای آزمایش از نمک نیترات کادمیم استفاده شد. اعمال تیمارهای آب آلوده بعد از چهار برگی شدن بوته‌ها، شروع شد.

در طول آزمایش نیاز آبی و میزان تبخیروتعرق و در پایان دوره غلظت کادمیم در ساقه، برگ و دانه، اجزای عملکرد رشد گیاه ذرت شامل عملکرد دانه در واحد بوته، تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف در بلال، وزن خشک برگ، طول و عرض برگ، وزن خشک ساقه، طول و قطر ساقه و کارایی مصرف آب اندازه‌گیری گردید. کاشت در تیرماه و برداشت در مهرماه انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن ماده تر و خشک ابتدا وزن اندام هوایی با استفاده از ترازو اندازه‌گیری و سپس نمونه‌های گیاهی به‌مدت ٤٨ ساعت در آون (٦٥ درجه سلسیوس) قرار گرفته تا وزن خشک کل اندام هوایی آن‌ها به‌دست آید (٣٦). هم‌چنین با برداشت محصول از هر گلدان در تیمارهای مختلف، اجزای عملکرد ذرت مشخص گردید. پس از تعیین اجزای عملکرد و مقدار آب مصرفی، کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) از رابطه ۲ به‌دست آمد.

$$WUE = \frac{D}{W} \quad (2)$$

که در آن، D مقدار ماده خشک تولیدی هر یک از اجزای گیاه (کیلوگرم در هکتار)، W مقدار آب مصرفی توسط گیاه (مترمکعب در هکتار) و WUE کارایی مصرف آب در هر یک از اجزای گیاه (کیلوگرم بر مترمکعب) است. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در بخش‌های مختلف گیاه ذرت از روش خاکستر خشک استفاده گردید (١٤). غلظت کادمیم قابل‌استفاده خاک پس از عصاره‌گیری نمونه‌ها با DTPA-TEA (١٤) با دستگاه جذب اتمی مدل GBC932 تعیین شد. در این پژوهش که در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید، میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شدند. هم‌چنین برای تجزیه‌وتحلیل از نرم‌افزارهای SPSS و اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه آماری ارائه‌شده در جدول ۳، افزایش سطوح آلودگی کادمیم در آب باعث کاهش معنی‌دار اجزای عملکرد گیاه ذرت شد. هم‌چنین افزایش کادمیم خاک در تیمارهای مختلف باعث اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بر اجزای عملکرد گیاه ذرت شده و سبب کاهش اجزای عملکرد گردیده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر مقدار کادمیم در آب و خاک بر اجزای عملکرد و غلظت کادمیم در خاک و گیاه ذرت.

Table 3. Results of analysis variance of the Cd in water and soil effect on yield components of the corn and Cd concentration in soil and plant of the corn plant.

ضریب تغییرات CV (%)	میانگین مربعات Mean Square				مشخصات Properties
	خطا Error	کادمیم در آب * خاک Cd in Water*Soil	کادمیم در خاک Cd in Soil	کادمیم در آب Cd in Water	
-----	30	8	4	2	درجه آزادی DF
5.85	11.65	8.04^{ns}	396.05**	188.08**	عملکرد دانه در واحد بوته Grain yield
3.3	0.233	0.065^{ns}	1.239**	3.019**	تعداد ردیف در بلال Number of rows in Corn
5.81	1.889	0.661^{ns}	22.02**	25.14**	تعداد دانه در ردیف Number grain at the row
7.089	13.06	3.232^{ns}	113.41**	71.82**	وزن برگ خشک Dry leaf weight
8.26	74.44	45.44^{ns}	733.56**	609.97**	وزن ساقه خشک Dry stem weight
5.87	0.002	0.001^{ns}	0.055**	0.026**	کارایی مصرف آب Water use efficiency
9.96	0.014	0.007^{ns}	24.647**	0.053*	غلظت در دسترس Available soil concentration
10.26	0.001	0.027**	1.984**	0.063**	غلظت کادمیم برگ Leaves Cd concentration
4.86	0.002	0.281**	11.749**	0.597**	غلظت کادمیم ساقه Stem Cd concentration

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns فاقد اختلاف معنی‌دار.

* Significant at P = 0.05, ** Significant at P = 0.01, ns not significant.

نتایج نشان می‌دهد که افزایش غلظت کادمیوم محلول در آب آبیاری در هر آلودگی خاکی اثر کاهشی روی عملکرد داشته است و با توجه به این نتایج شیب این کاهش‌ها تقریباً موازی بوده است. بیش‌ترین کاهش عملکرد در گیاه مربوط به تیمار با بالاترین سطح کادمیم است. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها و جدول تجزیه واریانس بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر منفی ناشی از کاربرد سطوح مختلف کادمیم در خاک به‌ترتیب بر عملکرد دانه در واحد بوته و تعداد ردیف در بلال، به‌ترتیب ۱۱/٤٦، ۱۵/۵۱ و ۲/٤۷، ۳/۸۱ درصد به‌دست آمد. نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی‌دار نبودن اثر متقابل تیمارهای آب‌وخاک بر اجزا عملکرد است. این بدان معناست که اثرات کاهشی آلودگی آب‌وخاک به‌صورت موازی و مستقل عمل نموده است و هرکدام به‌تنهایی توانایی کاهش عملکرد را دارد و تا زمانی که میزان محصول به صفر برسد این کاهش ادامه خواهد یافت. مطابق نتایج، بیش‌ترین عملکرد در اجزای مختلف گیاه ذرت

مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین عملکرد مربوط به تیمارهای دارای بیش‌ترین سطح کادمیم است. یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد گیاه، وزن خشک اندام هوایی می‌باشد که در این پژوهش اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ناشی از کاربرد سطوح مختلف کادمیم در خاک و آب بر وزن خشک اندام هوایی به‌دست آمد، اما اثر متقابل کادمیم خاک و آب بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار نبود. اثر سطوح مختلف کادمیم خاک بر کاهش عملکرد بخش هوایی در تیمارهای (۱۰ و۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌ترتیب ۹/۳۹ و ۲٦/۵۵ درصد و هم‌چنین کاهش عملکرد بخش هوایی ناشی از کاربرد سطوح مختلف کادمیم در آب (۰/۰۱، ۰/۰۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر) به‌ترتیب ۳/۷۹، ٦/۷۵، ۱۱/۹۲ و ۲۲/۳۷ درصد به‌دست آمد. نتایج این پژوهش بیانگر کاهش رشد گیاه ذرت با افزایش آلودگی کادمیم در آب‌وخاک است. پژوهش‌گران مختلفی به اثر کادمیم بر کاهش عملکرد گیاهان اشاره کرده‌اند. چیترا و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی تأثیر مقادیر مختلف رمزمیم بر رشد گیاهان تنباکو، ذرت و گندم را بررسی کردند. نتایج نشان داد افزایش مقدار کادمیم در خاک باعث کاهش عملکرد اجزای گیاهان می‌شود (٤). پوشن‌ریدر و همکاران (۱۹۸۹)، ویتوریا و همکاران (۲۰۰۱) و ژانگ و همکاران (۲۰۰۲) به‌ترتیب با مطالعه تأثیر کادمیم بر لوبیا، تربچه و گندم دریافتند کادمیم موجب استرس در گیاه، کاهش تولید پروتین و مختل کردن فرآیند فتوسنتز می‌شود که نتیجه آن کاهش عملکرد گیاه می‌شود (۲۲، ۳۲ و ۳٦). آلکانترا (۱۹۹٤) در پژوهشی نشان داد فلز سنگین کادمیم در محیط رشد گیاه ذرت، موجب کاهش فتوسنتز و هم‌چنین اثر منفی بر رشد گیاه ذرت دارد (۱). جی یان پنگ و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی نشان دادند فلز کادمیم به غشاءهای تیلاکلوئیدی کلروپلاست آسیب می‌زند و ظرفیت فتوسنتزی را به‌شدت کاهش داده و رشد گیاه را متوقف می‌سازد (۱۱). جدول ٤، مقایسه میانگین اثرات اصلی را نشان می‌دهند. افزایش کادمیم خاک تا ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر اجزای عملکرد مانند عملکرد دانه بر واحد بوته، تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف در بلال، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه تأثیرگذار بوده و از طرف دیگر برخی شاخص‌ها مانند تعداد ردیف در بلال، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه با افزایش کادمیم از ۱۰ تا ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تأثیر نپذیرفته است. کاربرد سطوح مختلف کادمیم در خاک بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. حد آستانه کادمیم برای آب آبیاری ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (۳۵) با توجه به جدول ٤ مشخص می‌شود که افزایش کادمیم آب از ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر بر شاخص‌های وزن خشک برگ اثرگذار نبوده است. هم‌چنین اختلاف معنی‌داری ناشی از افزایش کادمیم آب از یک تا دو میلی‌گرم بر لیتر بر عملکرد دانه و از ۰/۰۵ تا دو میلی‌گرم بر لیتر بر تعداد دانه در ردیف به‌دست نیامد. با توجه به نتایج، کاهش وزن خشک بخش هوایی ناشی از کاربرد کادمیم در آب‌وخاک در این پژوهش باعث کاهش کارایی مصرف آب گردید. نتایج شکل ۱ کاهش عملکرد در دانه، برگ و ساقه و در نهایت کاهش کارایی مصرف آب را به‌خوبی نشان می‌دهد. در تأیید نتایج این پژوهش، خان (۲۰۰٦) گزارش کرد که کاهش ارتفاع گیاه، کاهش وزن خشک برگ و کاهش وزن خشک بخش هوایی گیاه در اثر سمیت کادمیم به‌طور مستقیم در اثر مهار فتوسنتز می‌باشد (۱۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان کاهش عملکرد دانه گیاه را به تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر میزان فتوسنتز گیاه ذرت ارتباط داد.

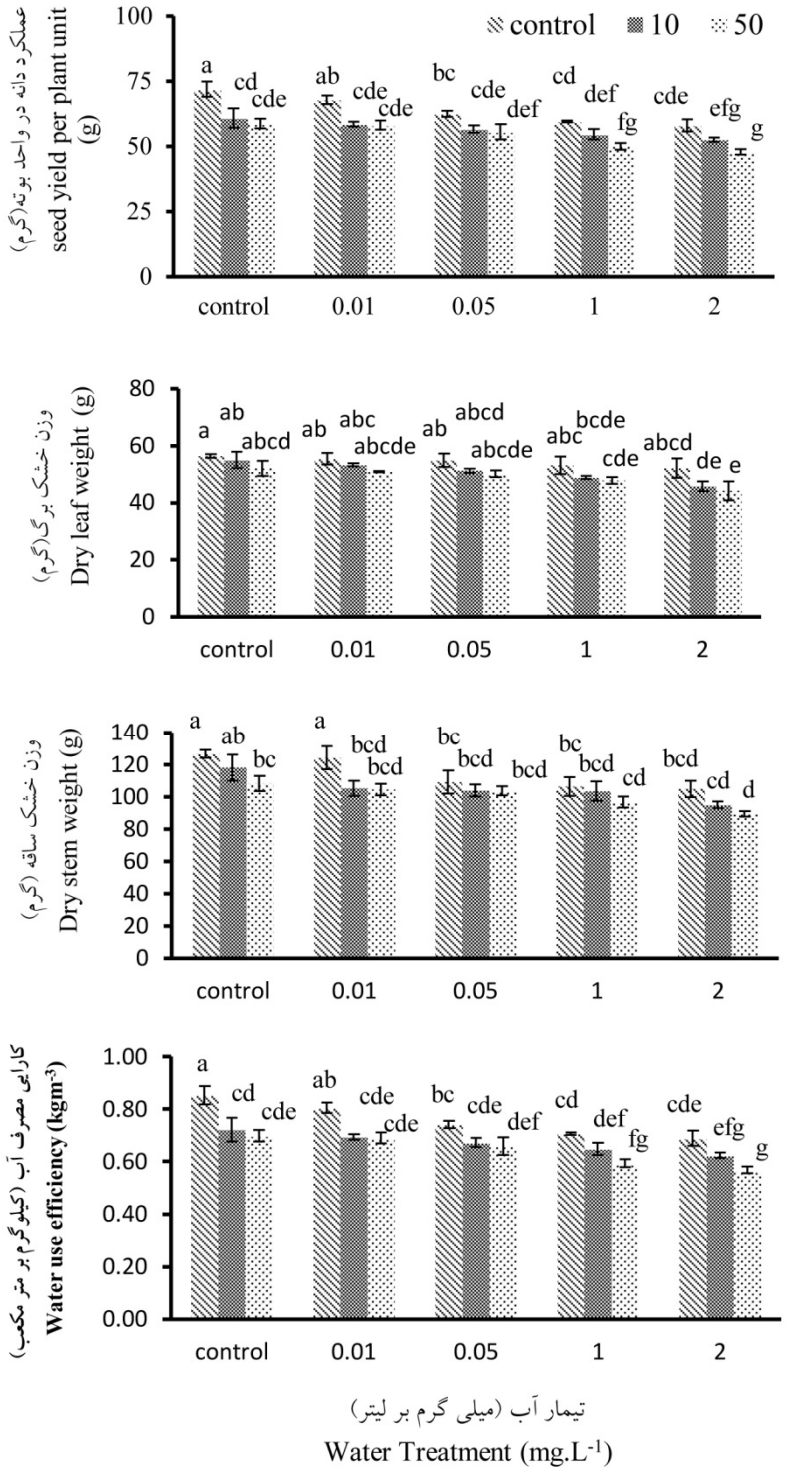
جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی اثر کادمیم در آب و خاک بر اجزای عملکرد و غلظت کادمیم در خاک و گیاه ذرت.

Table 4. Comparison means of main effects of Cd in water and soil on yield components of corn and Cd concentration in soil and plant of the corn plant.

تیمارهای آزمایش Treatments								
غلظت کادمیم در آب Water Cd concentration ($mg.L^{-1}$)					غلظت کادمیم در خاک Soil Cd concentration ($mg.kg^{-1}$)			ویژگی‌ها Properties
2	1	0.05	0.01	شاهد Control	50	10	شاهد Control	
52.69^{c}	54.60^{c}	58.09^{b}	61.36^{ab}	63.71^{a}	53.93^{c}	56.51^{b}	63.83^{a}	عملکرد دانه در واحد بوته (g) grain yield
13.83^{c}	14.33^{b}	14.77^{b}	14.77^{b}	15.38^{a}	14.36^{b}	14.56^{b}	14.93^{a}	تعداد ردیف در بلال Number of rows in Corn
22.55^{b}	23.33^{b}	23.77^{b}	25.66^{a}	26.55^{a}	23.40^{b}	24^{b}	25.73^{a}	تعداد دانه در ردیف Number grain at the row
47.25^{c}	49.84^{bc}	52.02^{ab}	53.10^{ab}	54.40^{a}	48.92^{b}	50.72^{b}	54.32^{a}	وزن برگ خشک (g) Dry leaf weight
96.37^{d}	102.1^{cd}	105.5^{bc}	111.3^{ab}	117.7^{a}	100.51^{b}	50.72^{b}	114.25^{a}	وزن ساقه خشک (g) Dry stem weight
0.625^{c}	0.650^{c}	0.691^{b}	0.727^{ab}	0.755^{a}	0.640^{c}	0.672^{b}	0.757^{a}	کارآیی مصرف آب ($kg.m^{-3}$) Water use efficiency
1.253^{a}	1.205^{ab}	1.141^{abc}	1.101^{bc}	1.064^{c}	2.58^{a}	0.746^{b}	0.124^{c}	غلظت در دسترس ($mg.kg^{-1}$) Available soil concentration
0.358^{a}	0.283^{b}	0.233^{c}	0.211^{c}	0.133^{d}	0.662^{a}	0.07^{b}	0.000^{c}	غلظت کادمیم برگ ($mg.kg^{-1}$) Leaves Cd concentration
1.105^{a}	1.072^{a}	1.016^{b}	0.727^{c}	0.511^{d}	1.77^{a}	0.89^{b}	0.000^{c}	غلظت کادمیم ساقه ($mg.kg^{-1}$) Stem Cd concentration

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ردیف بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters do not have a significant difference at P = 0.05 based on Duncan Test.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل اثر کادمیم آب و خاک بر اجزای عملکرد ذرت و کارآیی مصرف آب.

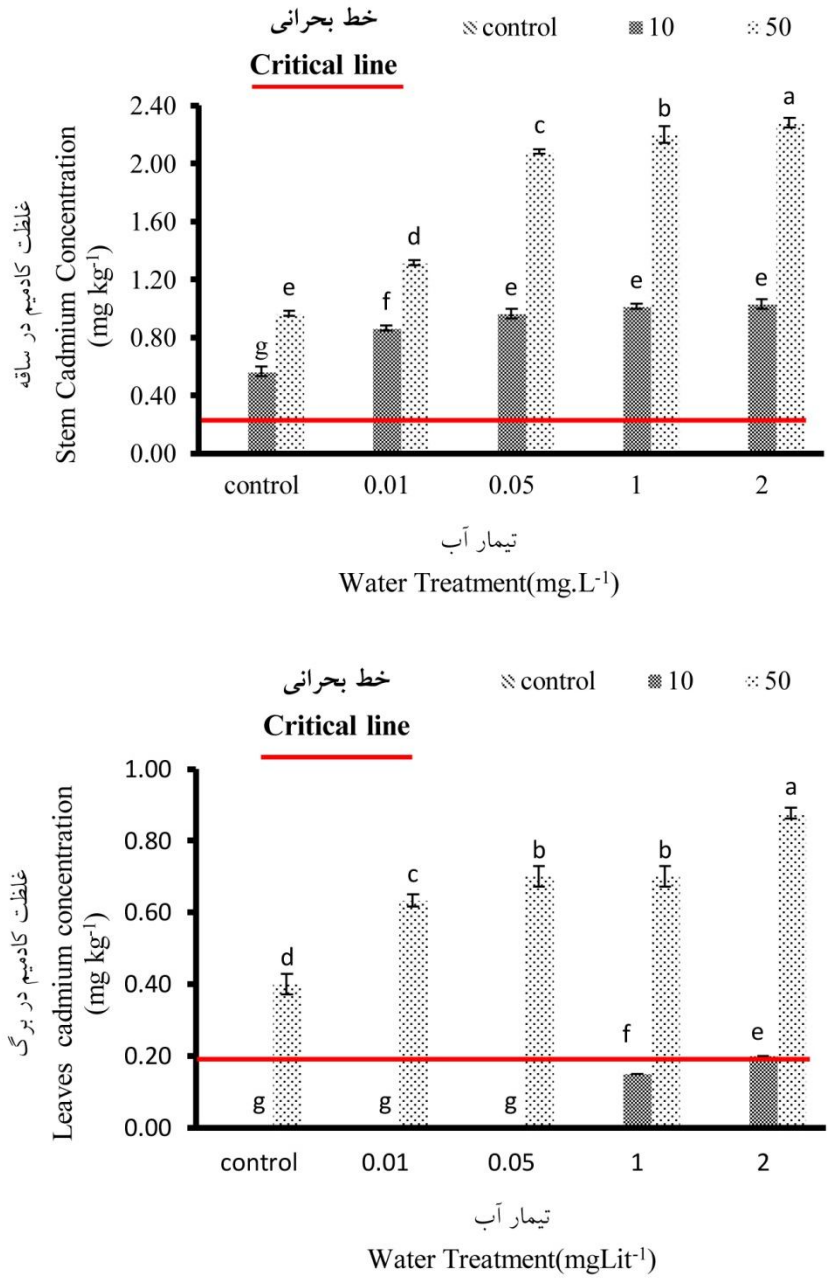
Figure 1. Comparison means of the interaction effect of Cd in water and soil on yield components of corn and water use efficiency.

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters do not have a significant difference at P = 0.05 based on Duncan Test.

در تأیید نتایج این پژوهش شارما و دوبای (۲۰۰۵) نشان دادند، افزایش مقدار کادمیم در آب‌وخاک موجب کاهش فتوسنتز، اختلال در فعالیت هورمون‌هایی مانند اکسین در تیمار فلزات سنگین، اختلال در تعادل آب و مواد معدنی، تغییر وضعیت هورمونی و اثر بر نفوذپذیری و ساختار غشاء سلولی گیاه شده و در نتیجه کاهش رشد گیاه ذرت را باعث می‌شود (۲۷).

غلظت کادمیم در اندام هوایی: بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی و خواربار و کشاورزی (۲۰۰۷) و هم‌چنین آژانس حفاظت محیط‌زیست (۲۰۱۰)، بیشینه مجاز کادمیم در گیاه برای مصرف انسان و دام به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۵ و میلی‌گرم بر کیلوگرم و در آب برای کشاورزی ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر است (۳۳، ۳۵، ٦ و ۳٤). با توجه به نتایج جدول‌های ۳ و ٤ و شکل ۲ ملاحظه می‌گردد با افزایش غلظت کادمیم در آب‌وخاک مقدار آلودگی در اجزای گیاه زیادتر شده است. با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، کاربرد سطوح مختلف آلودگی آب‌وخاک هر کدام به‌طور مستقل و هم‌چنین اثر متقابل آلودگی آب و خاک بر مقدار غلظت کادمیم در ساقه و برگ اثری معنی‌دار در سطح یک درصد داشت. اما اثر متقابل آلودگی آب‌وخاک بر میزان غلظت کادمیم در دانه معنی‌داری نبود. مطابق نتایج، بیش‌ترین میزان کادمیم در ساقه و برگ مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۲ میلی‌گرم بر لیتر و کم‌ترین میزان مربوط به تیمار شاهد بود (غلظت کادمیم در برگ در تیمارهای شاهد، ۰/۰۱ و ۰/۰۵ غیرقابل تشخیص توسط دستگاه بود). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بیش‌ترین میزان کادمیم در ساقه و برگ در بالاترین تیمار خاک کادمیم به‌ترتیب ۱/۷۷ و ۰/٦٦۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در بالاترین تیمار آب کادمیم به‌ترتیب ۱/۱۰۵ و ۰/۳۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. بررسی اثر متقابل آلودگی کادمیم خاک و آب بر غلظت کادمیم در ساقه و برگ نشان داد که بیش‌ترین تجمع کادمیم مربوط به بالاترین تیمارهای کادمیم در آب‌وخاک به‌ترتیب ۲/۲۸۳ و ۰/۸۷٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش دانه گیاه ذرت در هیچ‌کدام از تیمارها، کادمیم را جذب نکرده بود و مقدار آن غیرقابل تشخیص توسط دستگاه بود. نتایج نشان داد که سطوح مختلف کادمیم خاک بر مقدار کادمیم در اندام‌های هوایی مؤثر بوده است، چراکه با افزایش مقدار کادمیم در خاک مقدار غلظت کادمیم در ساقه و برگ زیاد شده است. افزایش ناشی از کاربرد سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک موجب اختلاف ۹۸/۸۷ درصد در غلظت کادمیم در ساقه و ۸/٤۵ برابر در غلظت کادمیم در برگ گردیده است.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل کادمیم در آب‌وخاک بر غلظت کادمیم در ساقه و برگ.

Figure 2. Comparison means of the interaction effect of Cd in water and soil on Cd concentration in stem and leaves.

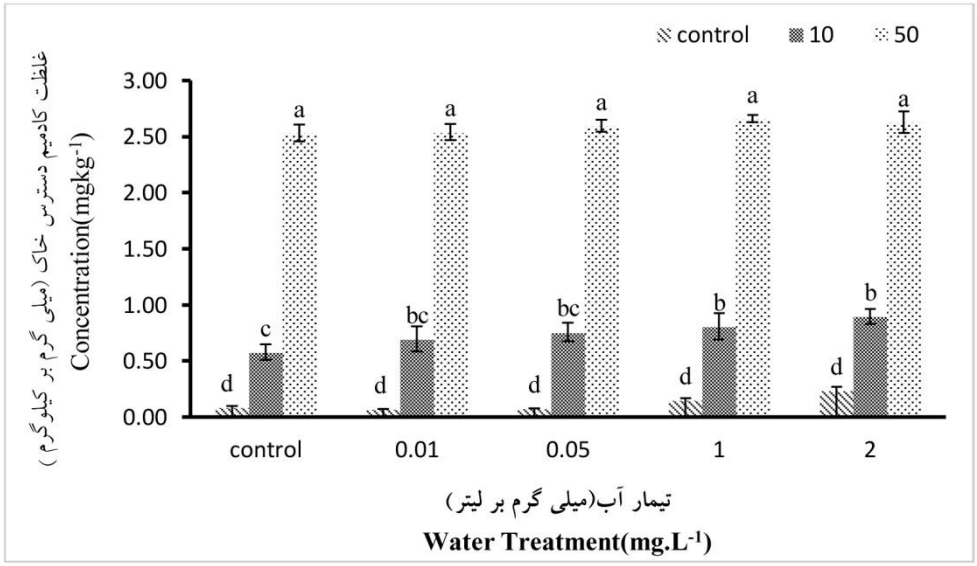
میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters do not have a significant difference at P = 0.05 based on Duncan Test.

با توجه به نتایج، بیش‌ترین میزان تجمع کادمیم در بخش هوایی گیاه، به‌ترتیب در ساقه، برگ و دانه مشاهده گردید. نتایج نشان داد غلظت کادمیم در ساقه برای هر دو سطح کادمیم خاک (۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیش‌تر از حد استاندارد (۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، اما برای برگ فقط در خاک با کادمیم ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، میزان تجمع بیش‌تر از حد استاندارد (۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد. هم‌چنین مقدار غلظت کادمیم در دانه صفر (غیرقابل تشخیص توسط دستگاه) به‌دست آمد. در تأیید نتایج این پژوهش، سمانی و همکاران (۱۹۸۷)، با مطالعه تأثیر سطوح مختلف کادمیم در خاک روی ذرت دریافتند افزایش مقدار کادمیم در خاک باعث کاهش وزن خشک بخش هوایی ذرت گردید. هم‌چنین مقدار تجمع کادمیم از ریشه به ساقه کاهش یافت (۲۵). سالاکینکوپ و هانشال (۲۰۱٤)، با مطالعه ارزیابی اثر آبیاری با پساب خانگی بر میزان مواد مغذی و فلزات سنگین خاک و گندم در ایالات کارناتاکای هند دریافتند که آبیاری بلندمدت با پساب منجر به آلودگی خاک و سیستم گیاهی گندم به فلزات سنگین شده است. تجمع این عناصر در گیاه گندم به‌ترتیب نزولی ریشه، ساقه و دانه می‌باشد (۲٤). نتایج نشان داد به‌جز دانه که مقدار تجمع کادمیم در آن در تمام تیمارها غیرقابل تشخیص برای دستگاه، به‌دست آمد، مقدار کادمیم تجمع یافته در بخش‌های مختلف گیاه در تمام سطوح آلودگی بیش‌تر از تیمار شاهد بود. با توجه به نتایج، از تیمار شاهد تا سطح کادمیم ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، اختلاف معنی‌داری در میزان غلظت کادمیم در ساقه و برگ ناشی از افزایش کادمیم خاک مشاهده شد. بنابراین می‌توان گفت در سطوح بالای کادمیم که منجر به تجمع کادمیم بالاتر از حد استاندارد (۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۳۳ و ۳۵)، در ساقه و برگ می‌شود، نمی‌توان از آن‌ها برای مصارف دام استفاده کرد چراکه مقدار استاندارد کادمیم برای مصرف دام ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (٦ و ۳٤) می‌باشد و در نتیجه صرفاً استفاده از دانه بلامانع می‌باشد. در تأیید نتایج این پژوهش، آنتونیادیس و آلووی (۲۰۰۰) در پژوهشی نشان‌دادند که با افزایش مقدار کاربرد لجن فاضلاب، فراهمی فلزات در گیاهان زیادتر و مقدار غلظت فلزات در تمام بخش‌های گیاه در تمام خاک‌های تیمار شده بیش‌تر از تیمار شاهد بود (۲). کاباتاپندیاس و پندیاس (۲۰۰۰)، در پژوهشی نشان دادند بیش‌ترین غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه ذرت مربوط به بیش‌ترین سطح استفاده از کادمیم و کم‌ترین مربوط به تیمار شاهد می‌باشد (۱۲). می و همکاران (۲۰۰۲)، نیکولز و همکاران (۲۰۰۰) و شارما و همکاران (۱۹۹۵) بیان‌کردند با افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط، غلظت آن در بافت‌های گیاهی افزایش می‌یابد. هم‌چنین بیان نمودند که مقدار تجمع این فلزات در سیستم ریشه بیش‌تر از بخش هوایی می‌باشد (۱٦، ۲۰ و ۲۸).

غلظت کادمیم در دسترس خاک: با توجه به نتایج جدول‌های ۳ و ٤ و شکل ۳ ملاحظه می‌گردد که کاربرد سطوح مختلف آلودگی آب بر مقدار کادمیم قابل‌دسترس در خاک در سطح پنج درصد اثری معنی‌دار داشت. هم‌چنین کاربرد سطوح مختلف آلودگی خاک بر مقدار کادمیم قابل‌دسترس در خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد اثر متقابل آلودگی آب‌وخاک بر مقدار کادمیم قابل‌دسترس در خاک معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی نشان داد افزایش کادمیم آب آبیاری از شاهد تا دو میلی‌گرم بر لیتر تفاوت معنی‌داری بر غلظت در دسترس خاک داشت. هم‌چنین با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل و شکل ۳، می‌توان گفت تفاوت معنی‌داری ناشی از افزایش سطح کادمیم در آب، بر میزان کادمیم در دسترس خاک برای

تیمارهای خاک بدون کادمیم و کادمیم ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست نیامد. مطابق نتایج، بیش‌ترین مقدار کادمیم در دسترس خاک مربوط به تیمار با بیش‌ترین سطح کادمیم در آب‌وخاک و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار شاهد بود. بیش‌ترین مقدار کادمیم در بالاترین تیمار آلودگی خاک و آب به‌ترتیب ۲/۵۸ و ۱/۲۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. با توجه به نتایج و بررسی اثر متقابل تیمارهای آب‌وخاک، بیش‌ترین مقدار کادمیم در دسترس خاک در تیمارها با بالاترین سطح آلودگی کادمیم ۲/٦٥٨ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. هم‌چنین کم‌ترین غلظت در خاک تحت تیمارهای شاهد، ۰/۰۸٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. در تأیید نتایج پژوهش حاضر، مهدی و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که غلظت قابل‌دسترس کادمیم، مس، نیکل و سرب با DTPA به‌طور قابل‌توجهی در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب بیش‌تر از مقدار آن در نمونه شاهد بود (۱۵).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کادمیم در آب‌وخاک بر غلظت کادمیم در دسترس خاک.

Figure 3. Comparison means of the interaction effect of Cd in water and soil on available Cd concentration in the soil.

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters do not have a significant difference at P = 0.05 based on Duncan Test.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر آلودگی آب‌وخاک با کادمیم بر عملکرد و میزان کادمیم در اجزای ذرت رقم زودرس ۲۰۱ انجام شد. نتایج نشان داد که در کاربرد توأم آب آلوده در خاک‌آلوده عملکرد کاهش یافت و بیش‌ترین کاهش عملکرد مربوط به سطح بالای کادمیم در آب‌وخاک و کم‌ترین مربوط به تیمار شاهد بود. با توجه به نتایج کاربرد سطوح آب آلوده به کادمیم در خاک‌آلوده تأثیری در کادمیم قابل‌دسترس نسبت به شاهد نداشت. درحالی‌که کاربرد سطوح آب آلوده در خاک‌آلوده منجر به کاهش عملکرد در گیاه ذرت شد. بنابراین افزودن آب آلوده در طی کشت می‌تواند منجر به کاهش عملکرد شود. هم‌چنین نتایج تجمع کادمیم در بخش‌های مختلف

گیاه به‌ترتیب نزولی در ساقه، برگ و دانه به‌دست آمد. در این پژوهش میزان تجمع کادمیم در دانه گیاه زیر حد استاندارد (۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) و در شرایط سالم قرار داشت درحالی‌که مقدار این فلز در ساقه و برگ ذرت بیش‌ازحد استاندارد بود. با توجه به مقدار استاندارد کادمیم برای مصرف دام (۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌توان نتیجه گرفت به‌جز دانه که در شرایط سالم قرار داشت مصرف ذرت به‌صورت علوفه در شرایط این پژوهش برای خاک‌های با آلودگی ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای دام توصیه نمی‌شود. هم‌چنین کشت ذرت با استفاده از آب آلوده به کادمیم تا ۲ میلی‌گرم بر لیتر در خاک‌های بدون آلودگی به کادمیم مشکلی را برای مصرف دام ایجاد نمی‌کند.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد بابت تأمین هزینه‌های این پژوهش سپاسگزاری می‌گردد.

داده‌ها و اطلاعات

منبع تهیه و منشأ داده‌های مقاله مقایسه استانداردهای موجود عناصر سنگین به‌ویژه کادمیم در آب‌وخاک و تأثیر آن بر عملکرد گیاه ذرت و هم‌چنین غلظت این عنصر در قسمت‌های مختلف گیاه برگرفته از رساله دکتری که در سال ۱۳۹۶ در مزرعه دانشگاه شهرکرد به‌دست آمده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

منابع

1. Alcantara, E., Romera, F.J., Canete, M., and Guardia, M.D. 1994. Effect of Heavy metals on both induction and function of root Fe (III) reductase in Fe- deficient *Cucumber* (*Cucumis sativus* L.) plants. J. Exp. Bot. 45: 1893-1898.
2. Antoniadis, V., and Alloway, B.J. 2000. Availability of Cd, Ni and Zn to ryegrass in sewage sludge-treated soils at different temperatures. J. Water Air Soil Poll. 132: 201-214.
3. Chaharmahal and Bakhtiari Meteorological Administration. 2017. Meteorological information of Chaharmahal and Bakhtiari Province Retrieved June 5, 2017, from *http://www.chaharmahalmet.ir.*
4. Chitra, K., Sharavanan, S., and Vijayaragavan, M. 2011. Tobacco, corn and wheat for phytoremediation of cadmium polluted soil, Recent Research in Science and Technology. 3: 2. 148-151.
5. Doorenbos, J., and Kassam, A.H. 1979. Yield response to water FAO. Irrigation and drainage paper No. 33, FAO, Rome, Italy, 193p.
6. European Commission Regulation. 2006. No 1881/2006, Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuff. Official, J. Europ. Union, L. 364: 524.
7. Ferreyroa, G.V., Lagorio, M.G., Trinelli, M.A., Lavado, R.S., and Molina, F.V. 2017. Lead effects on *Brassica napus* photosynthetic organs. Ecotoxicology and Environmental Safety, 140: 123-130.
8. Gee, G.H., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. In: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Physical Properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, Pp: 383-411.
9. Gholami, L., and Rahimi, G. 2020. The effect of carrot pulp derived biochar on the adsorption of cadmium and lead in an acidic soil. gorgan University of Agriculture Science J. Water Soil Cons. 27: 2. 1-23. (In Persian)
10. Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, and Cesium. In: D.L. Sparks (Ed.), Method of Soil Analysis. Part 3: Chemical Properties. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, Pp: 551-575.

11. Jianpeng, F., Qinghua, S., Xiufeng, W., and Min, W. 2010. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium toxicity *Cucumis sativus* L. Science Horticulture. 123: 521-530.
12. Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2000. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, Florida.
13. Khan, A.G. 2006. Mycorrhizaremediation an enhanced form of phytoremediation. J. Zhejiang Univ. Sci. B. 7: 7. 506-514.
14. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 421-428.
15. Mahdy, A.M., Elkhatib, E.A., and Fathi, N.O. 2007. Cadmium, Copper, Nickel, and Lead availability in bio solids – amended alkaline soils. Austr. J. Basic Appl. Sci. 1: 354-363.
16. Mei, B., Puryear, J.D., and Newton, R.J. 2002. Assessment of Cr tolerance and accumulation in selected plant species. Plant and Soil. 247: 223-231.
17. Min, P., Chuandong, Zh., Honghong, M., Zhongfang, Y., Ke, Y., Fei, L., Kuo, L., Zheng, Y., Shiqi, T., Fei, G., and Xiujin, L. 2020. Heavy metal and Pb isotopic compositions of soil and *maize* from a major agricultural area in Northeast China: Contamination assessment and source apportionment. J. Geochem. Exp. 208: 106403.
18. Nazari, M., Fallah, S., Kiani, Sh., and Jalilian, J. 2014. Effect of chemical and biological fertilizers combination on cadmium concentration and growth parameters of *fenugreek* medicinal plant in cadmium-polluted soil. J. Soil Manage. Sust. Prod. 4: 3. (In Persian)
19. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total Carbon, organic carbon and organic matter. In: D.L. Sparks (Ed.), Method of Soil Analysis. Part 3: Chemical Properties Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, Pp: 961-1010.
20. Nichols, P.B., Couch, J.D., and Al-Hamdani, S. 2000. Selected physiological responses of *Salvinia minima* to different chromium concentrations. Aquatic Botany. 68: 313-319.
21. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: A.L. Page R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. (2nd ed.). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, Pp: 403-430.
22. Poschenrieder, C., Gunse, B., and Barcelo, J. 1989. Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance, and abscissic acid content in expanding bean leaves. Plant Physiol. 90: 1365-1371.
23. Rhodes, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, Pp: 417-435.
24. Salakinkop, S.R., and Hunshal, C.S. 2014. Domestic sewage irrigation on dynamics of nutrients and heavy metals in soil and wheat (*Triticum aestivum*L.) production. Inter. J. Recycl. Org. Waste Agric. 3: 3. 1-11.
25. Sameni, A.M., Maftoun, M., and Bassiri, A. 1987. Responses of *tomato* and *sweet corn* to different cadmium levels in calcareous soils. J. Hort. Sci. 62: 2. 227-232.
26. Sana, Ch., Samia, B., Abdelhay-El, Gh., and Ali, B. 2018. Impact of irrigation with wastewater on accumulation of heavy metals in soil and crops in the region of Marrakech in Morocco. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 18: 4. 429-436.
27. Sharma, P., and Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol. 17: 1. 35-52.
28. Sharma, D.C., Chatterjee, C., and Sharma, C.P. 1995. Chromium accumulation and its effects on *wheat* (*Triticum aestivum* L. *cv. HD 2204*). Metabolism. Plant Science. 111: 145-151.
29. Shirmohamadi Aliakbar Khani, Z. 2013. Evaluation of interaction of salinity and irrigation regulated on yield and yield components of forage *maize* and determination of water-salinity production function. PhD Thesis. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)

30. Srinivas, N., Ramakrishna Rao, S., and Suresh Kumar, K. 2009. Trace Metal Accumulation in Vegetables Grown in Industrial and Semi-Urban Areas- A Case Study. Applied Ecology and Environmental Research 7: 2. 131-139.
31. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, Pp: 475-483.
32. Vitoria, A.P., Pea, P.J., and Azevedo, R.A. 2001. Antioxidant enzymes responses to cadmium in radish tissues. Phytochem. 57: 701-710.
33. USEPA. 2010. Risk-based Concentration Table. United State Environmental Protection Agency, Washington, DC.
34. Underwood, E., and Suttle, N. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock, 3rd ed. Oxon, UK: CABI Publishing.
35. WHO/FAO. 2007. Joint FAO/WHO Food Standard Programme Codex Alimentarius Commission 13th Session. Report of the Thirty-Eight Session of the Codex Committee on Food Hygiene, Houston, United States of America, ALINORM 07/30/13.
36. Zhang, G., Fukami, M., and Sekimoto, H. 2002. Influence of cadmium on mineral concentrations and components in wheat genotypes differing in Cd tolerance at seedling stage. Field Crop Research, 77: 93-98.
37. Zheo, G.Q., Ma, B.L., and Ren, S.Z. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence and ion content of naked oat in response to salinity. Crop Sci. J. 41: 123-131.
38. Zhu, G., Xiao, H., Guo, Q., Song, B., Zheng, G., Zhang, Z., and Okoli, C.P. 2018. Heavy metal contents and enrichment characteristics of dominant plants in wasteland of the downstream of a lead-zinc mining area in Guangxi, Southwest China. Ecotoxicology and Environmental safety, 151: 266-271.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Research Full Paper

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(5), 2021
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2021.18319.3392

The effect of cadmium contaminated water and soil on corn yield components

H. Riahi-Farsani[1], *M. Ghobadinia[2], M.R. Noori-Emamzadei[3], A.R. Danesh-Shahraki[4] and H.R. Motaghian[5]

[1]Ph.D. Student, Dept. of Water Engineering, Shahrekord University,
[2]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Shahrekord University,
[3]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Shahrekord University,
[4]Assistant Prof., Dept. of Agronomy Engineering, Shahrekord University,
[5]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahrekord University
Received: 09.05.2020; Accepted: 11.08.2020

Abstract

Background and Objectives: Conservation of soil and water resources could play an important role in health of crop. The use of wastewaters containing heavy metals and therefore polluting soil resources can cause many problems for quantity and quality of crops. High retention of heavy metals in the environment causes transfer to plants and food chains and then irreparable damage to humans, plant growth, soil and the environment. This study was conducted to investigate the slope of changes in cadmium (Cd) heavy metal contamination in irrigation water and soil on the slope of growth and its accumulation in corn variety (cultivar) 201. The study was performed in the farm of Shahrekord University, Iran.

Materials and Methods: The experiments were designed in the factorial test, based on the completely randomized design with three replicates as a pot culture with Silt Loam texture. The first was the Cd concentration in irrigation water from Cd Nitrate Salt at five levels (0 (control), 0.01, 0.05, 1, 2 mg/L) and the second factor was the addition Cd in soil from the Cd Nitrate Salt at three levels (0 (control), 10 mg/kg soil, and 50 mg/kg soil). After using Cd treatments in the soil, corn was cultivated and irrigated with different levels of Cd in water, during the growing period. At the end of the growing period, the concentration of Cd was determined in different components of the plant (stem, leaves and seed), soil, as well as the relative components of corn. Also, the amount of evapotranspiration and water requirement were recorded during the experiment.

Results: The results showed that water and soil contamination with Cd had a significant effect (at a1% level) on yield components (including: grain yield per plant unit, number of rows in corn, number grain at the row, dry leaf weight and dry stem weight). However, the effect of water and soil contamination with Cd was not significant on the yield components. High levels of cadmium in soil and water had the highest reduction in yield, while the control treatment had the lowest. The results showed that the stem had the highest (2.283 $mgkg^{-1}$) and the grain (undetectable) had the lowest Cd concentration. In this study, the highest and lowest yields of corn plant components due to the using of different levels of Cd in soil obtained in the grain yield and the number of rows in corn as 11.46%, 15.51%, and 2.47%, 3.81%, respectively. Water and soil contamination with Cd had a significant effect (at a1% level) on water use efficiency in corn. The water use efficiency due to the use of high levels of Cd in water and soil decreased by 15.45% and 17.21%, respectively.

* Corresponding Author; Email: mahdi.ghobadi@gmail.com

Conclusion: The results revealed that although the amount of Cd available at the end of the experiment was not significantly different in varied soil contamination treatments, increasing the concentration of soluble Cd in irrigation water reduced the crop growth slope and thus reduced the yield of the final product. In addition, the concentration of Cd in stem and leaves has also increased. Therefore, in soils with contamination above the allowable level, the contamination of other sources such as water should be considered.

Keywords: Absorption, Cadmium concentration in grain, Unconventional water, Yield decrease