مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد نوزدهم، شماره دوم، ۱۳۹۱
http://jwfst.gau.ac.ir

ارزیابی ویژگی‌های مؤثر خاک بر وضعیت غلظت کادمیم در خاک و بذر گندم در برخی خاک‌های آهکی خوزستان

علیرضا جعفرنژادی[۱]، *مهدی همایی[۲]، غلامعباس صیاد[۳] و محمد بای‌بوردی[۲]

[۱]استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، [۲]استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس،
[۳]استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۱۹

چکیده

ویژگی‌های خاک بر مقدار و زیست‌فراهمی عناصر سنگین مؤثر می‌باشند. بنابراین، بررسی ویژگی‌های مؤثر خاک بر حلالیت و جذب این عناصر به‌وسیله گیاه ضروری است. هدف از این پژوهش، تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر خاک بر غلظت کل و قابل جذب کادمیم و تجمع آن در بذر گندم در خاک‌های آهکی استان خوزستان می‌باشد. به این منظور، تعداد ۲۵۵ نمونه خاک مرکب و بذر گندم به روش وزنی، در مزارع گندم (با مساحت ٤۰۰۰ کیلومترمربع) نمونه‌برداری شد. سپس، pH، شوری، درصد رس، مقدار آهک، ظرفیت تبادلی کاتیونی، درصد کربن آلی، فسفر قابل جذب، غلظت کادمیم خاک (کل و قابل عصاره‌گیری با DTPA) و کادمیم بذر اندازه‌گیری شد. میانگین آهک در نمونه‌ها بیش از ٤٦ درصد و میانگین غلظت کادمیم کل و قابل جذب، به‌ترتیب ۱/٤۷ و ۰/۰۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. میانگین غلظت کادمیم بذر ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بذر به‌دست آمد. نتایج نشان داد که کادمیم کل خاک همبستگی معنی‌داری با درصد آهک ($P\leq$۰/۰۱)، ظرفیت تبادلی کاتیونی ($P\leq$۰/۰۵)، فسفر قابل جذب ($P\leq$۰/۰۱) و کربن آلی ($P\leq$۰/۰۵) دارد. همچنین، همبستگی مقدار رس ($P\leq$۰/۰۵)، درصد کربن آلی ($P\leq$۰/۰۱) و pH خاک ($P\leq$۰/۰۵) با غلظت کادمیم قابل جذب خاک معنی‌دار بود. غلظت کادمیم بذر با مقدار کربن آلی ($P\leq$۰/۰۱)، ظرفیت تبادل کاتیونی ($P\leq$۰/۰۱) و کادمیم قابل جذب خاک ($P\leq$۰/۰۵) همبستگی معنی‌داری داشت. اما، همبستگی

* مسئول مکاتبه: mhomaee@hotmail.com

معنی‌داری بین کادمیم بذر با کادمیم کل، pH خاک و میزان آهک در خاک‌های مورد مطالعه (P≤۰/۰۵) مشاهده نشد. تأثیر ویژگی‌های خاک بر غلظت کادمیم بذر ارقام گندم (دوروم و نان) متفاوت بود. به‌طوری‌که، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و غلظت کادمیم قابل جذب بر کادمیم بذر گندم دوروم تأثیری معنی‌دار (P≤۰/۰۱) داشتند. برای گندم نان، افزون بر ویژگی‌های مؤثر بر گندم دوروم، مقدار آهک و رس نیز بر غلظت کادمیم بذر تأثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۵) داشتند. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فراهمی کادمیم قابل جذب خاک برای گیاه تحت‌تأثیر ویژگی‌های خاک و گونه گندم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خاک آهکی، کادمیم، گندم، فلزات سنگین

مقدمه

عناصر سنگین به‌طور طبیعی در سنگ‌ها و خاک‌ها وجود دارند. اما مقدار این عناصر در خاک‌ها بر اثر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی انسان در حال افزایش است. ارزیابی مقدار غلظت عناصر سنگین به‌ویژه کادمیم، در سیستم خاک- آب- گیاه به‌دلیل تأثیر این مواد بر زنجیره غذایی و سلامت انسان دارای اهمیت زیادی است (گری و مک‌لارن، ۲۰۰۶). به عبارت دیگر، خاک هم به‌عنوان منبع[1] و هم به‌عنوان مخزن[2] فلزات است (آلوی، ۱۹۹۵). مطالعات گوناگون در ارتباط با ارزیابی آلایندگی فلزات در خاک‌ها انجام شده است (کپاتا پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۱). در بعضی از کشورها حد مجاز آلایندگی را براساس غلظت کل فلزات در خاک (گری و مک‌لارن، ۲۰۰۶) و در برخی دیگر بر پایه، شکل یونی و محلول عناصر وضع کرده‌اند (کانسز و همکاران، ۲۰۰۳). دامنه تغییرات غلظت کادمیم کل، در خاک‌های غیرآلوده ۱-۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین شده است (پایس و جونز، ۱۹۹۷). اما حد بحرانی کادمیم قابل جذب خاک در منابع ذکر نشده و بسته به نوع گیاه تعیین می‌شود (امینی و همکاران، ۲۰۰۵). برای ارزیابی خطرات ناشی از آلاینده‌ها، در نظر گرفتن مقدار کل و قابل جذب عناصر سنگین می‌تواند مفیدتر باشد (وانگ، ۱۹۹۹). به‌طورکلی، مقدار و پراکنش غلظت فلزات، بسته به نوع و خصوصیات خاک متغیر است (وو و همکاران، ۲۰۰۲).

1- Source
2- Sink

ویژگی‌های خاک، نقش مهمی در زیست‌فراهمی[1] کادمیم در خاک دارند. نورول و همکاران (۲۰۰۰) زیست‌فراهمی کادمیم در خاک را در ارتباط با برخی ویژگی‌های خاک ذکر کرده‌اند. این ویژگی‌ها شامل غلظت و شکل فلز، pH، مواد آلی، مقدار رس، برهم‌کنش با دیگر فلزات و عملیات کوددهی می‌باشند (کرکهام، ۲۰۰٦). مطالعات نشان داده است که pH خاک عامل مهمی در کنترل فراوانی کادمیم و شکل غالب آن در خاک است (لیندزی، ۱۹۷۹). بررسی نمودارهای حلالیت ترکیبات کربناتی و فسفری کادمیم در خاک‌های آهکی نشان داد که حلالیت این ترکیبات با افزایش pH خاک (تا حدود ۷/۹) افزایش یافته و بعد از این pH، مقدار حلالیت روندی کاهشی را نشان می‌دهد. همچنین، روند تغییرات در نمودار حلالیت کادمیم با pH به‌نحوی است که غلظت کاتیون کادمیم (Cd^{+2}) با pH ۷/۹ ثابت بوده و در این دامنه، ترکیبات کربناتی و فسفری کادمیم نقش مؤثری در تغییرات کادمیم خاک دارند (لیندزی، ۱۹۷۹).

همچنین، تناوب کشت محصولات مختلف، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش میزان کادمیم قابل جذب در خاک است. هرچه میزان بقایای گیاهی بعد از برداشت گیاه در خاک بیش‌تر باشد اثر زیادتری بر میزان کادمیم قابل جذب گیاه (پاویلیکووا و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج پژوهش‌های گذشته بیانگر آن است که pH و مواد آلی خاک مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده فراهمی کادمیم می‌باشند (کرخام، ۲۰۰٦). ترکیب کربن آلی با عنصر کادمیم باعث ایجاد ترکیبات محلولی در خاک می‌شود که حتی در مقادیر بالای pH خاک نیز این ترکیبات به‌صورت محلول وجود دارند (کاموبورکو و همکاران، ۱۹۹٦). همچنین میزان مواد آلی و رس (یانگ، ۲۰۰۱)، شوری، کلر و مقدار کربنات از عوامل مؤثر بر حلالیت کادمیم خاک هستند (رینللا و همکاران، ۲۰۰٤؛ واگلر و همکاران، ۲۰۰٤). بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر کادمیم قابل جذب خاک در ایران نشان داده است که pH مؤثرترین عامل کنترل‌کننده حلالیت کادمیم در خاک است. همچنین، شوری و غلظت کلر بر حلالیت کادمیم در خاک در مقیاس وسیع مؤثر بوده ولی مقدار رس تأثیری نداشته است (امینی و همکاران، ۲۰۰۵). براساس مطالعه امینی و همکاران (۲۰۰۵) بین غلظت کل کادمیم و مقدار قابل جذب آن در خاک در کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری همبستگی معنی‌داری وجود نداشته است.

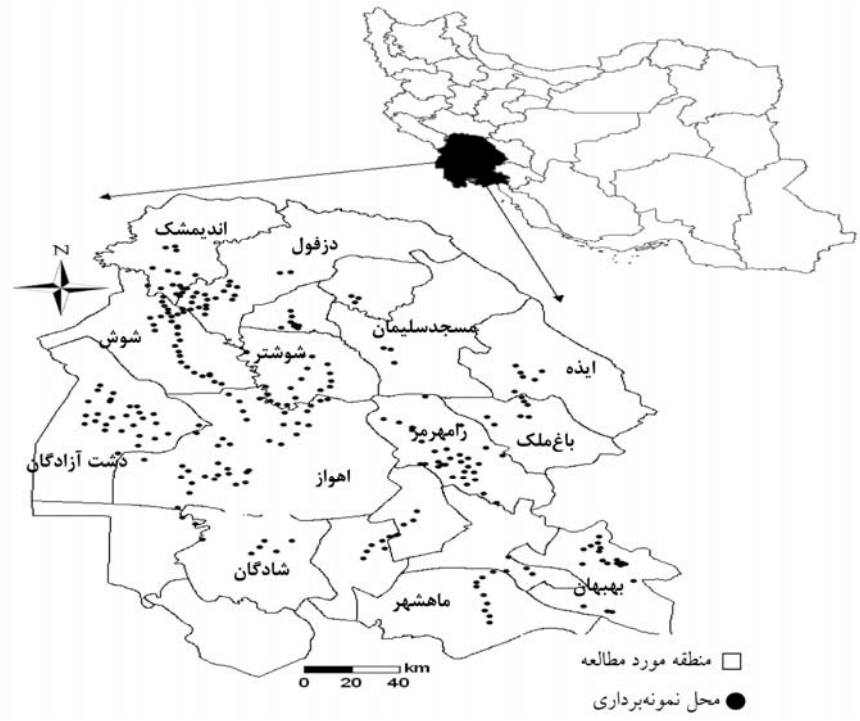
1- Bioavailibility

گیاهان نقش مهمی در ورود کادمیم به چرخه غذایی انسان دارند. توانایی گیاهان مختلف در جذب کادمیم متفاوت است. به‌طوری‌که منشا ۷۵ درصد از کادمیم موجود در زنجیره غذایی غلات و سبزی‌ها می‌باشد (وانگسترناد و همکاران، ۲۰۰۷). گندم در بین غلات، به‌عنوان یک گیاه مهم در سبد غذایی، نقش مهمی در سلامت جامعه دارد. مطالعات نشان داده است، گندم (به‌ویژه رقم دوروم) بیش‌تر از چاودار، جو و یولاف قادر به جذب کادمیم است (جانسون، ۲۰۰۲). در اروپا حد مجاز کادمیم در دانه گندم ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بذر تعیین شده است (جامعه اروپا، ۲۰۰۱). همچنین نوع رقم گندم بر مقدار جذب کادمیم تأثیر دارد (اینورسن و استریک، ۲۰۰۵). در پژوهشی دیگر، همبستگی بالایی بین تغییرات کادمیم بذر و ویژگی‌های خاک (n=۱۲٤) گزارش شد (وو و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین، ۵۳ درصد تغییرات غلظت کادمیم بذر (n=۱٦۲) با مدل مقدار کادمیم کل و pH خاک بیان شد (آدامز و همکاران، ۲۰۰٤).

خاک‌های آهکی بخش چشم‌گیری از اراضی قابل کشت را در کشور ایران به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین، ویژگی‌های این خاک‌ها نقش مؤثری بر فراهمی عناصر در خاک دارند. شناخت و تعیین این ویژگی‌ها می‌تواند نقش به‌سزایی در مدیریت خاک‌ها داشته باشد. بیش‌تر اراضی قابل کشت در استان خوزستان دارای میزان آهک بالایی هستند. در این خاک‌ها، محصولات مهمی مانند گندم، برنج و ذرت کشت می‌شوند که اهمیت زیادی در زنجیره غذایی جامعه دارند. بنابراین شناخت عوامل مؤثر بر حلالیت و زیست‌فراهمی عناصر آلاینده به‌ویژه کادمیم در این خاک‌ها بسیار ضروری است. با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش به‌منظور مطالعه وضعیت کادمیم در خاک و بذر گندم و تعیین عوامل مهم مؤثر بر زیست‌فراهمی این عنصر و میزان جذب آن به‌وسیله گندم در خاک‌های آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزارع گندم به وسعت حدود ٤۰۰ هزار هکتار در شرایط خاک‌های آهکی استان خوزستان در سال ۸۷-۱۳۸٦ انجام شد. مختصات محدوده مورد مطالعه در ٤۷ درجه و ٤۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی قرار داشت (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری.

در حدود زمان برداشت گندم، تعداد ۲۵۵ مزرعه انتخاب شد. با توجه به سطح زیر کشت هر منطقه و نیز الگوی پراکنش مزارع به‌ازای هر ۱٤۰۰ هکتار یک جفت نمونه مرکب از خاک و بذر گندم به‌صورت وزنی (سطح کشت بیش‌تر تعداد نمونه بیش‌تر)، نمونه‌برداری مکان‌دار صورت گرفت. در هر نقطه با استفاده از کادر ۱ مترمربعی با توجه به سطح مزرعه تعداد ۱۵ نمونه سنبله گندم از نقاط مختلف به‌طور تصادفی برداشت و سپس یک نمونه مرکب گندم تهیه شد. همچنین از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری خاک انجام شد. پس از مخلوط نمودن، حدود ۱ کیلوگرم نمونه خاک مرکب تهیه گردید.

غلظت کل کادمیم (کاو و همکاران، ۱۹۸٤) و غلظت قابل جذب کادمیم[1] (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸) در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. کادمیم بذر گندم به‌وسیله هضم با اسید نیتریک و آب اکسیژنه عصاره‌گیری شد (وسترمن، ۱۹۹۰). غلظت کل کادمیم خاک به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (پرکین المر ۳۱۰۰) و مقادیر کادمیم قابل جذب خاک و بذر به‌وسیله دستگاه کوره گرافیتی (پرکین

1- DTPA-Extractable Cd

المر ٦٠٠) اندازه‌گیری شد. همچنین در نمونه‌های خاک، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل pH گل اشباع، درصد مواد آلی (واکلی و بلک، ١٩٣٤)، هدایت الکتریکی خاک عصاره اشباع، بافت خاک (جی و بودر، ١٩٨٦)، غلظت فسفر قابل جذب به روش اولسن، ظرفیت تبادل کاتیونی (چاپمن و پارت، ١٩٦١) و درصد کربنات کلسیم معادل آهک به روش تیتراسیون با سود در خاک تعیین گردید.

برای تعیین همبستگی بین ویژگی‌های مورد مطالعه از ضریب همبستگی پیرسن استفاده شد. همچنین، محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS انجام گردید.

بحث و نتایج

معرفی و توصیف آماری داده‌ها: برای انجام تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، خلاصه‌ای از آمار توصیفی میانگین، حداقل، حداکثر، چولگی، کشیدگی، انحراف معیار و ضریب تغییرات ویژگی‌های مقدار آهک، کربن آلی، رس، ظرفیت تبادلی کاتیونی، فسفر قابل جذب، pH، شوری، کادمیم کل، کادمیم قابل جذب و غلظت کادمیم بذر در جدول ١ نشان داده شده است.

جدول ١- برخی آماره‌های توصیفی ویژگی‌های مورد مطالعه.

متغیر	Cd_g[a]	Cd_t	Cd_{DTPA}	P(ava.)	ECe	pH	TNV	OC	Clay	CEC
	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)				(دسی‌زیمنس بر متر)		(درصد)			$cmol_c/kg$
میانگین	٠/٧	١/٤٧	٠/٠٨٤	٨/٣٥	٤/٠٨	٧/٤	٤٦/٢	٠/٧٧	٢٩/٦	١٣/٧٥
انحراف معیار	٠/٣١	٠/٢٦	٠/٠٦	٧/٦	٤/١٨	٠/٢٦	٩/١٤	٠/٣	٩/٩	٤
ضریب تغییرات (درصد)	٤٤	١٨	٧١	٩١	١٠٢	٣	٢٠	٣٩	٣٣	٢٩
حداکثر	١/٧٥	٢/١٩	٠/٣٥	٤٤	٢٤/٣	٨/٤	٧٥	١/٧١	٥٢	٢٨/٣
چولگی	١/٢	٠/٠٣	١/٣	٢/١	٢	٠/٠٤	-٠/٢٢	٠/٦١	٠/٧٧	٢
کشیدگی	١/٧	٠/٢٤	٢/٤	٠/١٥	٤/٧	٠/٢٥	٠/٨٥	٠/٣٣	-٠/٨	٤/٧

a: Cd_g: غلظت کادمیم بذر، Cd_t: غلظت کادمیم کل خاک، Cd_{DTPA}: غلظت کادمیم قابل جذب، P(ava.): غلظت فسفر قابل جذب، TNV: مقدار آهک.

نتایج این جدول نشان داد، ویژگی‌های مورد مطالعه، توزیع تقریباً نرمالی دارند. در این خاک‌ها میانگین مقدار آهک بیش‌تر از ٤٠ درصد بود. همچنین، مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی بیانگر پتانسیل بالای این خاک‌ها برای نگه‌داری عناصر در خاک است. مواد آلی خاک، اندک و در حد نامناسب و میزان

شوری خاک‌ها متغیر و با انحراف معیار زیاد است. اختلاف زیاد بین مقادیر حداقل و حداکثر شوری احتمالاً به‌دلیل وجود شرایط آب و هوایی مختلف در مناطق مختلف استان و همچنین ایجاد شبکه‌های زه‌کشی در برخی نقاط می‌باشد. غلظت فسفر قابل جذب در این خاک‌ها دارای ضریب تغییرات شدید است. این موضوع نشان‌دهنده وجود مدیریت مصرف نامناسب کودهای فسفری در مناطق مورد مطالعه است. خاک‌های مورد مطالعه دارای میانگین غلظت کادمیم کل (۱/٤۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) و قابل جذب خاک (۰/۰۸٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیش‌تر از حد مجاز تعیین شده در بیش‌تر کشورها است (پایس و جونز، ۱۹۹۷) که نشان‌دهنده وجود خطر آلودگی کادمیم در این مناطق است. این نتایج، با مقادیر اندازه‌گیری شده برای خاک‌های نواحی مرکزی ایران هم‌خوانی دارد (امینی و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین، غلظت اندازه‌گیری کادمیم بذر گندم نشان داد، ۹۵ درصد نمونه‌های مورد مطالعه دارای غلظت کادمیم بیش‌تر از ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بذر می‌باشند که نشان‌دهنده آلودگی بذور به کادمیم است.

ارزیابی همبستگی ویژگی‌های مورد مطالعه: برای تعیین همبستگی بین ویژگی‌های مورد مطالعه، ضریب همبستگی پیرسن محاسبه شد (جدول ۲). براساس نتایج جدول ۲، ظرفیت تبادل کاتیونی ($r=۰/۷۷^{**}$) و کربن آلی ($r=۰/٦٦^{**}$) همبستگی بسیار معنی‌دار ($P\leq۰/۰۱$) و مقدار کادمیم قابل جذب خاک ($r=۰/۵۷^{*}$) همبستگی معنی‌دار ($P\leq۰/۰۵$) با غلظت کادمیم در بذر گندم داشتند.

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسن برای ویژگی‌های مورد مطالعه.

متغیر	Cd_g[۱]	Cd_t	Cd_{DTPA}	pH	ECe	P(ava.)	TNV	OC	Clay	CEC
Cd_t	-۰/۳									
Cd_{DTPA}	۰/۵۷*	-۰/۳۷								
pH	۰/۲٦	-۰/۲۵	۰/۵۸**							
ECe	-۰/۰۸	۰/٤۵	۰/۲۷	۰/۱۲						
P(ava.)	۰/۲٤	-۰/٦۲**	۰/۱۳	۰/۱٤	-۰/۳۵					
TNV	-۰/۳٦	۰/۷۵**	-۰/۳۳	۰/۰٦	۰/۳۲	-۰/٤٦*				
OC	۰/٦٦**	-۰/٤۸*	۰/٦۳**	۰/۱۵	-/۰۰٦	۰/۲٦	-۰/٤۸*			
Clay	۰/۱۲	۰/۰۱۵	۰/۵۵*	۰/۱	۰/٦۹**	-۰/۰۵۳	۰/۰۲	۰/۵*		
CEC	۰/۷۷**	-۰/۵۲*	۰/٦۵**	۰/۱۳	-۰/۲	۰/۲۸	-۰/۵۷*	۰/۷۷**	۰/۳٤	

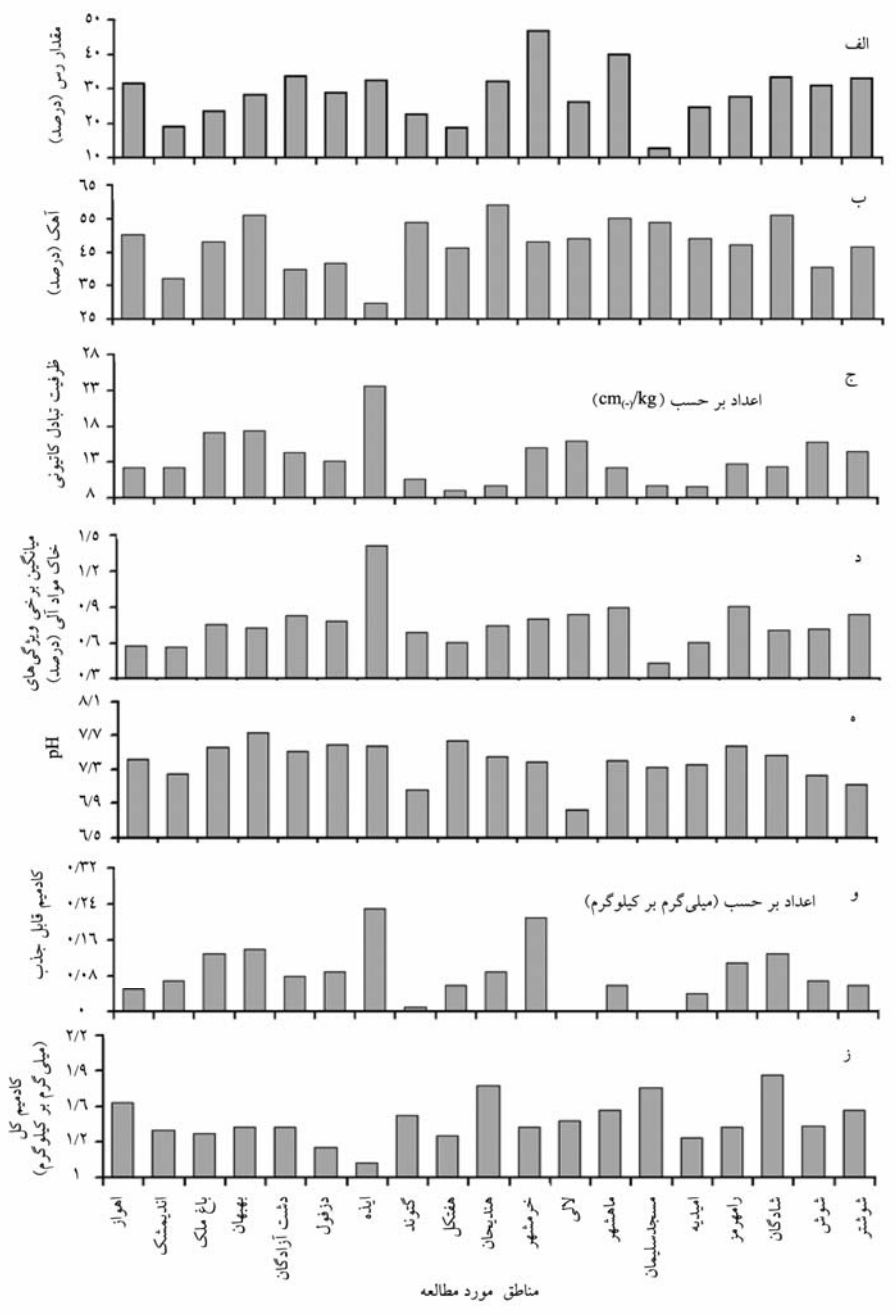
۱: Cd_g: غلظت کادمیم بذر، Cd_t: غلظت کادمیم کل خاک، Cd_{DTPA}: غلظت کادمیم قابل جذب، P(ava.): غلظت فسفر قابل جذب، TNV: مقدار آهک.

* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

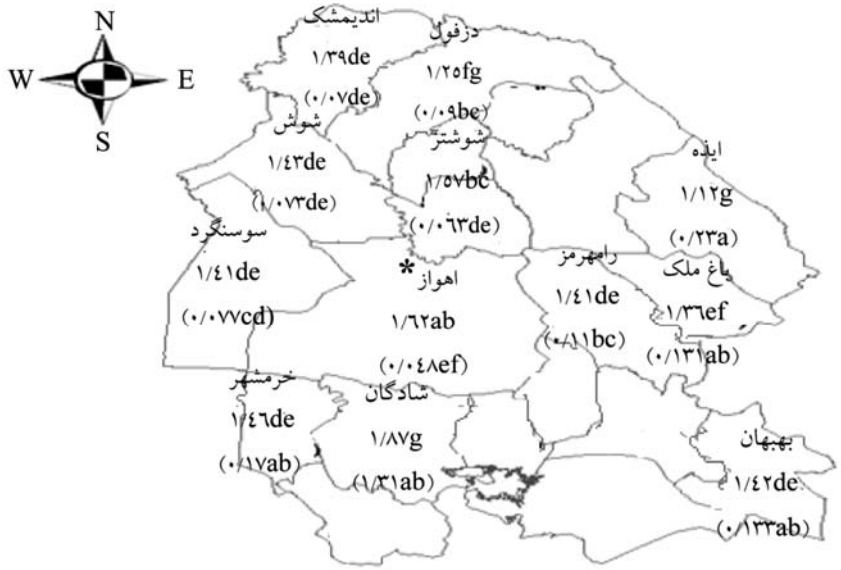
این موضوع، اهمیت و نقش مواد آلی خاک را بر غلظت و حلالیت کادمیم در خاک نشان می‌دهد. همبستگی غلظت کادمیم کل خاک با درصد آهک ($r=۰/۷۷^{**}$) و مقدار فسفر قابل جذب ($r=-۰/۶۲^{**}$) بسیار معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) و با ظرفیت تبادل کاتیونی ($r=-۰/۵۲^{*}$) و مقدار کربن آلی ($r=-۰/۴۸^{*}$) معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) شد. همچنین، غلظت کادمیم قابل جذب در شرایط خاک‌های آهکی منطقه، با pH ($r=۰/۵۸^{**}$)، کربن آلی ($r=۰/۶۳^{**}$)، درصد رس ($r=۰/۵۵^{**}$) و ظرفیت تبادل کاتیونی ($r=۰/۶۵^{**}$) همبستگی بسیار معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) داشت (جدول ۲).

وجود همبستگی بسیار معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) بین کادمیم کل خاک، میزان آهک (TNV) و فسفر قابل جذب احتمالاً نشان‌دهنده وجود ترکیبات کادمیمی خاک، به شکل‌های کربناتی و فسفری می‌باشد. رابطه بسیار معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) بین pH و مقدار کادمیم قابل جذب نیز تأییدی بر این ادعا است. به‌طوری‌که با افزایش pH، بر حلالیت فرم‌های کادمیم افزوده می‌شود. بنابراین احتمالاً جذب کادمیم به‌وسیله گیاهان افزایش یافته یا آب‌شویی می‌گردد. بنابراین، مقدار کادمیم کل در خاک‌هایی با pH بالاتر کاهش می‌یابد. بنابراین، براساس جدول ۲، همبستگی بین pH و کادمیم کل خاک منفی و با کادمیم موجود در بذر مثبت است. به این صورت که با افزایش pH خاک‌های مورد مطالعه (با میانگین ۷/٤±۰/۲٦)، حلالیت ترکیبات کربناتی و فسفری کادمیم، افزایش می‌یابد. بررسی نمودارهای حلالیت ترکیبات کربناتی و فسفری کادمیم در خاک‌های آهکی نیز روند یاد شده را تأیید می‌کند (لیندزی، ۱۹۷۹). به‌طوری‌که حلالیت این ترکیبات با افزایش pH خاک (تا حدود ۷/۹) افزایش یافته و در pH بالاتر، کاهش می‌یابد. همچنین، تغییرات در نمودار حلالیت این عنصر، غلظت کاتیون کادمیم (Cd^{+2}) تا pH ۷/۹ ثابت بوده و ترکیبات کربناتی و فسفری کادمیم نقش مؤثر در تغییرات کادمیم خاک دارند (لیندزی، ۱۹۷۹)

تغییرات ویژگی‌های خاک در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه: تغییرات برخی ویژگی‌های مهم خاک در مناطق مورد مطالعه در این پژوهش، در شکل ۲ نشان داده شده است. بیش‌ترین غلظت کادمیم قابل جذب خاک در مناطق ایذه (شرق استان) و خرمشهر (جنوب‌غرب استان) اندازه‌گیری گردید (شکل ۲). مطالعه روند تغییرات ویژگی‌های مورد مطالعه نشان داد که بیش‌ترین مقدار کادمیم قابل جذب در مناطقی با میزان مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا (ایذه) قرار دارند. همچنین، مناطق با بیش‌ترین غلظت کادمیم کل خاک، دارای کم‌ترین میزان کادمیم قابل جذب بودند. بنابراین، در این مناطق غلظت کادمیم قابل جذب، متأثر از عوامل دیگر بوده و غلظت کادمیم کل، شاخص آلودگی برای تعیین وضعیت کادمیم در این مناطق نیست.



شکل ۲- تغییرات ویژگی‌های خاک در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه.



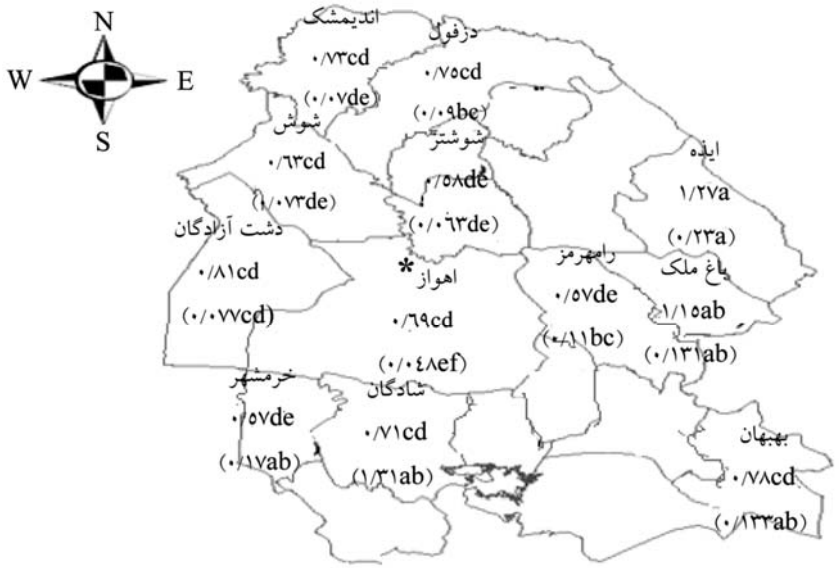
* اعداد به‌ترتیب در هرمنطقه از بالا به پایین بیانگر غلظت کل و قابل جذب کادمیم بوده و حروف نشان‌دهنده اختلاف آماری بین این ویژگی‌ها در مناطق مختلف است.

شکل ۳- تغییرات غلظت کادمیم کل و قابل جذب خاک در مناطق مورد مطالعه.

ارزیابی تغییرات کادمیم در مناطق مورد مطالعه: مقایسه تغییرات کادمیم کل و قابل جذب در مناطق مختلف استان در شکل ۳ نشان داده شده است.

مقدار کادمیم کل در ۹۵ درصد نمونه‌های خاک مورد مطالعه از مناطق مختلف بیش‌تر از ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. در حالی‌که غلظت کادمیم قابل جذب در ۲۵ درصد از نمونه‌ها بیش‌تر از ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد. بیش‌ترین میانگین غلظت کادمیم کل به‌مقدار ۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به مناطق شادگان، هندیجان و مسجدسلیمان و کم‌ترین مقدار به‌میزان ۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در منطقه ایذه به‌دست آمد. همچنین بالاترین میانگین غلظت کادمیم قابل جذب در منطقه ایذه و خرمشهر به‌میزان ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و سایر مناطق دارای میانگینی کم‌تر از مقدار یاد شده بودند. تغییرات غلظت کادمیم کل و قابل جذب در مناطق مختلف تفاوت معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) داشت. از عوامل مهم تغییرات غلظت کادمیم خاک می‌توان به شرایط و ویژگی‌های متفاوت خاک در منطقه (شکل ۱)، وجود شرایط اقلیمی متفاوت در مناطق مورد مطالعه و اعمال مدیریت‌های مختلف کشت و کار اشاره کرد. به این صورت که در مناطق شمالی، تناوب غالب شامل گندم-

(سبزیجات، ذرت و صیفی‌جات)- گندم می‌باشد در حالی‌که رایج‌ترین تناوب در شرق منطقه، گندم- برنج- گندم و گندم- ذرت- گندم است. پژوهش‌ها نشان داد، نوع مدیریت مزرعه از نظر بازگرداندن بقایای گیاهی و نحوه کشت کار بر غلظت کادمیم قابل جذب تأثیر به‌سزایی دارد (پاویلیکووا و همکاران، ۲۰۰۷). در این پژوهش مقایسه غلظت کادمیم بذر در مناطق مختلف انجام شد. شکل ٤ تغییرات غلظت کادمیم بذر گندم و کادمیم قابل جذب را در مناطق مختلف نشان داده است. همان‌طورکه در شکل ٤ مشخص است، تفاوت معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بین غلظت کادمیم بذر در نقاط مختلف وجود دارد.



* اعداد به‌ترتیب در هر منطقه از بالا به پایین بیانگر غلظت کادمیم بذر و قابل جذب کادمیم بوده و حروف نشان‌دهنده اختلاف آماری بین این ویژگی‌ها در مناطق مختلف است.

شکل ٤- تغییرات کادمیم بذر و قابل جذب خاک در مناطق مورد مطالعه.

بیش‌ترین میانگین غلظت کادمیم بذر (۱/۱۵-۱/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بذر) در منطقه شرق (ایذه و باغ‌ملک) اندازه‌گیری شد. کم‌ترین میانگین غلظت کادمیم بذر در دامنه ۰/۶۳-۰/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بذر در سایر مناطق مورد مطالعه تعیین گردید. بیش‌ترین مقادیر غلظت کادمیم بذر در مناطق با

کم‌ترین غلظت کادمیم کل خاک اندازه‌گیری شد. این موضوع بیانگر نبود همبستگی بین غلظت کادمیم بذر و کادمیم کل است که با نتایج جدول ۲ هم‌خوانی دارد. یکی از دلایل بیش‌تر بودن غلظت کادمیم بذر در مناطق شرقی، رقم گندم کشت شده است. در این مناطق، گندم دوروم رقم غالب در بیش‌تر مزارع است. براساس پژوهش‌های گذشته (جانسون، ۲۰۰۲) این نوع گندم توانایی جذب کادمیم بیش‌تری نسبت به گندم نان دارد. دلیل دیگر افزایش کادمیم بذر را نیز می‌توان مربوط به نوع کشت و کار این مناطق دانست. کشت غالب در این مناطق گندم- برنج- گندم است. مطالعات انجام شده در این زمینه نشان داده است که در شرایط کشت برنج، میزان کادمیم محلول به‌دلیل تشکیل سولفید کادمیم کاهش می‌یابد. اما بعد از برداشت برنج و ایجاد شرایط اکسیدی در خاک، میزان حلالیت و غلظت کادمیم قابل جذب برای کشت بعدی (گندم) به‌طور شدیدی افزایش می‌یابد (پاویلیکووا و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین، در این مناطق میزان کربن آلی موجود در خاک (۱/۳-۰/۹ درصد) در مقایسه با سایر مناطق بیشتر است (شکل ۱) که این موضوع می‌تواند بر افزایش حلالیت کادمیم در این مناطق تأثیر داشته باشد. ترکیب کربن آلی با عنصر کادمیم باعث ایجاد ترکیبات محلولی در خاک می‌شود که حتی در مقادیر بالای pH خاک نیز این ترکیبات به‌صورت محلول وجود دارند (کاموبورکو و همکاران، ۱۹۹۶). بنابراین اگرچه به‌طور کلی میزان کربن آلی خاک‌های مورد مطالعه کم (زیر ۱ درصد) می‌باشد ولی به‌نظر می‌رسد نقش زیادی بر حلالیت کادمیم خاک دارد.

ارزیابی ویژگی‌های خاکی مؤثر بر غلظت کادمیم بذر در دو رقم گندم دوروم و نان: حدود ۸۵ درصد از مزارع گندم مورد مطالعه، رقم نان و باقی‌مانده دوروم بودند. کشت گندم نان در بیش‌تر مناطق شمال، جنوب، غرب و مرکز غالب است. اما در مناطق شرقی، گندم دوروم بیشتر کشت می‌شود.

میانگین غلظت کادمیم در بذور ارقام نان و دوروم به‌ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بذر اندازه‌گیری شد. بنابراین، گندم دوروم نسبت به گندم نان دارای پتانسیل بیش‌تری برای تجمع کادمیم در بذر است (وو و همکاران، ۲۰۰۲؛ نورول و همکاران، ۲۰۰۰). برای تعیین تأثیر ویژگی‌های خاکی مؤثر بر غلظت کادمیم بذر در ارقام گندم نان و دوروم، ضریب همبستگی پیرسن محاسبه گردید که در جدول ۳ ارایه شده است. همبستگی بین ویژگی‌های خاک و ارقام گندم (دوروم و نان) متفاوت بود. به‌طوری‌که در گندم نان، همبستگی بسیار معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) بین ویژگی‌های کربن آلی ($r=$۰/۳۲**)، ظرفیت تبادل کاتیونی ($r=$۰/۲۸**)، غلظت کادمیم قابل جذب ($r=$۰/۲۶**)، مقدار آهک ($r=$ -۰/۲٤**) و درصد رس ($P\leq$۰/۰۵) ($r=$۰/۱۵*) و غلظت کادمیم بذر مشاهده شد. برای گندم

دوروم، کربن آلی (r=۰/٤**)، ظرفیت تبادل کاتیونی (r=۰/٦۳**) و غلظت کادمیم قابل جذب (r=۰/۵**) همبستگی بسیار معنی‌داری (P≤۰/۰۱) با غلظت کادمیم بذر را نشان دادند. نتایج جدول ۳ نشان داد که در خاک‌های آهکی مورد مطالعه، بین ویژگی‌های خاک و غلظت کادمیم بذر گندم دوروم، مقادیر ضرایب همبستگی نسبت به گندم نان بالاتر است. همچنین، مقادیر آهک و درصد رس فقط با غلظت کادمیم بذر گندم نان همبستگی داشتند.

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسن برای ویژگی‌های خاک و ارقام گندم.

متغیر	Cd_{DTPA}	Cd_t	P(ava.)	CEC	OC	TNV	Clay
Cd_g[1] (نان)	۰/۲٦**	-۰/۱۳	۰/۱۷**	۰/۲۸**	۰/۳۲**	-۰/۲٤**	۰/۱۵*
Cd_g (دوروم)	۰/۵**	-۰/۰۳٤	۰/۱۳	۰/٦۳**	۰/٤**	-۰/۰۷۳*	۰/۳۳

۱: Cd_g: غلظت کادمیم بذر، Cd_t: غلظت کادمیم کل خاک، Cd_{DTPA}: غلظت کادمیم قابل جذب، P(ava.): غلظت فسفر قابل جذب، TNV: مقدار آهک.

* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که غلظت کادمیم خاک (کل و قابل جذب) و کادمیم بذر در مناطق مختلف بیش‌تر از حد مجاز می‌باشد. بیش‌ترین مقدار کادمیم قابل جذب خاک در مناطق شرقی و برخی از مناطق جنوب‌غربی استان وجود داشت. ویژگی‌های ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار مواد آلی خاک نسبت به سایر ویژگی‌های خاک بر میزان حلالیت کادمیم خاک (کل و قابل جذب) و غلظت کادمیم بذر تأثیر بیش‌تری داشتند. مواد آلی بر خلاف مقدار اندک، نقش مهمی را در حلالیت کادمیم در خاک‌های مورد مطالعه داشتند. نتایج این پژوهش نشان داد که احتمالاً ترکیبات کربناتی و فسفری کادمیم بیش‌تر از سایر ترکیبات در این خاک‌ها وجود دارند. رابطه بین ویژگی‌های خاک و کادمیم بذر در ارقام گندم متفاوت بود. به‌طوری‌که مقدار کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و غلظت کادمیم قابل جذب خاک مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر غلظت کادمیم بذر به‌ویژه رقم دوروم بودند. این موضوع مشخص کرد که قابل دسترس بودن غلظت کادمیم قابل جذب برای گیاه را می‌توان با استفاده از این ویژگی‌ها و بسته به نوع رقم گندم به‌صورت کمی ارایه کرد. با توجه به این نتایج، تفاوت شرایط اقلیمی، خاکی، اعمال مدیریت‌های مختلف کشت و کار و نوع رقم گندم دلایل افزایش کادمیم در خاک و بذر گندم خاک‌های مورد مطالعه می‌باشند.

منابع

1.Adams, M.L., Zhao, F.J., McGrath, S.P., Nicholson, F.A., and Chambers, B.J. 2004. Predicting cadmium concentrations in wheat and barley grain using soil properties. J. Environ. Qual. 33: 532-541.

2.Alloway, B.J. 1995. Introduction. In: Alloway, B.J. (ed) Heavy Metal in Soils. Blackie and Professional Publisher, London, P 3-10. John Wiley & Sons. Inc. New York. 339p.

3.Amini, M., Khademi, H., Afyuni, M., and Abbaspour K.C. 2005. Variability of available cadmium in relation to soil properties and land use in an arid region in central Iran, Water, Air and Soil Pollution J. 162: 205-218.

4.Camobreco, V.J., Richards, B.K., Steenhuis, T.S., Peverly, J.H., and McBride, M.B. 1996. Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. Soil Sci. 161: 740-750.

5.Cao, H.F., Chang, A.C., and Page, A.L. 1984. Heavy metal contents of sludge-treated soils as determined by three extraction procedures. J. Environ. Qual. 13: 632-634.

6.Cances, B., Ponthieu, M., Castrec-Rouelle, M., Aubry, E., and Benedetti, M.F. 2003. Metal ions speciation in a soil and its solution: Experimental data and model results. Geoderma. 113: 341-355.

7.Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. Methods of Analysis for soils, Plant and waters, University of California. Division of Agricultural Science. 309p.

8.European Commission. 2001. Commission Regulation (EC) no. 466/ 2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Off. J. Euro. Communities Legis. 77: 1-13.

9.Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. In: Klute, (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1, 2nd ed. America Society of Agronomy, Madison, WI, Pp: 383-411.

10.Gray, C.W., and McLaren, R.G. 2006. Soil factors affecting heavy metal solubility in some New Zealand soils. Water, Air and Soil Pollution. 175: 3-14.

11.Ingwersen, J., and Streck, T. 2005. A regional-scale study on the crop uptake of cadmium from sandy soils; measurement and modeling. J. Environ. Qual. 34: 1026-1035.

12.Jansson, G. 2002. Cadmium in arable crops, the influence of soil factors and liming. Ph.D. Thesis, Department of Soil Sciences, the Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, ISBN 91-576-6192-8.

13.Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace element in Soils and plant. 3nd ed. CRC Press, USA, 413p.

14.Kirkham, M.B. 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. Geoderma. 137: 19-32.

15.Linsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons, New York, 412p.

16.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper, Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
17.Norvell, W.A., Wu, J., Hopkins, D.G., and Welch, R.M. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 2162-2168.
18.Pais, I., and Jones, J.B. 1997. The handbook of trace elements, St. Lucie Press, Boca Raton, Florida.
19.Pavilikova, D., Balik, J., and Tlustos, P. 2007. Effect of cadmium content in soil and crop rotation on cadmium accumulation in plant biomass. Eco. Chem. and Engine. 14: 363-369.
20.Renella, G., Adamo, P., Bianco, M.R., Landi, L., Violante, P., and Nannipieri, P. 2004. Availability and speciation of cadmium added to a calcareous soil under various managements. Eur., J. Soil Sci. 55: 123-133.
21.Walkley, A., and Black, I.A. 1934. 'An examination of the Degtjareff for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method', Soil Sci. 37: 29-38.
22.Wang, H.K. 1999. Heavy metal pollution in soils and its remedial measures and restoration in Mainland China. In P.M. Huang and I.K. Iskander (eds), Soils and Groundwater Pollution and Remediation, Lewis, USA.
23.Wangstrand, H., Eriksson, J., and Oborn, I. 2007. Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization, Euro. J. Agron. 26: 209-214.
24.Wegglern, K., McLaughlin, M.J., and Graham, R.D. 2004. Effect of chloride in soil solution and the plant availability of biosoilid-borne cadmium. J. Environ. Qual. 33: 496-504.
25.Westerman, R.L. (ED.). 1990. Soil Testing and Plant Analysis. SSSA. Madision, Wisconsin, USA, 3p.
26.Wu, J., Norvell, W.A., Hopkins, D.G., and Welch, R.M. 2002. Spatial variability of grain cadmium and soil characteristics in a durum wheat field. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 268-275.
27.Yong, R. 2001. Geoenviromental Engineering, Contaminated Soils. Pollutant Fate Mitigation, CRC Press, LIC, USA.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(2), 2012
http://jwfst.gau.ac.ir

Evaluation of main soil properties affecting Cd concentrations in soil and wheat grains on some calcareous soils of Khuzestan Province

A.R. Jafarnejadi[1], *M. Homaee[2], Gh.A. Sayyad[3] and M. Bybordi[2]

[1]Assistant Prof. of Agricultural and Natural Resources Research Center of Khuzestan, [2]Professor, Dept. of Soil Science, Tarbiat Modares University, [3]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University, Ahvaz

Received: 2009/12/16; Accepted: 2011/12/10

Abstract

Soil properties are influencing the amount and bioavailability of heavy metals in soil. Therefore, determining soil characteristics affecting cadmium (Cd) solubility and its uptake by plants are of great importance. The objective of this study was to evaluate the relations between main soil properties and Cd concentrations in soil and wheat grains in 4000 km^2 wheat farms. A number of 255 pair soil and grain coordinate samples were taken in an weighing sampling scheme. Some soil characteristics including pH. EC, CEC, organic carbon (OC), clay content, lime content (TNV), available P, soil Cd and grain Cd concentrations were measured. The results indicated that the average TNV in the studied soils was more than 46 percent. Average total and DTPA-extractable soil Cd and grain Cd concentrations were 1.47, 0.085, and 0.7 mg kg^{-1}, respectively. In the studied calcareous soils, total Cd concentrations had significant correlation with TNV ($P\leq0.01$), available P ($P\leq0.01$), CEC ($P\leq0.05$), and OC ($P\leq0.05$). The DTPA-extractable Cd had significant correlation with OC ($P\leq0.01$), pH, and clay content ($P\leq0.05$). Significant correlations were also found between grain Cd concentrations with OC ($P\leq0.05$), CEC ($P\leq0.01$), and DTPA-extractable Cd ($P\leq0.05$). However, the total Cd, soil pH and lime content (TNV) had no significant ($P\leq0.05$) correlations with wheat grain Cd in the study area. However, the correlations between soil properties and two wheat cultivars (Bread and Durum) were different. A significant ($P\leq0.01$) correlation was obtained between durum grain Cd and OC, CEC, and DTPA-extractable soils Cd. For bread Cd in grains, a significant ($P\leq0.01$) correlation was found between more soil properties, including OC, CEC, and DTPA-extractable Cd, TNV and clay content. The Pearson coefficient values for durum wheat cultivar shows that, the OC, CEC and Cd-DTPA had more effects on durum wheat than bread wheat cultivar. It could be concluded that plant-availability of soil Cd as effected by soil properties and wheat cultivar.

Keywords: Cadmium, Heavy metals, Calcareous, Soil, Wheat

* Corresponding Author; Email: mhomaee@hotmail.com