



## بررسی رابطه بین شکل‌های شیمیایی کادمیوم و جذب آن توسط گیاه گندم در برخی از خاک‌های آلوده استان خوزستان

بیژن رحمانی<sup>1</sup>، محمد مهدی طهرانی<sup>2</sup>، علی خانمیرزایی فرد<sup>3</sup>، کریم شهبازی<sup>2</sup>، کامبیز بازرگان<sup>2</sup>

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد خاک شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

2- اعضای هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب

3- عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

[b.rahmani2000@yahoo.com](mailto:b.rahmani2000@yahoo.com)

### چکیده

آلودگی خاک و آب با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه بر کاهش عملکرد و کیفیت محصولات، پایداری تولیدات کشاورزی را با چالش جدی مواجه و سلامت افراد جامعه را به خطر می اندازد. کادمیوم از جمله فلزات سنگینی است که پس از ورود به خاک در شکل‌های شیمیایی مختلف تشکیل شده و در یک تعادل دینامیکی قرار می‌گیرد. تعیین شکل‌های شیمیایی کادمیوم در خاک به منظور ارزیابی تحرک و اثرات ناسازگار کادمیوم در خاک بسیار مهم است. در این بررسی که بر روی 30 خاک آلوده به کادمیوم از شهرهای مختلف استان خوزستان انجام گرفت، شکل‌های شیمیایی کادمیوم با استفاده از تکنیک عصاره گیری متوالی بوسیله روش پیشنهادی اسپوزیتو مورد ارزیابی قرار گرفته و ارتباط بین هر شکل شیمیایی در جذب گیاه گندم بصورت یک آزمایش گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که میزان جذب کادمیوم توسط گیاه گندم همبستگی معنی داری در سطح 1% با شکل جذب سطحی شده کادمیوم در خاک دارد و با دیگر شکل‌های کادمیوم همبستگی معنی داری از لحاظ آماری ندارد

کلمات کلیدی: آلودگی، خوزستان، کادمیوم، گندم

### مقدمه

امروزه یکی از مسائل مهم جهانی آلودگی محیط زیست می باشد. خاک به عنوان قشر رویی سطح زمین، نگهدارنده و تغذیه کننده گیاه و یکی از اجزای مهم تشکیل دهنده محیط زیست، در این راستا نقش مهمی را بر عهده دارد. فلزات در خاک به شکل‌های شیمیایی مختلفی وجود دارند که اطلاع از این شکلها به درک بهتر دینامیک این فلزات در خاک کمک میکند. برخی از این شکلها به صورت قابل دسترس تر بوده و برخی دیگر غیر قابل جذب برای گیاهان میباشند(ما و اورن 1997). پس از ورود عناصر به خاک شکل‌های شیمیایی تشکیل شده در یک تعادل دینامیکی قرار می گیرد. شکل‌های شیمیایی همیشه در تعادل با هم بوده و برآیند آن تخمین بسیار خوبی از مقدار قابل استفاده آنها برای گیاه را مشخص می سازد (سرکار و دب 1982). بنابراین فراهمی این عناصر برای گیاه بیش از آنکه به مقدار کل این عناصر در خاک وابسته باشد به تعادل های شیمیایی بین شکل‌های مختلف آنها بستگی دارد (ینگار و همکاران، 1981). با توجه به وجود عناصر سنگین حاصل از آلودگیهای صنایع مختلف نفت و پتروشیمی و اثرات سلاحهای مورد استفاده در جنگهای به وقوع پیوسته منطقه خلیج فارس، در خاکهای ایران، همیشه این دغدغه وجود



داشته که اثرات این عناصر آلاینده در کشتهای بعدی چگونه بوده و تا چه حدی به صورت شکل‌های قابل جذب برای گیاه و یا به شکل‌های دیگر باعث آلودگیهای وسیع زیست محیطی می شود؟  
این تحقیق با هدف بررسی رابطه شکل‌های مختلف شیمیایی کادمیوم به عنوان یکی از عناصر سنگین و آلاینده که نقش مهمی در آلودگی خاکها ایفا می نماید، با جذب آن توسط گیاه گندم در برخی از خاکهای آلوده استان خوزستان انجام گرفت. میزان جذب عنصر کادمیوم توسط گیاه گندم و میزان کادمیم آلاینده عصاره گیری شده از هر گونه شیمیایی می تواند ما را به شناخت درجه آلاینده‌گی و تعادلات موجود بین شکل‌های شیمیایی عنصر آلاینده و گیاه رهنمون نماید.

### مواد و روشها

30 نمونه از خاکهای سطحی (عمق صفر تا 30 سانتی متر) از مناطق مختلف استان خوزستان برداشت گردید. پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها و عبور دادن آنها از الک 2 میلی‌متری، آزمایشات مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عصاره‌گیری متوالی بر روی آنها طبق روشهای معمول انجام گرفت. شکل‌های شیمیایی کادمیوم (تبادلی، جذب سطحی شده، آلی، کربناتی و باقیمانده) در تمامی خاکها با در نظر گرفتن سه تکرار تعیین گردید. جهت تعیین شکل‌های شیمیایی کادمیوم در خاک از روش (اسپوزیتو و همکاران 1982)، که تغییر شکل یافته روش (استور و همکاران 1976) می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. لازم به یادآوری است که در این روش عناصر به صورت‌های قابل تبادل، جذب سطحی شده، آلی، کربناتی و باقیمانده تقسیم‌بندی گردیده است. پس از عصاره‌گیری براساس روش فوق، مقدار کادمیوم در هر مرحله توسط دستگاه ICP (پلاسمای دوتایی القایی) و دستگاه جذب اتمی (AAS) تعیین گردید. مقدار کادمیوم استخراج شده به وسیله ماده عصاره‌گیر از معادله زیر محاسبه گردید (اسپوزیتو و همکاران 1982):

$$Cd = \frac{(C \times V) - (C' \times V')}{m} \quad [1]$$

که در این معادله Cd مقدار کادمیوم استخراج شده در هر گرم خاک بر حسب میکروگرم، C غلظت کادمیوم بر حسب میکروگرم در هر میلی‌لیتر محلول عصاره‌گیری شده، C' غلظت کادمیوم بر حسب میکروگرم در هر میلی‌لیتر محلولی که از مرحله قبل باقیمانده، V حجم محلول عصاره‌گیر بکار رفته (در مراحل F<sub>1</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub> 25 میلی لیتر و در مرحله F<sub>2</sub> 75 میلی لیتر)، m وزن نمونه خاک بکار رفته بر حسب گرم و V' حجم محلول باقیمانده بر حسب میلی لیتر، از عصاره قبلی که به مرحله بعد منتقل شده و بدین ترتیب تعیین می‌گردد که بعد از هر مرحله عصاره‌گیری، سانتریفیوژ و صاف کردن، خاک درون ظرف همراه با باقیمانده محلول عصاره‌گیر، توزین و بعد از کسر نمودن وزن خاک، وزن محلول باقیمانده بر حسب گرم (M) مشخص و با اندازه‌گیری وزن مخصوص عصاره‌گیر (d) در آزمایشگاه تعیین می شود) که در جدول 1 آمده است، حجم محلول باقیمانده مشخص می‌شود:

$$V = \frac{M}{d} \quad [2]$$



جدول 1. دستور و ترتیب روش عصاره‌گیری متوالی و مشخصات شکل کادمیوم استخراج شده

ماده	غلظت عصاره‌گیر (مولار)	وزن مخصوص (گرم بر میلی‌لیتر)	زمان به تعادل رسیدن (ساعت)	مشخصات شکل‌های شیمیایی کادمیوم*
KNO <sub>3</sub>	0/5	1/02	16	تبادلی
H <sub>2</sub> O	-	0/99	2	**جذب سطحی شده
NaOH	0/5	1/01	16	آلی
Na <sub>2</sub> EDTA	0/05	1/00	6	کربناته
HNO <sub>3</sub>	4/00	1/12	16	باقیمانده

\* شکل شیمیایی استخراج شده لزوماً بدین معنی نیست که کادمیوم تنها در این شکلها می‌باشد، بلکه شکلی است که تصور می‌رود بوسیله مواد عصاره‌گیر فوق استخراج شده باشد.

\* سه مرتبه عصاره‌گیری شد.

پس از تهیه مقدار کافی از نمونه های خاک مورد نظر از عمق صفر تا 30 سانتی متر و خشک کردن آنها در هوا و عبور از الک 5 میلی‌متری، مقدار 5 کیلوگرم از هر خاک (در سه تکرار) توزین شد و داخل کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. سپس کیسه های حاوی خاک به گلخانه منتقل و خاک آنها در گلدانهای 7/5 کیلوگرمی ریخته شد. در گلخانه آزمایش با سه تکرار (30 خاک در سه تکرار جمعاً 90 گلدان) در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. در هر گلدان 10 عدد بذر گندم رقم پیشتاز کاشته شد. گیاهان به مدت 13 هفته رشد داده شدند. در طول مدت رشد تا رسیدن به ظرفیت زراعی (FC) آبیاری به صورت دوره ای انجام گرفت. جهت تعیین مقدار کادمیوم کل در گیاه از روش هضم تر (مخلوط سه اسید) استفاده شد. در خاتمه مراحل هضم غلظت کادمیوم در نمونه ها توسط دستگاه ICP (پلاسمای دوتایی القایی) تعیین گردید.

اطلاعات گردآوری شده توسط نرم افزارهای Excel, Minitab, SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. همبستگی بین انواع شکل‌های مختلف شیمیایی عنصر کادمیم با میزان جذب آن توسط گیاه گندم بوسیله مدل‌های رگرسیونی چند متغیره انجام گرفت.

## نتایج و بحث

### همبستگی شکل‌های شیمیایی کادمیوم با یکدیگر و با جذب آن توسط گیاه گندم

همبستگی شکل‌های شیمیایی کادمیوم با یکدیگر و با جذب آن توسط گیاه گندم در جدول 2 نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد شکل تبادلی کادمیوم با هیچ یک از شکل‌های دیگر کادمیوم و با جذب کادمیوم توسط گیاه همبستگی معنی داری نشان نداده است. شکل جذب سطحی شده کادمیوم با شکل آلی همبستگی مثبت معنی دار در سطح 5% و با شکل باقیمانده همبستگی منفی معنی دار در سطح 1% و با جذب گیاهی همبستگی مثبت معنی دار در سطح 1% نشان داده است. شکل آلی کادمیوم با شکل جذب سطحی شده همبستگی مثبت معنی دار در سطح 5% و با شکل‌های کربناتی و باقیمانده همبستگی منفی معنی دار در سطح 5% نشان داده است. شکل کربناتی کادمیوم تنها با شکل آلی همبستگی منفی معنی دار در سطح 5% نشان داده است. شکل باقیمانده کادمیوم با شکل جذب



سطحی شده همبستگی منفی معنی دار در سطح 1% و با شکل آلی همبستگی منفی معنی دار در سطح 5% نشان داده است. جذب کادمیوم توسط گیاه گندم تنها با فرم شکل سطحی شده کادمیوم همبستگی مثبت معنی دار نشان داده است و با هیچ یک از دیگر شکل‌های شیمیایی کادمیوم همبستگی معنی دار نشان نداده است.

همبستگی شکل‌های شیمیایی کادمیوم با یکدیگر و با جذب آن توسط گیاه گندم

جذب گیاهی	باقیمانده	کربناتی	آلی	جذب سطحی	تبادلی
جذب	-	-	-	-	-0/056
آلی	-	-	-	0/441*	-0/038
کربناتی	-	-	-0/442*	-0/099	-0/160
باقیمانده	-	0/306	-0/383*	-0/465**	-0/248
جذب گیاهی	-0/074	0/199	0/240	0/472**	0/094

\*، \*\* به ترتیب همبستگی در سطح پنج درصد و یک درصد می باشد

### مدل رگرسیون اشکال شیمیایی کادمیوم با جذب آن توسط گیاه گندم

معادله رگرسیونی ساده و چند متغیره بین شکل‌های شیمیایی کادمیوم با جذب آن توسط گیاه گندم در جدول آمده است. در این معادله، جذب کادمیوم توسط گیاه گندم به عنوان متغیر وابسته و شکل‌های شیمیایی کادمیوم به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده اند.

جدول 3. رگرسیون شکل‌های شیمیایی کادمیوم با جذب آن توسط گیاه گندم

مدل رگرسیون شکل‌های شیمیایی کادمیوم با خصوصیات خاک	$\bar{R}$
$Cd_{\text{uptake}} = 0.239F_1 + 0.506F_2 + 0.257F_3 + 0.334F_4 + 0.217F_5$	24.3%*

\* همبستگی در سطح پنج درصد می باشد

نتایج رگرسیون متغیر وابسته جذب کادمیوم بر حسب متغیرهای مستقل مورد مطالعه نشان می دهد که تنها، شکل شیمیایی کادمیوم جذب سطحی شده نقش مثبت معنی داری از لحاظ آماری در تعیین مقدار جذب کادمیوم توسط گیاه گندم دارد و بقیه شکل‌های شیمیایی اگرچه دارای نقش مثبت در تعیین مقدار جذب کادمیوم توسط گیاه هستند اما این نقشها از لحاظ آماری معنی دار نمی باشند. ضریب تبیین تصحیح شده نشان می دهد که حدود 25% از تغییرات مقدار جذب کادمیوم توسط گیاه بوسیله متغیرهای مستقل توجیه می شود.

### قدردانی

جا دارد که مراتب تشکر و سپاسگزاری خود را از موسسه تحقیقات خاک و آب اعلام نمایم که در انجام تحقیق و در اختیار گذاشتن مواد مورد نیاز جهت انجام تحقیق فوق نهایت همکاری را با اینجانب بعمل آوردند.



دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران  
تبریز، 12 الی 14 شهریور 1390  
(شیمی و آلودگی خاک و سلامت محیط زیست)

#### منابع

- Iyengar SS, Martens DC, and Miller WP, 1981. Distribution and plant availability of soil zinc fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45: 735-739
- Ma YB, and Uren NC, 1997. The fate and transformation of zinc added to soil, *Aust. J. Soil. Res.*, 35: 727-738.
- Sarka AK, and Deb DL, 1982. Zinc fractions in rice soils and their contribution to plant uptake. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 30: 63-69.
- Sposito G, Lund LJ, and Chang AC, 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractiovation of Ni, Cu, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 260-264