

## پتانسیل نهشته‌های رسی طبیعی در جلوگیری از ورود کادمیم به گیاه کلزا

طاهره سادات طالقانی\*، حسین خادمی و مجید افیونی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۲۸)

### چکیده

یکی از راه‌های جلوگیری از ورود آلودگی ناشی از تجمع فلزات سنگین خاک به داخل گیاهان تثبیت این عناصر توسط رسوبات رسی در خاک‌های آلوده می‌باشد. این مطالعه با هدف بررسی پتانسیل رسوبات حاوی رس‌های اسمکتیت و پالیگورسکیت در جذب کادمیم و جلوگیری از ورود این فلز به داخل گیاه کلزا انجام شد. نمونه برداری رسوبات از دو منطقه واقع در استان اصفهان صورت گرفت. پس از تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های رسوب، مشخص شد کانی غالب در رسوب ۱ پالیگورسکیت و در رسوب ۲ اسمکتیت است. آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل یک گلدان ۸۰۰ گرمی با سه بوته بود. در ۲۷ گلدان، رس به عنوان بستر کشت و شن کوارتزی به‌عنوان پرکننده با نسبت ۵ درصد به صورت رس ۱ (پالیگورسکیت غالب) + شن کوارتزی، رس ۲ (اسمکتیت غالب) + شن کوارتزی و شن کوارتزی (شاهد) خالص ریخته شد. برای آلوده کردن خاک با کادمیم از نمک کلرید کادمیم با غلظت‌های صفر، ۲/۵ و ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم استفاده شد. آزمایش گلدانی ثابت کرد استفاده از رس‌هایی با کانی‌های غالب پالیگورسکیت و اسمکتیت برای تثبیت کادمیم در خاک‌های آلوده و جلوگیری از ورود آن به گیاه بسیار مفید است. کانی رسی اسمکتیت، نسبت به پالیگورسکیت میزان بیشتری از فلز کادمیم را جذب کرد. گیاهان کاشته شده در گلدان‌های حاوی رس اسمکتیت رشد رویشی بهتری نسبت به گلدان‌های حاوی رس پالیگورسکیت و شاهد داشتند.

واژه‌های کلیدی: رسوبات رسی، اسمکتیت، پالیگورسکیت، کادمیم، کلزا

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: tahereh\_taleghani@yahoo.com

## مقدمه

آلودگی زیست محیطی به خصوص آلودگی عناصر شیمیایی یکی از عوامل اصلی تخریب زیست کره محسوب می شود (۲). عناصر سنگین، از جمله مهم ترین آلاینده های محیط زیست به ویژه خاک و گیاه به شمار می روند که در چند دهه اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته اند. آلودگی خاک به فلزات سنگین موجب ورود این عناصر به زنجیره غذایی شده و ضمن کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولیدات کشاورزی و سلامت افراد جامعه را با خطر مواجه می کند (۱۷). فلزات سنگین موجود در خاک، جذب ریشه گیاهان شده و در اندام های مختلف گیاهی توزیع می شوند (۱۱ و ۳۳). غلظت این عناصر با افزایش در خاک، در گیاهان نیز افزایش می یابد که این افزایش، در اندام های مختلف گیاهی متفاوت بوده و بسته به نوع عنصر و گیاه کشت شده متغیر می باشد (۵ و ۲۲). در میان فلزات سنگین، کادمیم به میزان قابل توجهی جذب می شود و با افزایش این فلز در خاک، غلظت آن در گیاهان به طور محسوسی افزایش پیدا می کند (۱۵). هم اکنون از روش های مختلفی برای جلوگیری از ورود آلودگی ناشی از تجمع فلزات سنگین خاک به داخل گیاهان و نیز آب های زیرزمینی استفاده می شود که شامل روش های بیولوژیکی، روش های شیمیایی و استفاده از سطوح جاذب فعال می باشد (۳۱).

سطوح جاذب معدنی که عمدتاً شامل ذرات رس خاک می باشند پتانسیل خوبی برای جذب و کاهش تحرک آلاینده ها در خاک دارند؛ زیرا این مواد ارزان، طبیعی و قابل دسترس هستند. یکی از این رس ها زئولیت است که می تواند گستره ای از فلزات سنگین شامل سرب، مس، روی، کادمیم، نیکل و نقره را از آب آلوده جذب کند (۲۸). کانی های رسی خاک با قابلیت جذب و تبادل کاتیونی، تعداد زیادی از عناصر سمی را جذب و از دسترس گیاه خارج می سازند (۳۰). این عمل توسط مکانیسم های تبادل یونی و جذب سطحی انجام می گیرد (۸ و ۱۷). امروزه استفاده از ذرات ریز رس در جذب و کاهش تحرک آلاینده ها در خاک تحت عنوان استفاده از فناوری نانو در

حذف آلاینده ها از محیط های آبی در حال انجام می باشد. باید توجه داشت که استفاده از فناوری نانو در این عرصه جنبه های مختلفی را در بر می گیرد که یکی از جنبه های کاربردی آن استفاده از خاصیت جذب آلاینده ها روی سطوح جاذب می باشد. روش اخیر از جمله روش هایی است که در سال های اخیر مورد توجه محققان زیادی در کشور قرار گرفته ولیکن هنوز به صورت عملی مورد استفاده قرار نگرفته است (۳). بنابراین شناسایی جاذب های رسی در جهت کنترل و پیشگیری از آلودگی منابع آب و خاک ضروری می باشد. در بین کانی های رسی اسمکتیت و پالیگورسکیت پتانسیل بالایی در جذب فلزات سنگین دارند. اسمکتیت ها از سیلیکات های لایه ای ۲:۱ با بار الکتریکی ۰/۲۵ تا ۰/۶ در واحد فرمولی هستند. این کانی ها به علت بار لایه ای کم، به طور آزاد منبسط می شوند. گروه اسمکتیت ها از کانی های رسی مختلفی تشکیل شده اند که از مهم ترین آنها مونتموریلونیت سدیم دار و مونتموریلونیت کلسیم دار است (۱۴). کانی های رسی همانند مونتموریلونیت به علت دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا به عنوان جاذب فلزات سنگین مورد استفاده قرار می گیرند (۲۰). سوراج و همکاران در تحقیقی مشخص کردند که کائولینیت و مونتموریلونیت برای خارج سازی فلزات سنگینی مانند Cd و Cu از محلول های آبی بسیار مستعد هستند (۲۶).

پالیگورسکیت به علت داشتن ساختمان متخلخل، سطح ویژه بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی ۲۰-۵ سانتی مول بر کیلوگرم و نیز بار الکتریکی، کاربردهای وسیعی در صنعت و محیط زیست دارد (۳۲). پاتجیتر و همکاران اعلام کردند کاتیون های فلزی سنگین را می توان توسط رس های پالیگورسکیت از محلول های آبی خارج نمود (۲۱). اسمکتیت و پالیگورسکیت به همراه کانی های سیلیکاتی لایه ای دیگر در رسوبات رسی مناطق خشک و نیمه خشک به میزان زیادی وجود دارد (۱۹). از منظر زمین شناسی، ایران در یک حوضه رسوبی واقع شده که از نظر اشتوکلین تشکیلات این مناطق از رسوبات رسی فراوانی ایجاد شده است. با توجه به وفور این نهشته های رسی که عمدتاً سن

برای برقراری توازن آلودگی در همه نقاط بستر، پس از اعمال آلودگی، بستر حاوی مخلوط رس و شن کوارتزی یا شن کوارتزی خالص (در گلدان‌های شاهد) هوا خشک و مخلوط شده و دوباره به گلدان‌ها باز گردانده شد. با توجه به این‌که کلزا گیاهی است که در جذب عناصر سنگین از خاک مستعد است در هر گلدان ۶ عدد بذر کلزای معمولی (*Brassica napus*) کشت شد. این آزمایش در گلخانه، به صورت فاکتوریل (۳×۳) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. فاکتورها شامل غلظت کادمیم در سه سطح صفر، ۲/۵ و ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و محیط رشد در ۳ سطح شامل شن کوارتزی (شاهد)، شن کوارتزی + رس ۱ (بخش رس رسوبات با غالبیت پالیگورسکیت) و شن کوارتزی + رس ۲ (بخش رس رسوبات با غالبیت اسمکتیت) بود. در مراحل اولیه محلول غذایی جانسون به صورت خنثی (۱۸) به همراه آب مقطر هفته‌ای دو مرتبه و در مرحله چند برگی دو روز یک مرتبه از این محلول به گیاهان داده شد. پس از گذشت ۸۰ روز از کشت، گیاه را به طور کامل از گلدان خارج کرده و قسمت هوایی هر گیاه از ریشه آن جدا گردید و مورد آنالیز قرار گرفت. پس از خشک کردن نمونه‌های گیاهی در آون و آسیاب کردن، با هضم به روش سوزاندن خشک و استفاده از اسید کلریدیک ۲ نرمال غلظت کادمیم در آنها توسط دستگاه جذب اتمی (پرکین‌المر ۳۰۳۰) اندازه‌گیری شد. هم‌چنین در انتهای آزمایش برای تعیین غلظت قابل جذب کادمیم در بستر گیاه، پس از عصاره‌گیری و سانتریفیوژ نمونه‌ها، غلظت کادمیم به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۲۵). تجزیه واریانس اطلاعات حاصل به کمک نرم افزار SAS و رسم نمودارها به وسیله نرم افزار Excel صورت گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون LSD استفاده گردید.

## نتایج و بحث

۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های رسوب مورد استفاده  
برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دو نمونه رسوب رسی

پالئوسن، الیگومیوسن، پلیوسن یا میوپلیوسن دارند (۴) و در قسمت‌های مرکزی کشور به خصوص استان اصفهان فراوان هستند (۱۹)، به نظر می‌رسد استفاده از رسوبات رسی جهت تثبیت آلاینده‌ها در خاک اقتصادی باشد. بنابراین اهداف این پژوهش عبارت‌اند از: (۱) امکان‌سنجی استفاده از بخش رس دو نوع رسوب رسی فراوان و ارزان در جذب کادمیم و جلوگیری از جذب این فلز توسط گیاهان (۲) بررسی تأثیر غلظت کادمیم بر جذب آن توسط گیاهان در حضور مواد جاذب.

## مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری رسوبات حداقل از ۳۰ نقطه در استان اصفهان انجام و پس از بررسی در نهایت ۲ نقطه انتخاب شد. بخش زیر ۲ میلی‌متر نمونه‌های رسوب که بعد از خشک کردن در هوا و عبور از الک به دست آمد، مورد تجزیه فیزیکی قرار گرفت. میزان رس نمونه‌های رسوب نیز با روش پیت تعیین شد (۲۵). پس از جداسازی شن و حذف گچ و کربنات‌ها از نمونه‌های رسوب، بخش رس تفکیک و با استفاده از روش پراش پرتو ایکس به منظور تشخیص کانی غالب، نوع رس تعیین و سپس در آزمایش گلدانی مورد استفاده قرار گرفت. جهت انجام آزمایش گلدانی علاوه بر دو نوع رس جدا شده از رسوبات به عنوان ماده جاذب در بستر کشت، از شن کوارتزی به عنوان ماده پرکننده گلدان‌ها و هم‌چنین نمونه شاهد استفاده شد. کوارتز پس از تجزیه عنصری (جدول ۱) آماده استفاده جهت کشت گلدانی گردید. در این آزمایش از ۲۷ گلدان با ظرفیت ۸۰۰ گرم استفاده شد. در هر گلدان ۶۰۰ گرم از بستر رشد ریخته شد که در همه تیمارها به غیر از تیمارهای شاهد، نسبت رس به شن کوارتزی ۵ درصد در هر گلدان بود. در تیمارهای شاهد فقط شن کوارتزی قرار داده شد. سپس به منظور برقراری شرایط آلودگی خاک از نظر کادمیم در ۶۰۰ گرم خاک موجود در هر گلدان، غلظت این فلز با استفاده از محلول ۰/۰۱ نرمال CdCl<sub>2</sub> از صفر به ۲/۵ و ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسانده شد.

جدول ۱. ویژگی‌های شن کوارتزی استفاده شده به عنوان پرکننده بستر کشت ( واحد عناصر بر حسب درصد می‌باشد)

Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
≤۰/۱	۰/۱۱	۰/۳۶	۹۷/۵۳	≤۰/۱	۰/۶۱	۰/۵۷	۹۹/۸۶

جدول ۲. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های رسوب مورد بررسی

کانی‌های رسی همراه *	کانی رسی غالب	درصد رس	EC (dSm <sup>-1</sup> )	CEC (cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	گل اشباع pH	درصد آهک	نمونه
Ch S K Q	پالیگورسکیت	۱۷	۲۶۰	۱۸/۷۸	۷/۲	۲۰/۰	رسوب ۱
S Ch Q K	اسمکتیت	۵۵	۱۴	۷۴/۵	۷/۹	۶/۵	رسوب ۲

Ch: کلریت، S: اسمکتیت، K: کائولینیت، Q: کوارتز

EC: هدایت الکتریکی

کادمیم بیش از سایر کاتیون‌های فلزی سنگین توسط این کانی از فاضلاب استخراج می‌شود (۷). سرانو و همکاران نیز ثابت کردند که جذب کادمیم و سرب توسط اسمکتیت خیلی بیشتر از کائولینیت و ایلیت می‌باشد (۲۳).

#### ب) اثر غلظت بر کادمیم اندام هوایی و ریشه

اثر سطوح مختلف غلظت کادمیم بستر گیاهان بر میزان کادمیم اندام هوایی و ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. به عبارت دیگر غلظت‌های متفاوت این نمک، بر میزان کادمیم گیاه تأثیر متفاوتی نهاده‌اند. به طوری که با افزایش غلظت از صفر به ۲/۵ و ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش معنی‌داری در کادمیم اندام هوایی گیاه دیده شد. کادمیم اندازه‌گیری شده در ساقه کلزا به طور معنی‌داری در غلظت ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشتر از غلظت صفر و ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم بود (شکل ۲). ونگ و همکاران گزارش دادند که با افزایش غلظت اولیه کادمیم در محلول، جذب این فلز توسط کانی‌های رسی افزایش می‌یابد (۲۷). میزان کادمیم ریشه کلزا در غلظت‌های ۲/۵ و ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم تفاوت معنی‌داری نسبت به یکدیگر نداشتند، اما نسبت به شاهد

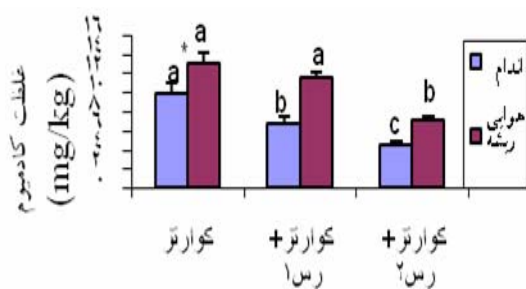
مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است. رسوب شماره یک دارای کانی پالیگورسکیت به صورت غالب و رسوب شماره دو دارای کانی اسمکتیت به صورت غالب است (۱).

#### ۲. پتانسیل نهشته‌های رسی در جلوگیری از ورود کادمیم به

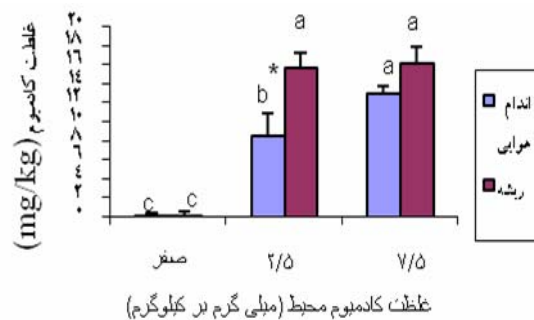
##### گیاه کلزا

##### الف) اثر نوع رس بر کادمیم اندام هوایی و ریشه

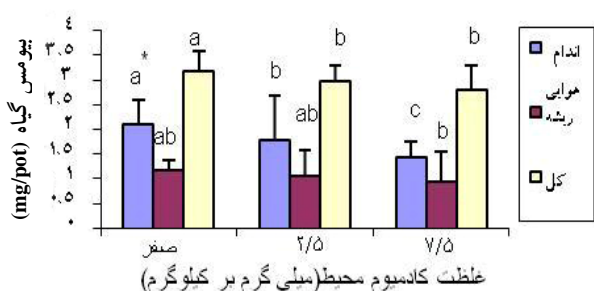
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع رس در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر میزان کادمیم اندام هوایی و ریشه گیاه کلزا داشته است. میزان بیشتر کادمیم گیاه در تیمار شاهد (شکل ۱) را می‌توان به عدم وجود ظرفیت تبادل کاتیونی کوارتز نسبت داد. کادمیم موجود در اندام هوایی و ریشه گیاه در گلدان‌های حاوی رس ۱ بیشتر از رس ۲ و کمتر از شن کوارتزی بود (شکل ۱). این امر نشان‌دهنده پایین‌تر بودن ظرفیت تبادل کاتیونی پالیگورسکیت نسبت به اسمکتیت می‌باشد (۱۳). در همین راستا شیروانی و همکاران (۲۴) نشان دادند که ظرفیت جذب کادمیم توسط سپیولیت بیشتر از پالیگورسکیت می‌باشد. همچنین طی آزمایشی مشخص شد اگر مقدار ۴/۵۴ میلی‌گرم بر گرم رس پالیگورسکیت برای پالایش فاضلاب به کار رود،



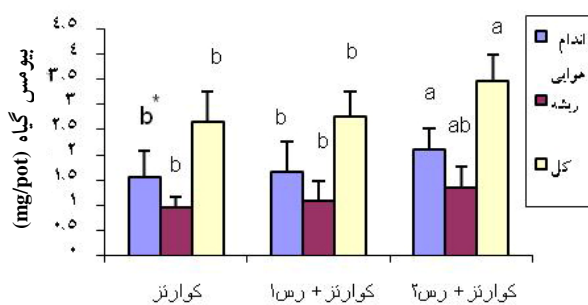
شکل ۲. اثر غلظت کادمیم در بستر کشت بر غلظت آن در اندام هوایی و ریشه گیاه کلزا



شکل ۱. اثر نوع رس بر کادمیم اندام هوایی و ریشه گیاه کلزا



شکل ۴. اثر غلظت کادمیم بستر بر میزان زیست توده کل، اندام هوایی و ریشه گیاه کلزا



شکل ۳. اثر نوع رس بر زیست توده کل، اندام هوایی و ریشه گیاه کلزا

گرفتن این سطوح با کادمیم، منجر به افزایش جذب توسط این کانی و جلوگیری از ورود این فلز به داخل گیاه شده است (۶). به تبع این فرآیند میانگین غلظت کادمیم در گیاه کاهش یافته و در نتیجه زیست توده گیاه نسبت به تیمارهای دیگر افزایش یافته است. در این باره بدوئی طی آزمایشی ثابت کرد اسمکتیت می‌تواند مقدار قابل توجهی کادمیم را از محلول‌های آبی خارج سازد (۹). نتایج نشان داد که زیست توده گیاهان شاهد کمتر از گیاهان کشت شده در بسترهای حاوی رس ۱ و رس ۲ است. به نظر می‌رسد کوارتز به علت عدم توانایی در جذب و نگهداری کادمیم، نتوانسته است از ورود این عنصر به داخل گیاه جلوگیری کند. بنابراین زیست توده تحت اثر منفی کادمیم قرار گرفته و نسبت به دو بستر دیگر که دارای رس بودند کاهش یافته است.

غلظت صفر) تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. با مقایسه میانگین‌های کادمیم اندام هوایی و ریشه مشخص شد که میزان این فلز در ریشه گیاه بیشتر بوده است (شکل ۲).

### ج) اثر نوع رس بر زیست توده کل، اندام هوایی و ریشه گیاه

اثر نوع رس بر زیست توده اندام هوایی و ریشه به ترتیب در سطح یک درصد و پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین بسترهای حاوی شن کوارتزی (شاهد) و شن کوارتزی + رس ۱ با شن کوارتزی + رس ۲ وجود دارد. به طوری که گیاهان کشت شده در گلدان‌های حاوی رس ۲ دارای بیشترین میزان زیست توده در هر سه بخش بودند (شکل ۳). ظاهراً وجود سطوح داخلی و خارجی زیاد در کانی اسمکتیت و در معرض قرار

### د) اثر غلظت کادمیم بر زیست توده کل، اندام هوایی و ریشه گیاه

سطوح مختلف غلظت کادمیم (صفر، ۲/۵ و ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بر زیست توده کل و اندام هوایی در سطح یک درصد و بر زیست توده ریشه در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار داشت. به طور کلی ثابت شد با اعمال غلظت ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم زیست توده هر سه بخش گیاه کاهش یافت (شکل ۴). دلیل و همکاران نشان دادند که با افزایش عناصر سنگین در خاک غلظت این عناصر در گیاهان نیز افزایش می‌یابد (۱۲). احتمالاً کاهش زیست توده گیاهان در اثر افزایش کادمیم، ناشی از تاثیر منفی این عنصر بر رشد و نمو سلولی گیاه می‌باشد. معمولاً فلزات سنگین از طریق واکنش با کمپلکس آنزیم - سوبسترا و تخریب پروتئین آنزیمی سبب اختلال در فعالیت آنزیمی میکروارگانیسم‌های خاک شده که این امر به نوبه خود کاهش رشد گیاه را به دنبال خواهد داشت (۱۰). کاهو مانند کلزا جزء گیاهانی است که کادمیم به میزان زیادی در بافت‌های آن تجمع پیدا می‌کند. بر طبق گزارش‌های موجود رابطه مثبتی بین کاهش رشد کاهو (تا ۲۵٪) و افزایش بیش از حد فلز کادمیم در خاک وجود دارد (۵). مقایسه میانگین‌های زیست توده سه بخش گیاه نشان می‌دهد که کاهش زیست توده در اثر افزایش غلظت از صفر به ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشت، اما این تفاوت با اعمال غلظت ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم معنی‌دار نشد (شکل ۴). این موضوع بدین معنی است که افزایش غلظت در حد ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای تاثیر منفی قابل توجهی می‌باشد.

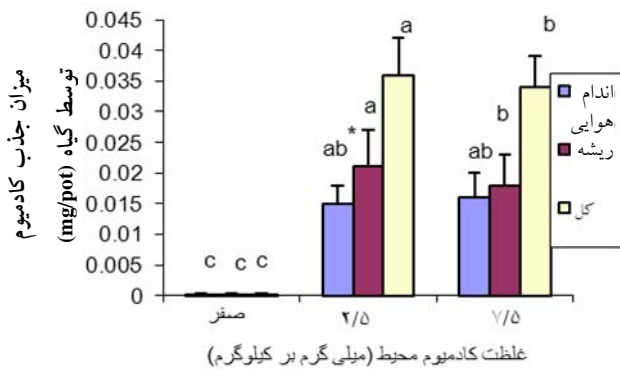
### ه) اثر نوع رس بر میزان جذب کادمیم توسط گیاه

نتایج تجزیه واریانس جذب کادمیم توسط کل گیاه کلزا نشان داد که نوع رس بر میزان جذب کادمیم تأثیر معنی‌دار داشت. به عبارت دیگر کانی‌های پالیگورسکیت و اسمکتیت موجود در رسوبات ۱ و ۲ بر میزان جذب کادمیم تأثیر متفاوتی نهاده‌اند. میانگین جذب توسط اندام هوایی و جذب توسط کل

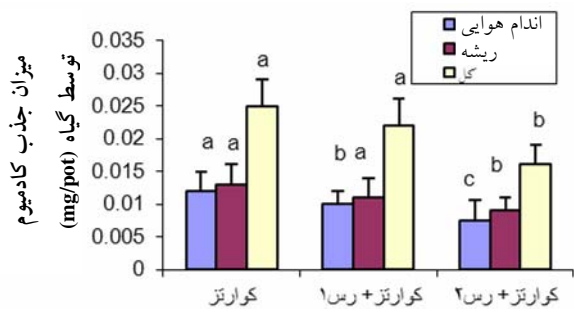
زیست توده گیاه کلزا نشان داد که این صفات در گیاهان کشت شده در گلدان‌های حاوی شن کوارتزی- رس ۲ دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به دو تیمار دیگر بودند (شکل ۵). همچنین میانگین صفات گفته شده در گیاهانی که در گلدان‌های حاوی رس ۱ کاشته شده بودند نسبت به گلدان‌های شاهد (شن کوارتزی) کمتر بود اما این اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۵). محققین اثبات کردند که رس‌های کائولینیت و مونتوریلونیت پتانسیل بالایی برای جذب کادمیم از محیط‌های آبی دارند (۲۹). بتونیت نیز برای جذب فلزات سنگین از محلول‌های آبی استفاده می‌شود (۶ و ۱۶). سورج و همکاران در تحقیقی مشخص کردند که کائولینیت و مونتوریلونیت برای خارج‌سازی فلزات سنگینی مانند نیکل، کادمیم و سرب از محلول‌های آبی مستعد هستند (۲۶). الوارز آیوسو (۷) طی آزمایشی ثابت کرد وقتی محلولی حاوی فلزات روی، سرب، مس و کادمیم را از ستونی حاوی مقادیر مختلفی از پالیگورسکیت عبور دهیم، جذب این فلزات با افزایش میزان کانی افزایش خواهد یافت و نیز کادمیم بیش از دیگر فلزات جذب این کانی می‌شود.

### ی) اثر غلظت بر میزان جذب کادمیم توسط گیاه

اثر غلظت (صفر، ۲/۵ و ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بر میزان جذب کادمیم توسط اندام هوایی، ریشه و مجموع این دو بخش گیاه معنی‌دار شد. میزان جذب کادمیم در غلظت ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشتر از صفر و ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، به طوری که این اختلاف در هر سه سطح غلظت معنی‌دار بود (شکل ۶). غلظت اولیه کادمیم بر میزان جذب آن تأثیر می‌گذارد. با افزایش غلظت کادمیم، جذب افزایش خواهد یافت (۲۷). چنین به نظر می‌رسد که افزایش غلظت تا حد معینی موجب افزایش جذب کادمیم خواهد شد و اگر بیشتر از این حد شود گیاه با ساز و کارهایی از افزایش جذب فلز جلوگیری می‌کند. با در نظر گرفتن این که افزایش زمان تماس کانی با محلول حاوی فلز سنگین تا حد خاصی موجب افزایش



شکل ۶. اثر غلظت بر میزان جذب (uptake) کادمیم توسط گیاه کلزا (uptake)



شکل ۵. اثر نوع رس بر میزان جذب کادمیم توسط گیاه کلزا

\*: در اندام هوایی یا ریشه گیاه، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD می‌باشند.

کادمیم به داخل گیاه حتی در غلظت‌های بالای این فلز جلوگیری کرد و گیاهان کشت شده در بستر حاوی این رس تا پایان دوره آزمایش رشد خوبی داشتند. هم‌چنین با افزایش غلظت کادمیم در بستر کشت، میزان جذب آن توسط گیاه نیز افزایش پیدا کرد و تجمع کادمیم در ریشه گیاهان کشت شده بیشتر از اندام هوایی آنها بود. بر این اساس زو و همکاران ثابت کردند توزیع فلزات سنگین در گیاه به ترتیب در ریشه < برگ < ساقه < بذر کاهش می‌یابد که کلزا در مقایسه با گیاهان انباشتگری مثل ذرت، کاهو و اسفناج، به دلیل رشد سریع، زیست توده زیاد و مقاومت بالا در مقابل غلظت زیاد فلزات سنگین، بافت‌های مستعدتری برای تجمع عناصر سنگین دارا می‌باشد (۲۹).

جذب می‌شود (۱۶)، می‌توان گفت که اگر مدت زمان آزمایش افزایش می‌یافت احتمال افزایش جذب در غلظت ۷/۵ بیشتر از ۲/۵ می‌شد.

### نتیجه‌گیری

کاربرد نهشته‌های رسی حاوی پالیگورسکیت و اسمکتیت توانست تا حد نسبتاً زیادی از ورود کادمیم به داخل گیاه جلوگیری کند. صفات اندازه‌گیری شده طی آزمایش گلدانی توانستند آثار کانی‌های رسی را در گیاه مورد مطالعه به خوبی نشان دهند. این نتایج گویای آن است که اگرچه پالیگورسکیت در جذب کادمیم ضعیف‌تر از اسمکتیت عمل کرد ولی توانست تا حدودی از ورود این فلز به داخل گیاه جلوگیری کند. کانی اسمکتیت به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بسیار زیاد، از ورود

### منابع مورد استفاده

۱. افیونی، م. و ح. خادمی. ۱۳۸۶. اثر کلوئیدهای رسی (Nanoclay) در کنترل و انتقال فلزات سمی به منابع آب و خاک در استان اصفهان، طرح نانو تکنولوژی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. کریمی، م. ۱۳۸۳. اثرات تجمع‌ی و باقیمانده لجن فاضلاب بر غلظت عناصر آرسنیک، جیوه، سرب و کادمیم در خاک و گیاه گندم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. محراب، م. و س. م. میر شجاع. ۱۳۸۴. تصفیه آب با استفاده از فناوری نانو. مجله بهداشت، ایمنی و محیط زیست ۴۷: ۴۰-۴۴.

۴. معتمد، ا. ۱۳۵۳. رسوب شناسی. انتشارات دانشگاه تهران.

۵. نوربخش، ش. و ا. غضنفری مقدم. ۱۳۸۲. تأثیر عناصر سنگین خاک در رشد و در قسمت‌های خوراکی گیاه. چهارمین همایش کشوری بهداشت محیط.

6. Abollino, O., M. Aceto, M. Malandrino, C. Sarzanini and E. Mentasti. 2003. Adsorption of heavy metals on Na-montmorillonite, effect of pH and organic substances. *Water Res.* 37: 1619-1627.
7. Alvarez-Ayuso, E. and A. Garcia-Sanchez. 2003. Palygorskite as a feasible amendment to stabilize heavy metal polluted soils. *Environ. Pollut.* 125: 337-344.
8. Arnfallc, P., S. A. Wasay and S. Tokunage. 1996. A comparative study of Cd, Cr, Hg and Pb uptake by minerals and soil materials. *Water Air Soil Pollut.* 87: 131-148.
9. Bedoui, K., I. Bekri-Abbes and E. Srasra. 2008. Removal of cadmium (II) from aqueous solution using pure smectite and Lewatite S 100: the effect of time and metal concentration. *Desalination* 223: 269-273.
10. 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.
11. Davies, B. E. and I. B. Alloway. 1990. Cadmium. PP. 177-197. *In: I. B. Alloway (Ed.), Heavy Metals in Soils.* John Wiley & Sons Inc., New York.
12. Doyle, P. J. 1998. Survey of literature and experience on the disposal of sewage sludge on land. *Appl. Sci.* 50: 113-121.
13. El-Kadi, M. A., S. El-Demerdashe, A. Osman and H. Basouni. 1977. Sorption and desorption of Zn on palygorskite clay mineral using Zn-65. *J. Soil Sci.* 17: 125-129.
14. Elzea, J. M. and H. H. Murray. 1994. Bentonite. PP. 233-246. *In: Carr, D. D. (Ed.), Industrial Minerals and Rocks.* 2<sup>nd</sup> ed., Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Littleton, Colorado.
15. Gupta, S. S. and G. B. Krishna. 2006. Removal of Cd(II) from aqueous solution by kaolinite, montmorillonite and their poly(oxozirconium) and tetrabutylammonium derivatives. *J. Hazard. Mater.* 128: 247-254.
16. Gupta, S. S. and K. G. Bhattacharyya. 2008. Immobilization of Pb, Cd and Ni ions on kaolinite and montmorillonite surface from aqueous medium. *Environ. Manage.* 24: 1-13.
17. Holmgren, G. G. S., M. W. Meyer, R. L. Chaney and R. B. Daniels. 1993. Cadmium, lead, zinc, copper and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual.* 22: 335-348.
18. Johnson, C. M., P. R. Stout, T. C. Boyer and A. B. Carlton. 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. *Plant Soil* 8: 337-353.
19. Khademi, H. and J. M. Arocena. 2007. Occurrence of palygorskite in Tertiary sediments of central Iran. *Geophysical Res. Abs.* 9: 09545.
20. Murray, H. H. 2000. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Appl. Clay Sci.* 17: 207-221.
21. Potgieter, J. H., S. S. Potgieter-Vermaak and P. D. Kalibantonga. 2006. Heavy metals removal from solution by palygorskite clay. *Miner. Eng.* 19: 463-470.
22. Rout, G. R. and P. Das. 2003. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism. *J. Zinc Agron.* 23: 3-11.
23. Serrano, S., F. Garrido, C. G. Campell and M. T. Garcia-Gonzalez. 2005. Competitive sorption of cadmium and lead in acid soils of Central Spain. *Geoderma* 124: 91-104.
24. Shirvani, M., H. Shariatmadari and M. Kalbasi. 2007. Kinetics of cadmium desorption from fibrous silicate clay minerals: Influence of organic ligands and aging. *Appl. Clay. Sci.* 37: 175-184.
25. Sparks, D. L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. A. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T., Jhoston and M. E. Sumner (Eds.), 1996. *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods.* 3<sup>rd</sup> ed. ASA, Madison, WI.
26. Suraj, G., C. S. Iyar and C. S. P. Lalithambika. 1998. Adsorption of cadmium and copper by modified kaolinites. *Appl. Clay Sci.* 13: 293-306.
27. Wang, W., H. Chen and A. Wang. 2007. Adsorption characteristics of Cd(II) from aqueous solution into activated palygorskite. *Separat. Purificat. Technol.* 55: 157-164.
28. Wojtowicz, A. and A. Stoklosa. 2002. Removal of heavy metal ions on smectite ionexchange column. *Pol. J. Environ. Stud.* 11: 97-101.
29. Xu, X., W. Zhu, Z. Wang and G. J. Witkamp. 2002. Distributions of rare earths and heavy metals in field-grown maize after application of rare earth-containing fertilizer. *Sci. Total Environ.* 293: 97-105.
30. Yi, J., S. Rengaraj, Y. Kim, C. K. Joo and K. Choi. 2004. Batch adsorptive removal of copper ions in aqueous solutions by ion exchange resins : 1200H and IRN97H. *Korean. J. Chem. Eng.* 21(1): 187-194.
31. Yuan, G. and L. Wu. 2007. Allophan nanoclay for the removal of phosphorus in water and wastewater. *Sci. Technol. Adv. Mater.* 8: 60-62.



32. Zelazny, L. W. and F. G. Calhoun. 1977. Palygorskite (attapulgit), sepiolite, talc, pyrophyllite and zeolites. PP.435-470. *In*: J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.), Minerals in Soil Environments. SSSA, Madison, WI.
33. Zhao, F. J., E. Lombi, T. Breedon and S. P. McGrath. 2000. Zinc hyperaccumulation and cellular distribution in *Arabidopsis halleri*. *Plant Cell Environ.* 23: 507-514.