اثر مونت‌موریلونیت و پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده بر پارامترهای رشد و کلروفیل فلورسانس گیاه ذرت در خاک‌های آلوده به کادمیم و سرب

حدیث حسینی[۱*]، حسین شیرانی[۲]، محسن حمیدپور[۲]، حسین شمشیری[۲]، حسین دشتی[۲] و رضا رنجبرکریمی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۱۹)

چکیده

فلزات سنگین از طریق کاهش فعالیت‌های آنزیمی و تخریب ساختمان پروتئینی، باعث کاهش رشد گیاهان می‌گردند. از آنجایی که ذرت یک گیاه مهم برای تغذیه انسان و طیور می‌باشد، در این آزمایش گلخانه‌ای، اثر مونت‌موریلونیت و پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده بر پارامترهای رشد و کلروفیل فلورسانس گیاه ذرت (*Zea Mays* L.) در دو نوع خاک (شنی و لوم شنی) آلوده به کادمیم و سرب، مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و با چهار تکرار انجام گردید. تیمارها شامل پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده در سه سطح (۱، ۲ و ۳ گرم بر کیلوگرم خاک)، مونت‌موریلونیت اصلاح شده و طبیعی در دو سطح (۱۰ و ۵۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و شاهد (خاک بدون افزودن تیمار) بودند. پلی‌اکریل‌آمید توسط هیدرازین مونوهیدرات و مونت‌موریلونیت توسط پلی‌اکریل‌آمید اصلاح گردیدند. گیاهان پس از ۴۵ روز برداشت شدند. وزن خشک و تر ریشه و اندام هوایی، قطر ساقه، ارتفاع ساقه، سطح برگ و کلروفیل فلورسانس اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که مونت‌موریلونیت اصلاح شده به‌طور معنی‌داری وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ را افزایش داد. در حالی که مونت‌موریلونیت طبیعی تأثیری بر پارامترهای رشد نداشت. پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده تأثیر منفی بر پارامترهای رشد داشت و باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه و کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm) ذرت گردید.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، پارامترهای رشد، فلزات سنگین

مقدمه

در سال‌های اخیر، مناطق گسترده‌ای از دنیا تحت تأثیر آلودگی عناصر سنگین قرار گرفته‌اند که توسعه صنعتی را می‌توان یکی از عوامل مهم این فرایند برشمرد (۷). آلودگی خاک، به‌دلیل تأثیر مستقیم در تولید محصولات کشاورزی و تغذیه موجودات، بسیار حائز اهمیت است. بیشترین آلودگی‌ها در مناطق صنعتی، اطراف شهرهای بزرگ و معادن وجود دارد. یکی از مشکلات اصلی کشاورزی در این مناطق، آلودگی خاک به عناصر سنگین است، زیرا فلزات سنگین ابتدا به گیاهان منتقل شده و سپس وارد زنجیره غذایی می‌گردند (۲۳). فلزات سنگین پایدار و غیرقابل تجزیه می‌باشند. اگرچه بسیاری از آنها به مقدار کم برای چرخه‌های بیولوژیک لازم هستند، اما اکثراً در غلظت زیاد،

۱. گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان
۲. دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان
۳. دانشکده علوم، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Hadis_hosseini@yahoo.com

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]

سمی می‌باشند (۸). عناصر ضروری پرمصرف برای رشد گیاه، معمولاً تحرک زیادی در گیاه دارند. اما عناصر سنگین جابجایی کمی داشته و اغلب در ریشه‌ها تجمع می‌یابند. بنابراین میزان کادمیم، سرب، نیکل و کروم در ریشه گیاه حداکثر است (۴). از فلزات سنگین مهم، می‌توان به سرب و کادمیم اشاره کرد. این عناصر در نارسایی‌های کبد، ریه، استخوان، جریان خون، قلب، اندام‌های حیاتی مانند مغز و کلیه نقش داشته و بر هوش افراد نیز تأثیر سوء می‌گذارند (۱۶).

فلزات سنگین باعث کاهش فعالیت‌های آنزیمی و تخریب ساختمان پروتئینی و در نتیجه باعث کاهش رشد گیاهان می‌گردند (۲۸).

در سالیان اخیر توجه ویژه‌ای به آلودگی زیست‌محیطی فلزات سنگین به‌ویژه کادمیم و سرب شده است. متوسط جهانی غلظت کادمیم و سرب کل در خاک، به‌ترتیب ۰/۰۶ تا ۱/۱ و ۱۰ تا ۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (۱۸). متوسط مقادیر گزارش شده این عناصر در خاک‌های ایران، قابل مقایسه با متوسط جهانی می‌باشد (۱۰). متوسط غلظت کادمیم و سرب کل در خاک‌های مناطق مرکزی ایران به‌ترتیب ۱/۶۷ و ۲۵/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش‌شده و مهم‌ترین مسیر ورود کادمیم و سرب به خاک‌های زراعی اصفهان، به‌ترتیب استفاده از کودهای فسفاته و دامی ذکر شده است (۱۰).

با توجه به زیان‌های شدید ایجاد شده در اثر ورود عناصر سنگین به زنجیره غذایی، حذف فلزات سنگین یک عامل اساسی برای حفاظت محیط زیست می‌باشد (۱۶). یکی از روش‌های مناسب و مقرون به‌صرفه در تثبیت شیمیایی (غیر متحرک کردن عناصرسنگین)، استفاده از کانی‌های رسی به‌دلیل ظرفیت جذب زیاد و قدرت آزادسازی کم می‌باشد (۱۷). این روش برای کشورهایی که دارای نهشته‌های عظیمی از کانی‌های رسی هستند، مناسب است. کاهش قابل توجه در غلظت کادمیم قابل دسترس در خاک‌های آلوده تیمار شده با زئولیت در ایران (۱۹)، یونان (۲۱) و اردن (۲۵) گزارش شده است.

پلی‌اکریل‌آمید اغلب برای بهبود نفوذپذیری خاک، خاک‌دانه سازی، کنترل رواناب، فرسایش و کاهش هدررفت عناصر غذایی از طریق آب‌شویی و رواناب استفاده می‌گردد (۱۳). در سال‌های اخیر به استفاده از مواد پلیمریک دارای گروه‌های عاملی مثل: اسید کربوکسیل، آمین، هیدروکسیل و اسید سولفونیک توجه شده است که می‌توانند به‌عنوان عوامل کمپلکس کننده برای حذف مواد فلزی از محلول آبی استفاده شوند. این گروه‌های عاملی در پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده در این تحقیق نیز وجود دارند.

هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر مونت‌موریلونیت و پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده در دو نوع بافت خاک آلوده به کادمیم و سرب بر پارامترهای رشد گیاه ذرت و کلروفیل فلورسانس آن بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در محل گلخانه‌های دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان در آبان ماه ۱۳۸۹ انجام شد.

تهیه خاک

دو نمونه خاک با بافت‌های لوم شنی و شنی از منطقه رفسنجان از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. خاک‌ها پس از هواخشک شدن از الک چهار میلی‌متری عبور داده شدند. تعداد ۳۲ نمونه یک کیلوگرمی از هر دو نمونه خاک توزین گردید و داخل پاکت‌های پلاستیکی ریخته شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دو خاک در جدول ۱ آورده شده است. بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۲)، فسفر قابل استفاده عصاره‌گیری شده توسط روش اسید اسکوربیک (۲۲) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری، مقدار کربنات کلسیم معادل خاک از روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (۹) و سرب و کادمیم در خاک با عصاره‌گیر آکوآرژیا (مخلوط ۳:۱ اسید کلریدریک ۳۷٪ + اسید نیتریک ۶۵٪) با استفاده ازدستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]

جدول۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده قبل از انجام آزمایش

ویژگی خاک	بافت شنی	بافت لوم شنی
رس (٪)	۴/۸	۱۴/۵
سیلت (٪)	۳/۶	۱۱
شن (٪)	۹۱/۶	۷۴/۵
فسفر (mg/kg)	۹/۱	۷/۹
سرب کل (mg/kg)	Nd*	Nd
کادمیم کل (mg/kg)	Nd	Nd
پ- هاش	۷/۸۳	۷/۹۱
قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	۶/۱	۲/۶۹
ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol^+/kg$)	۷/۴	۱۵/۶۱
مقدار آهک (٪)	۴/۸۷	۴/۹

* منظور از Nd مقادیر کمتر از حد تشخیص دستگاه می‌باشد.

جدول۲. ترکیب تجزیه عنصری مونت‌موریلونیت طبیعی و اصلاح شده

ترکیب	SiO_2 (٪)	Al_2O_3 (٪)	MgO (٪)	CaO (٪)	Na_2O (٪)	K_2O (٪)	Fe_2O_3 (٪)	L.O.I.*
مونت‌موریلونیت اصلاح شده	۶۷/۳۱	۱۴/۹۳	۲/۸	۱/۶۷	۲/۳۴	۰/۴۴	۱۴/۹۳	۵/۹
مونت‌موریلونیت طبیعی	۶۷/۳۲	۱۴/۵۳	۲/۸	۱/۶۸	۲/۳۳	۰/۴۵	۱۴	۵/۸۳

* Loss On Ignition

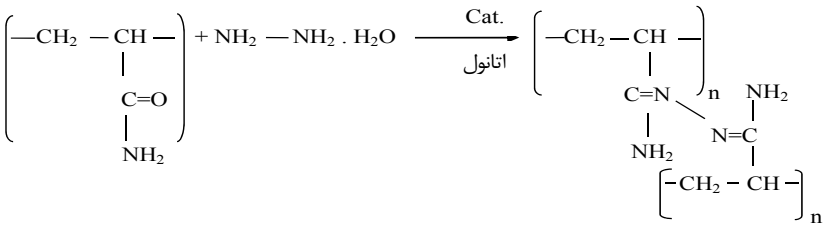
روش اصلاح مونت‌موریلونیت با پلی‌اکریل‌آمید

مونت‌موریلونیت از شهر راور واقع در استان کرمان تهیه و سپس توسط پلی‌اکریل‌آمید اصلاح گردید. رس مورد نظر ابتدا با استفاده از روش ثقلی تا حد زیادی خالص‌سازی شد. در روش ثقلی ذرات بر حسب جرم و حجم جداسازی می‌شوند. سپس به ۵۰ گرم رس ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۴ مولار اضافه شد و در دمای ۹۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۲ ساعت رفلاکس گردید. پس از سرد شدن، با استفاده از کاغذ صافی، مخلوط صاف شد و جامد روی صافی چندین بار با آب مقطر شسته شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها، به‌مدت ۶ ساعت در آون در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. نمونه‌های به‌دست آمده به‌صورت پودر خاکستری رنگ می‌باشند. در اثر این عمل، اکثر کاتیون‌های لابه‌لای لایه‌های رس خارج شدند. رسی که از این طریق به‌دست آمد، به‌وسیله مقدار بسیار کمی از پلی‌اکریل‌آمید اصلاح گردید. به این صورت که مونومر اکریل‌آمید تهیه و سپس در حضور آب اکسیژنه عمل پلیمریزاسیون جزئی آن انجام گرفت (۳). بنابراین مقداری از پلی‌اکریل‌آمید تشکیل شده در بین لایه‌های رس نفوذ کرد. تجزیه عنصری مونت‌موریلونیت طبیعی و اصلاح شده با استفاده از دستگاه تجزیه عنصری (Spectro X-Lab 2000 X-Ray instrument) اندازه‌گیری گردید (جدول ۲).

ظرفیت تبادل کاتیونی توسط روش کمپلکس دی‌آمین مس (۱۱) اندازه‌گیری شد که میزان آن به‌ترتیب در

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]



شکل۱. واکنش اصلاح پلی‌اکریل‌آمید (۳)

مونت‌موریلونیت طبیعی و اصلاح شده ۸۰ و ۸۵ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم بود.

روش اصلاح پلی‌اکریل‌آمید با هیدرازین مونوهیدرات

۵۰ گرم پلی‌اکریل‌آمید، ۰/۳ گرم استیک اسید گلاسیال و ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول داخل بالن ته‌گرد ریخته شدند و مخلوط در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه حرارت داده شد. سپس ۱۰ گرم هیدرازین مونوهیدرات اضافه گردید و در دمای ۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت رفلاکس شد. محصول واکنش تا زمان ظاهر شدن ذرات جامد سرد شد و سپس با استفاده از کاغذ صافی، مخلوط صاف گردید و جامد روی صافی چندین بار توسط اتانول برای حذف ناخالصی‌های آلی شسته شد و در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه نگه‌داشته شد.

مقدار هیدرازین به طریقی انتخاب گردید که حداقل ۳۰ درصد گروه کربونیل مولکول پلی‌اکریل‌آمید به گروه هیدرازینی تبدیل گردد (شکل ۱). واکنش در حلال آبی اتانول انجام گرفت (۳). افزایش دما و مدت زمان واکنش، باعث افزایش بازده واکنش می‌گردد. ساختمان پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده با استفاده از تست مقدار آمین (Amine Value) و طیف‌سنجی FT-IR(Shimadzu PU 9716 spectrophotometer, Model 435) تعیین گردید. در طیف IR این ترکیب، تغییر باندهای جذبی محصول نسبت به ماده اولیه، به‌خصوص جابجایی باند جذبی مربوط به گروه کربونیل در ماده اولیه به سمت باند گروه N=C در محصول می‌تواند دلیلی بر تشکیل محصول باشد. در این طیف، باند جذبی مربوط به دو گروه NH_2 در محدده $3450\ cm^{-1}$ و باند جذبی مربوط به گروه C=N در ناحیه $1560\ cm^{-1}$ و باند جذبی مربوط به سایر هیدروژن‌های آلیفانیک در محدوده $2950\ cm^{-1}$ ظاهر شد. هم‌چنین، به‌دلیل این که همه گروه‌های کربونیل (C=O) تبدیل به گروه C=N نشده‌اند، در طیف IR باند جذبی مربوط به گروه کربونیل در ناحیه $1670\ cm^{-1}$ قابل مشاهده شده است. به‌احتمال زیاد، مقداری از پلی‌اکریل‌آمید در حضور هیدرازین مونوهیدرات و کاتالیت، کراس لینک (cross link) شده باشد.

آزمایش گلخانه‌ای و اعمال تیمارها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده در ۳ سطح (۱، ۲ و ۳ گرم بر کیلوگرم خاک)، مونت‌موریلونیت اصلاح شده در ۲ سطح (۱۰ و ۵۰ گرم بر کیلوگرم خاک)، مونت‌موریلونیت طبیعی در ۲ سطح (۱۰ و ۵۰ گرم بر کیلوگرم خاک)، شاهد (بدون افزودن تیمارها) و بافت خاک در دو سطح (شنی و لوم شنی) بودند. بنابراین تعداد کل گلدان‌های مورد استفاده در آزمایش ۶۴ عدد بود.

قبل از ریختن خاک در گلدان‌ها، ابتدا همه خاک‌ها طوری توسط نیترات کادمیم و نیترات سرب آلوده شدند که حاوی ۲ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و ۱۵۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک باشند و به‌طور کامل با خاک مخلوط گردیدند (۱۷). یک هفته خاک‌ها به حال خود رها شدند تا این که امکان برهمکنش بین آلاینده‌ها با پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده و مونت‌موریلونیت تکوین یابد و سیستم به حالت شبه تعادل برسد (۱۷).

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]

جدول۳. تجزیه واریانس پارامترهای رشد گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات							
منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی	سطح برگ	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	قطر ساقه	کلروفیل فلورسانس	ارتفاع ساقه
بافت	۱	۱/۴۰۳۴۳**	۲۵۲/۰۶۸**	۱۹۳۳۹۲**	۰/۳۱۸۵۱**	۱۹/۱۱۹*	۰/۱۵۶۶۳**	۰/۰۰۲۶۷۲^{ns}	۴۰/۲۶۰۱**
تیمار	۳	۰/۰۸۰۲۰*	۷/۳۲۴^{ns}	۱۲۱۶۱*	۰/۰۲۴۵۲*	۱/۴۵۵^{ns}	۰/۰۲۹۲۰^{ns}	۰/۰۱۰۰۹۱*	۱/۷۵۸۳*
بافت × تیمار	۳	۰/۰۵۲۷۴^{ns}	۷/۵۱۲**	۱۱۳۰۴*	۰/۰۲۷۹۵^{ns}	۲/۵۸۶^{ns}	۰/۰۲۹۸۹^{ns}	۰/۰۰۰۳۷۴^{ns}	۱/۳۶۲۱^{ns}
خطا	۵۴	۰/۰۲۳۶۶	۱/۷۹۲	۳۹۹۱	۰/۰۵۰۰۲	۴/۵۹۲	۰/۰۱۱۹۳	۰/۰۰۳۵۴۶	۰/۶۹۸۲

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

پس از پر کردن گلدان‌های یک کیلوگرمی با خاک‌های تیمار شده، تعدادی بذر ذرت در هر گلدان کشت شد و بعد از جوانه‌زدن بذرها، بوته‌های اضافی حذف شده و سه بوته در هر گلدان نگه‌داری شد. آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر به صورت روزانه و بر اساس ۷۵ درصد ظرفیت زراعی انجام شد. لازم به ذکر است که گلدان‌ها فاقد زهکش بودند.

بر اساس آزمون خاک، نیتروژن به میزان ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع نیترات آمونیوم طی دو مرحله به گیاهان داده شد. به‌منظور جلوگیری از رسوب کادمیم و سرب با فسفات، هیچ‌گونه فسفری به خاک اضافه نگردید. چهارده روز پس از کاشت، فسفر به‌میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار از منبع KH_2PO_4 روی سطح برگ‌های گیاه به‌صورت محلول پاشیده شد (۱۷). برای جلوگیری از ریزش فسفر بر سطح خاک، سطح گلدان‌ها با استفاده از نایلون و دستمال کاغذی پوشانده شد. گیاهان پس از ۴۵ روز برداشت شدند و ریشه‌ها و اندام هوایی جدا گردیدند، و پس از شست‌وشو با آب مقطر، وزن خشک و تر ریشه و اندام هوایی، قطر ساقه، ارتفاع ساقه و سطح برگ توسط دستگاه سطح برگ‌خوان اندازه‌گیری گردید. هم‌چنین یک روز قبل از برداشت، میزان کلروفیل فلورسانس توسط دستگاه کلروفیل فلورمتر (Han Satesh Instrument – Pocket PEA) در برگ‌های سوم هر بوته اندازه‌گیری شد.

نتایج و داده‌ها توسط نرم‌افزارهای Minitab و MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج آنالیز واریانس (جدول ۳) اثر تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، ارتفاع ساقه و کلروفیل‌فلورسانس در سطح ۵٪ معنی‌دار بود.

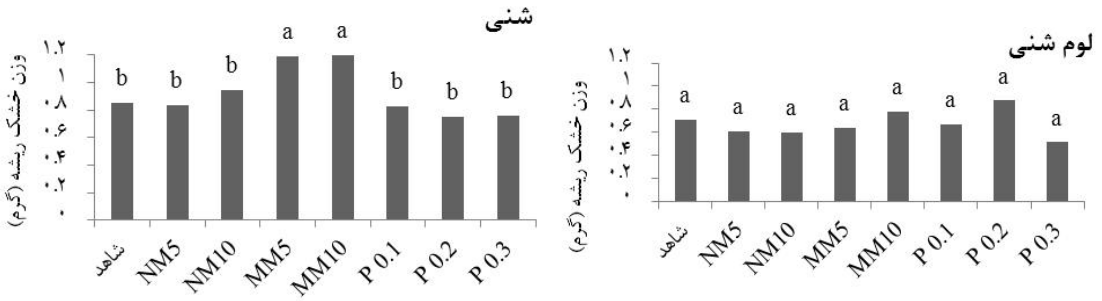
مونت‌موریلونیت اصلاح شده باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه، اندام‌هوایی و سطح برگ و پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه و کلروفیل فلورسانس گردید. تیمارها بر سایر پارامترها تأثیر معنی‌داری نداشتند.

وزن تر و خشک ریشه

شکل ۲ تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده، مونت‌موریلونیت اصلاح شده و طبیعی بر وزن خشک ریشه را نشان می‌دهد. وزن خشک ریشه در خاک شنی در سطح ۱٪ مونت‌موریلونیت اصلاح شده به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد بیشتر بود. دلیل این افزایش ممکن است کاهش جذب سرب و کادمیم توسط ریشه گیاه ذرت در اثر افزودن مونت‌موریلونیت اصلاح شده به خاک آلوده باشد که در نتیجه آن، رشد ریشه افزایش یافته است. تحقیقات حیدری و

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]



شکل۲. تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده (P)، مونت‌موریلونیت اصلاح شده (MM) و مونت‌موریلونیت طبیعی (NM) بر وزن خشک ریشه گیاه ذرت در دو نوع بافت خاک

همکاران (۱) نشان داد که سمیت سرب در درجه اول بر ریشه اثر کرده و موجب کاهش طول، وزن تر و وزن خشک ریشه می‌شود. آنها گزارش کردند که تغییر طول و وزن تر و خشک ساقه بجز در تیمارهای بیشتر از ۱ میلی‌مولار معنی‌دار نبود. هم‌چنین نتایج آنها نشان داد که جذب سرب با افزایش غلظت آن در محیط رشد، افزایش می‌یابد و تجمع آن در ریشه بیشتر از اندام هوایی می‌باشد. منون و همکاران (۲۰) گزارش کردند که فلزات سنگین بر گیاهان نیز اثر سوء داشته و باعث کاهش حجم و وزن ریشه گیاهان می‌شوند. فلزات سنگین باعث کاهش فعالیت‌های آنزیمی و تخریب ساختمان پروتئینی و در نتیجه باعث کاهش رشد گیاه می‌گردند (۲۸).

هم‌چنین با افزایش مقدار مونت‌موریلونیت اصلاح شده، مقدار غلظت عناصر غذایی مانند آهن در ریشه افزایش یافته است. علت این امر احتمالاً رقابت سرب و کادمیم با آهن برای قرار گرفتن روی مکان‌های تبادلی کانی و در نتیجه افزایش غلظت آهن در ریشه می‌باشد. افزایش آهن باعث افزایش وزن خشک ریشه شده است. کاتاپندیاس و پندیاس (۱۸) گزارش کردند که مونت‌موریلونیت عناصر میکرو را جذب می‌کند و آنها را به‌راحتی داخل فاز محلول آزاد می‌کند که برای فراهمی عناصر غذایی و افزایش رشد گیاه اهمیت دارد.

ولی مونت‌موریلونیت طبیعی و پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشتند. در خاک لوم شنی، وزن خشک ریشه تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت.

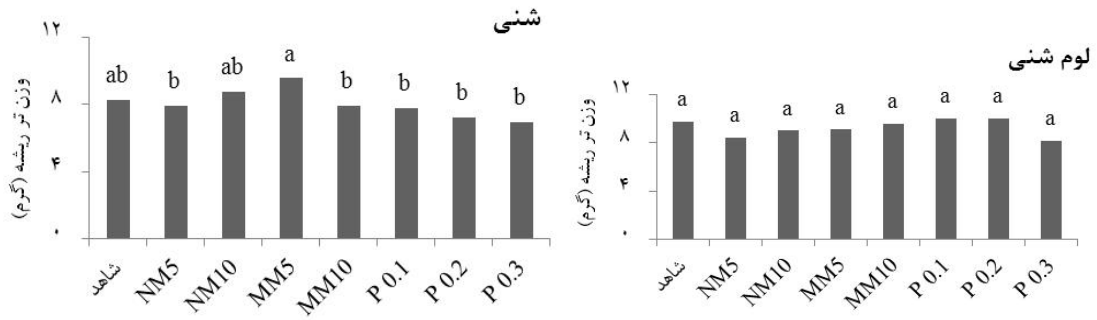
عمدتاً تیمارها هستند که می‌توانند باعث بلوکه کردن عناصر غذایی مانند آهن و روی شوند و مانع جذب آنها توسط گیاه گردند. ولی در حضور سرب و کادمیم، عناصر غذایی نمی‌توانند جذب پلیمر و یا کانی شوند و بیشتر در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. در خاک لوم شنی، با توجه به ظرفیت جذب کاتیون بالاتر، مقدار عناصر غذایی بیشتری می‌توانند جذب خاک گردند و فراهمی عناصر غذایی در خاک کمتر بوده و لذا کمتر توسط گیاه جذب می‌شوند. در نتیجه جذب کمتر عناصر غذایی مانند روی و آهن در خاک لوم شنی نسبت به شنی باعث می‌شود که تأثیر کانی در خاک شنی بارزتر از خاک لوم شنی باشد.

در هر دو نوع بافت خاک، بالاترین سطح پلی‌اکریل‌آمید اگر چه موجب کاهش وزن خشک ریشه گردید، ولی این کاهش معنی‌دار نبود. احتمالاً پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده باعث افزایش پ- هاش و در نتیجه رسوب عناصر غذایی (مانند آهن و روی) در خاک می‌شود. افزایش پ- هاش خاک و یا کاهش فراهمی عناصر غذایی مانند آهن، باعث کاهش وزن خشک ریشه شده است. پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده دارای خاصیت قلیایی شدید است که علت آن، افزایش تعداد نیتروژن پلی‌اکریل‌آمید بعد از اصلاح شدن از ۱ به ۳ می‌باشد که می‌تواند به‌طور موضعی پ- هاش خاک را افزایش دهد.

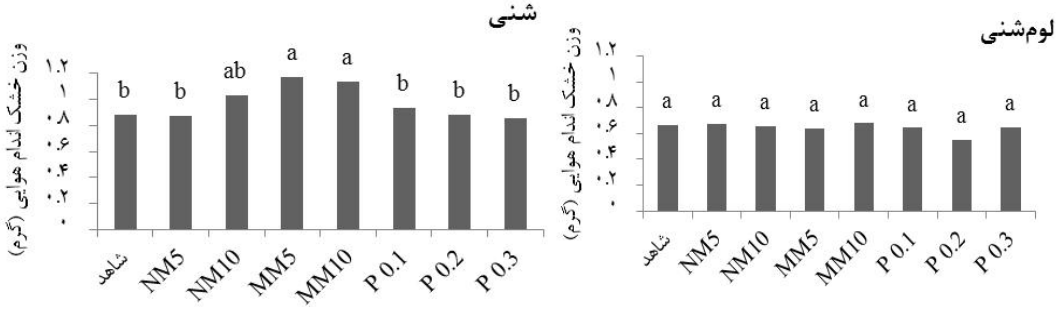
در شکل ۳ تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده، مونت‌موریلونیت اصلاح شده و طبیعی بر وزن تر ریشه نشان داده شده است. در هر دو نوع بافت خاک، تأثیر معنی‌داری در اثر کاربرد تیمارها بر وزن تر ریشه مشاهده نشد.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]



شکل۳. تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده (P)، مونت‌موریلونیت اصلاح شده (MM) و مونت‌موریلونیت طبیعی (NM) بر وزن تر ریشه گیاه ذرت در دو نوع بافت خاک



شکل۴. تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده (P)، مونت‌موریلونیت اصلاح شده (MM) و مونت‌موریلونیت طبیعی (NM) بر وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت در دو نوع بافت خاک

وزن تر و خشک اندام هوایی

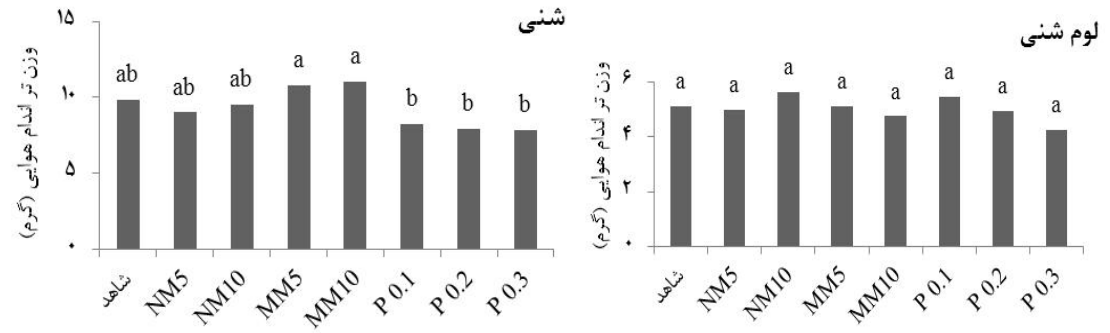
در خاک شنی، با افزایش پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده، وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت، اما معنی‌دار نبود. دانیلز و همکاران (۱۱) نشان دادند که کاربرد پلی‌اکریل‌آمید در خاک، تأثیری بر رشد اندام هوایی گیاه *Ammophilla Arenaria* ندارد. هم‌چنین بیان کردند که پلی‌اکریل‌آمید طی ده هفته اول رشد، اثری بر وزن خشک اندام هوایی نداشت.

مونت‌موریلونیت طبیعی نیز تأثیری بر وزن خشک اندام هوایی نداشت. وزن خشک اندام‌های هوایی در تیمارهای مونت‌موریلونیت اصلاح شده نسبت به شاهد افزایش یافت، که در سطح ۵٪ معنی‌دار بود (شکل۴). احتمالاً کاربرد مونت‌موریلونیت اصلاح شده باعث کاهش جذب سرب و کادمیم گردیده و در نتیجه اثر سمیت کادمیم و سرب را کاهش داده، موجب افزایش وزن خشک ریشه گردیده است. ثامنی و همکاران (۲۴) سطوح صفر تا ۳۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم را بر جذب کادمیم توسط ذرت بررسی و گزارش کردند که غلظت کادمیم ذرت با افزایش کادمیم خاک، افزایش و وزن خشک آن کاهش یافت. دهیری و همکاران (۱۴) گزارش کردند که با افزایش غلظت کادمیم، وزن خشک اندام هوایی اسفناج کاهش می‌یابد. رجائی (۲) نیز گزارش کرد که کادمیم وزن تر و خشک اندام هوایی اسفناج را کاهش داد. هم‌چنین تحقیقات یوسمان و همکاران (۲۷) نشان داد که کاربرد بنتونیت در خاک آلوده به کادمیم و سرب، وزن خشک اندام هوایی گندم را افزایش داد، هر چند که این افزایش معنی‌دار نبود. علت این افزایش جزئی را کاهش جذب کادمیم توسط گندم گزارش کردند.

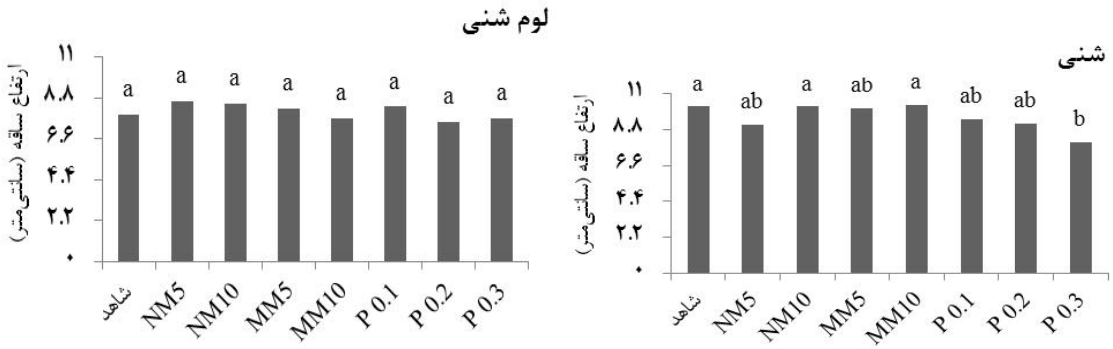
در خاک لوم شنی، هیچ‌یک از تیمارها تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی نداشتند (شکل ۴). همان‌طور که گفته

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]



شکل۵. تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده (P)، مونت‌موریلونیت اصلاح شده (MM) و مونت‌موریلونیت طبیعی (NM) بر وزن تر اندام هوایی گیاه ذرت در دو نوع بافت خاک



شکل۶. تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده (P)، مونت‌موریلونیت اصلاح شده (MM) و مونت‌موریلونیت طبیعی (NM) بر ارتفاع ساقه گیاه ذرت در دو نوع بافت خاک

شد، در خاک لوم شنی با توجه به ظرفیت جذب کاتیون بالاتر، مقدار عناصر غذایی بیشتری می‌توانند جذب خاک گردند و فراهمی عناصر غذایی در خاک کمتر بوده و لذا کمتر توسط گیاه جذب می‌شوند. در نتیجه جذب کمتر عناصر غذایی مانند روی و آهن در خاک لوم شنی نسبت به خاک شنی باعث می‌شود که تأثیر کانی در خاک شنی بارزتر از خاک لوم شنی باشد.

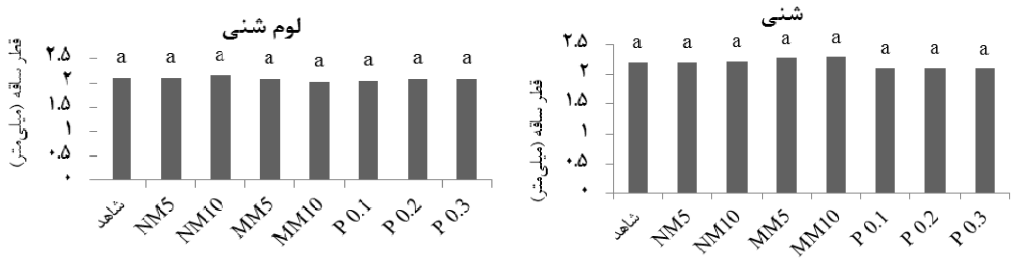
در شکل ۵ تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده، مونت‌موریلونیت اصلاح شده و مونت‌موریلونیت طبیعی بر وزن تر اندام هوایی نشان داده شده است. در هر دو نوع بافت خاک، تیمارها تأثیری بر وزن تر اندام هوایی نداشتند. دلیل آن می‌تواند مربوط به زمان نسبتاً کم (۴۵ روز) رشد گیاه در گلدان‌ها باشد.

ارتفاع ساقه

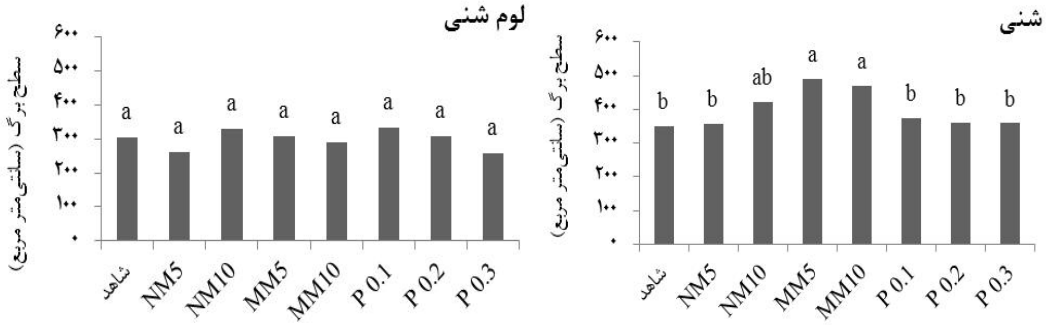
شکل ۶ تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده، مونت‌موریلونیت اصلاح شده و مونت‌موریلونیت طبیعی بر ارتفاع ساقه را نشان می‌دهد. در خاک شنی، هر سه سطح پلی‌اکریل‌آمید باعث کاهش ارتفاع ساقه گردیدند که این کاهش در سطح سوم معنی‌دار بود. سایر تیمارها تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع ساقه نداشتند. دانیلز و همکاران (۱۳) نیز گزارش کردند که کاربرد پلی‌اکریل‌آمید باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌شود. دلیل آن را جوانه‌زنی سریع‌تر گیاه در حضور پلی‌اکریل‌آمید بیان کردند که باعث کوتاه شدن ارتفاع گیاه می‌گردد. علت جوانه‌زنی سریع‌تر گیاه در حضور پلی‌اکریل‌آمید را بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و ایجاد بستر مناسب برای جوانه‌زنی گیاه در حضور این تیمار گزارش نمودند.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]



شکل۷. تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده (P)، مونت‌موریلونیت اصلاح شده (MM) و مونت‌موریلونیت طبیعی (NM) بر قطر ساقه گیاه ذرت در دو نوع بافت خاک



شکل۸. تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده (P)، مونت‌موریلونیت اصلاح شده (MM) و مونت‌موریلونیت طبیعی (NM) بر سطح برگ گیاه ذرت در دو نوع بافت خاک

در خاک لوم شنی تأثیر معنی‌داری در اثر کاربرد تیمارها مشاهده نگردید.

قطر ساقه

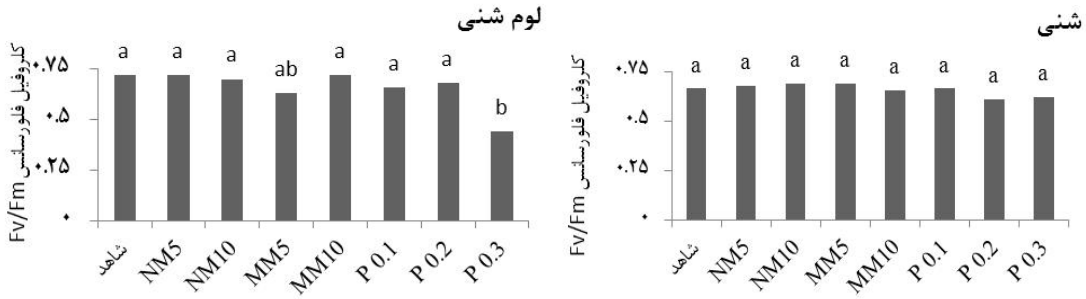
به‌طور کلی، تیمارها اثر معنی‌داری بر قطر ساقه نداشتند، ولی قطر ساقه در خاک شنی به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در خاک لوم شنی بود.

سطح برگ

در شکل ۸ اثر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده و مونت‌موریلونیت اصلاح شده و طبیعی بر سطح برگ نشان داده شده است. تأثیر تیمارهای اضافه شده به خاک لوم شنی آلوده به سرب و کادمیم بر سطح برگ ذرت معنی‌دار نبود. ولی در خاک شنی، سطح برگ در تیمارهای مونت‌موریلونیت اصلاح شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. علت این افزایش احتمالاً کاهش جذب کادمیم توسط گیاه ذرت می‌باشد. تحقیقات اسکورژینسکا- پولیت و باژینسکی (۲۶) نشان داد که کادمیم سطح برگ را کاهش می‌دهد. هم‌چنین عزیزیان و همکاران (۵) گزارش کردند که مقدار کادمیم تأثیر معنی‌داری بر کاهش سطح برگ دارد. قاسمی و همکاران (۶) در تحقیقی نشان دادند که کاربرد ۲۰ میکرومولار کادمیم، سطح برگ را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. با توجه به ظرفیت زیاد جذب مونت‌موریلونیت برای کاتیون‌ها، می‌تواند سرب و کادمیم را به‌مقدار قابل توجهی جذب کرده و مانع جذب زیاد آن‌ها توسط گیاه گردد. بنابراین می‌تواند اثر سمیت این عناصر به‌ویژه کادمیم را تحت تیمارهای مونت‌موریلونیت کاهش داده و به‌دنبال آن موجب افزایش سطح برگ گردد. در خاک لوم شنی، به‌دلیل مقدار رس و CEC بیشتر (جدول ۱)، احتمالاً رسوب و جذب کادمیم در خاک شاهد (بدون تیمار کانی) نیز زیاد بوده و جذب توسط گیاه کمتر می‌باشد. لذا تفاوت معنی‌داری بین شاهد و تیمارها از نظر سطح

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]



شکل۹. تأثیر تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده (P)، مونت‌موریلونیت اصلاح شده (MM) و مونت‌موریلونیت طبیعی (NM) بر کلروفیل فلورسانس گیاه ذرت در دو نوع بافت خاک

برگ دیده نشد.

کلروفیل فلورسانس

فتوسیستم نوری دو (PSII) بسیار حساس به عوامل بازدارنده محیطی است. نسبت فلورسانس متغیر(Fv) به فلورسانس حداکثر (Fm) که حداکثر عملکرد فتوسیستم ۲ نامیده می‌شود، شاخصی از تنش‌های محیطی می‌باشد. نسبت F_v به F_m در یک برگ سالم و در شرایط بهینه، حدود ۰/۸ گزارش شده است (۲۶). کلروفیل فلورسانس می‌تواند به‌عنوان یک روش برای شناسایی و تحمل گیاه به تنش‌های محیطی به‌کار رود.

در خاک لوم شنی، کاربرد پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل فلورسانس گردید. اما سایر تیمارها تأثیری بر این پارامتر نداشتند. در خاک شنی، کاربرد تیمارها تأثیری بر کلروفیل فلورسانس نداشت. در هر دو نوع خاک و در تمامی تیمارها، نسبت F_v به F_m از مقدار بهینه (۰/۸) کمتر بود. نسبت F_v به F_m تحت تأثیر تیمار پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده، در خاک لوم شنی کاهش یافت که علت آن احتمالاً افزایش EC خاک پس از افزودن تیمار به خاک یا افزایش موضعی پ- هاش در حضور پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده می‌باشد. مقدار EC خاک پس از برداشت اندازه‌گیری شده که در خاک لوم شنی، تحت تأثیر سطح ۰/۳ درصد پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده به ۳/۱۴ رسیده بود.

همان‌طور که قبلاً بیان شد، پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده به‌دلیل افزایش تعداد نیتروژن آن بعد از اصلاح، خاصیت شدید قلیایی دارد که می‌تواند به‌طور موقت باعث افزایش پ- هاش خاک گردد. بنابراین، افزایش پ- هاش می‌تواند باعث کاهش جذب عناصر غذایی میکرو (مانند روی، منگنز و آهن) شده (۱۸) و با تأثیر نامطلوب بر رشد گیاه، موجب کاهش کلروفیل‌فلورسانس شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، مونت‌موریلونیت موجب افزایش پارامترهای رشد گیاه ذرت شد، در حالی‌که اثر پلی‌اکریل‌آمید اصلاح شده بر پارامترهای رشد گیاه تا حدی منفی بود. مونت‌موریلونیت اصلاح شده نسبت به مونت‌موریلونیت طبیعی تأثیر بهتری بر رشد گیاه داشت. بنابراین می‌توان گفت روش اصلاح مونت‌موریلونیت روشی مؤثر و مطلوب بوده است.

تأثیر تیمارها بر پارامترهای رشد گیاه در خاک شنی مشهودتر از خاک لوم شنی بود. در خاک لوم شنی، با توجه به‌علت ظرفیت زیاد جذب کاتیون، مقدار عناصرغذایی بیشتری می‌تواند جذب خاک گردد و لذا توسط گیاه کمتر جذب می‌شود. در نتیجه، جذب کمتر عناصر غذایی در خاک لوم شنی نسبت به خاک شنی باعث می‌شود که تأثیر کانی در خاک شنی بارزتر از خاک لوم شنی باشد.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]

منابع مورد استفاده

۱. حیدری، ر.، م. خیامی و ط. فربودنیا. ۱۳۸۴. اثرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ناشی از آلودگی سرب در دانه رست‌های ذرت (*Zea mays* L.). مجله زیست‌شناسی ایران ۳: ۲۲۸-۲۳۶.

۲. رجائی، م. ۱۳۸۵. تأثیر زمان، سطوح و منابع کادمیوم و نیکل بر شکل‌های شیمیایی، رشد و جذب این دو عنصر توسط اسفناج. رساله دکتری، بخش خاک‌شناسی، دانشگاه شیراز.

۳. رنجبر کریمی، ر. ۱۳۸۱. بررسی واکنش‌های جدید ۲-کتومتیل کینولین‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش شیمی، دانشگاه اصفهان.

۴. عبادتی، ف.، ع. اسماعیلی ساری و ع. ر. ریاحی بختیاری. ۱۳۸۴. میزان و نحوه تغییرات فلزات سنگین و اندام‌های گیاهان آبزی و رسوبات تالاب میانکاله. مجله محیط‌شناسی ۳۷: ۵۳-۵۷.

۵. عزیزیان، ا. ۱۳۸۴. تأثیر سطوح کادمیوم پساب بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت، کاهو و یولاف در پالایش سبز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش آبیاری، دانشگاه شیراز.

۶. قاسمی، ز.، ع. ا. شهابی و م. یوسفی. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کادمیوم بر پارامترهای رویشی و غلظت عناصر غذایی در اندام‌های مختلف گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کشت بدون خاک. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان، ۲۳۸۱-۲۳۸۲.

7. Adriano, D. C. 2001. Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer, New York, 867 p.
8. Albollino, O., M. Aceto, M. Malandrino, C. Sarzanini and E. Mentasti. 2003. Adsorption of heavy metals on Na montmorillonite: Effect of pH and organic substances. J. Water Res. 37: 1619-1627.
9. Allison, L. E. and C. D. Moodie. 1965. Soil chemical analysis. Soil Sci. Dept., College of Agriculcture, University of Wisconsin, Madison, WI, USA.
10. Amini, M., M. Afyuni, H. Khademi, K. C. Abbaspour and R. Schulin. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. J. Sci. Total Environ. 347: 64-77.
11. Bergaya, F. and M. Vayer. 1997. CEC of clays: Measurement by adsorption of a copper ethylene diamine complex. J. Appl. Clay Sci. 12: 275-280.
12. Bououcos, C. J. 1951. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
13. Danneels, P., T. Beeckman and W. Van Cotthem. 1993. Effects of polyacrylamide and a fertilizer on germination and seedling growth of *Ammophila arenaria* (L.) link. I. at 5% soil moisture content. Biol. Jb. Dodonaea 61: 84-98.
14. Deheri, G. S., M. S. Brar and S. S. Malhi. 2007. Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach into cadmium-contaminated soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 170: 495-499.
15. Entry, J. A. and R. E. Sojka. 2003. The efficacy of polyacrylamaide to reduce nutrient movement from an irrigated field. Trans. ASAE. 46: 75-83.
16. Gupta, S. S. and K. G. Bhattacharyya. 2008. Immobilization of Pb(II), Cd(II) and Ni(II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium. J. Environ. Manag. 87: 46-58.
17. Hamidpour, M., M. Afyuni, M. Kalbasi, A. H. Khoshgoftarmanesh and V. J. Inglezakis. 2010. Mobility and plant-availability of Cd(II) and Pb(II) adsorbed on zeolite and bentonite. J. Appl. Clay Sci. 48: 342-348.
18. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2000. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 26-37.
19. Mahabadi, A. A., M. A. Hajabbasi, H. Khademi and H. Kazemian. 2007. Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite. J. Geoderma. 137: 388-393.
20. Menon, M., S. Hermle, M. Gunthardt-Goerg and R. Schulin. 2007. Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem. Plant Soil. 297: 171-183.
21. Moirou, A., A. Xenidis and I. Paspaliaris. 2001. Stabilization of Pb, Zn, and Cd-contaminated soil by means of natural zeolite. J. Soil Sediment Cont. 10: 251-267.
22. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]

23. Puschenreiter, M., O. Horak, W. Friesl and W. Hartl. 2005. Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into the food chain: A review. J. Plant, Soil and Environ. 51: 1-11.
24. Sameni, A. M., M. Maftoun and A. Bassiri. 1987. Response of tomato and sweet corn to different cadmium levels in calcareous soil. J. Hort. Sci. 622: 227-232.
25. Shanableh, A. and A. Kharabsheh. 1996. Stabilization of Cd, Ni and Pb in soil using natural zeolite. J. Hazard. Mater. 45: 207-217.
26. Skorzynska-Polit, E. and T. Baszynski. 1997. Differences in sensitivity of the photosynthetic apparatus in Cd-stressed runner bean plants in relation to their age. J. Plant Sci. 128: 11-21.
27. Usman, A. R. A., Y. Kuzyakov and K. Stahr. 2005. Effect of immobilizing substances and salinity on heavy metals availability to wheat grown on sewage sludge-contaminated soil. J. Soil and Sediment Contamin. 14: 329-344.
28. Vig, K., M. Megharaj, N., Sethunathan and R. Naidu. 2003. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: A review. J. Environ. Res. 8: 121-135.
29. Zhao, G. Q., B. L. Ma and S. Z. Ren. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. J. Crop Sci. 41: 123-131.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.3.1]