

تأثیر برخی از ویژگی‌های خاک بر قابلیت دسترسی روی برای ذرت در تعدادی از خاک‌های آهکی استان اصفهان

حسین خیرآبادی*، امیرحسین خوشگفتارمنش و زهرا خانمحمدی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۲۳)

چکیده

با توجه به کمبود روی در خاک و گیاه و تأثیر آن در کاهش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی، در سال‌های اخیر، مصرف کودهای حاوی این عنصر گسترش یافته است. برای دستیابی به مدیریت درست کوددهی، آگاهی از عوامل مؤثر بر فراهمی روی در خاک و جذب آن توسط گیاه ضروری است. بنابراین، به منظور بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر قابلیت استفاده روی و جذب آن توسط ذرت، این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در زمستان ۱۳۸۸ در گلخانه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. این آزمایش گلخانه‌ای با ۱۱ سری خاک در دو سطح روی (صفر و ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی از منبع سولفات روی) انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد روی موجب افزایش معنی‌دار وزن ماده خشک و غلظت روی اندام هوایی و ریشه ذرت شد. اگرچه مقدار افزایش بسته به سری خاک متفاوت بود. همبستگی بین روی استخراج شده با DTPA و روی جذب شده توسط ذرت معنی‌دار نبود. بین مقدار کربنات کلسیم معادل و فسفر قابل جذب خاک با روی عصاره‌گیری شده با DTPA همبستگی منفی و معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) وجود داشت. بین قدرت بافری روی خاک با مقدار رس خاک، رابطه خطی معنی‌داری ($R^2 = 0/31$) به دست آمد اما با استفاده از رگرسیون مرحله‌ای رابطه معنی‌داری بین مقدار روی قابل عصاره‌گیری با DTPA و قدرت بافری روی با ویژگی‌های خاک دیده نشد.

واژه‌های کلیدی: عناصر کم‌مصرف، قابلیت جذب برای گیاه، کربنات کلسیم معادل و قدرت بافری

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: kheirabadi@gmail.com

مقدمه

کمبود روی در گیاهان زراعی یکی از رایج‌ترین کمبودهای عناصر غذایی کم‌مصرف می‌باشد به طوری که براساس برخی تخمین‌ها، حدود ۵۰ درصد از اراضی زیر کشت غلات در جهان دارای مقادیر کم روی قابل دسترس برای گیاهان می‌باشند (۱۴، ۱۵ و ۳۷). وجود مقادیر کم روی در خاک‌ها منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (۱۱). البته دلیل عمده کمبود گسترده روی در خاک‌ها، پایین بودن قابلیت دسترسی آن برای ریشه گیاهان بوده در حالی که مقدار کل آن در بسیاری از خاک‌ها بالا می‌باشد (۲۶). خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک دارای ویژگی‌هایی مانند pH بالا و ماده آلی کم می‌باشند. چنین ویژگی‌هایی موجب کاهش قابلیت دسترسی عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی و منگنز برای گیاهان زراعی می‌شود. نتایج تجزیه خاک‌های کشاورزی ایران نیز مؤید آن است که کمبود روی در این خاک‌ها به دلایل متعددی از جمله آهک زیاد، pH بالا، حضور بی‌کربنات بالا در آب آبیاری و مصرف بیش از نیاز کودهای فسفاته گسترش دارد (۴). از بین ویژگی‌هایی گفته شده، pH خاک مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر قابلیت استفاده روی برای ریشه‌های گیاه می‌باشد. افزایش pH خاک سبب تشدید تثبیت روی در سطح ذرات خاک، نظیر کانی‌های رسی و اکسیدهای فلزی می‌شود. تثبیت سطحی روی سبب کاهش حلالیت و در پی آن، کاهش قابلیت استفاده روی برای گیاه می‌شود (۶ و ۸). در شرایط قلیایی، رهاسازی روی از سطح جامد خاک کاهش یافته و قابلیت دسترسی روی توسط گیاه محدود می‌شود. رهاسازی روی از سطوح جامد خاک برای تأمین دائمی روی برای گیاهان ضروری می‌باشد. بنابراین غلظت روی در محلول خاک به مقدار زیاد به pH خاک بستگی دارد (۲۳). هم‌چنین روی در خاک‌های قلیایی با مقدار زیاد کربنات کلسیم، رسوب کرده و قابلیت استفاده آن کم می‌شود (۲۱).

از سوی دیگر، افزایش شوری خاک و انباشته شدن نمک‌ها در ناحیه ریشه گیاه سبب کاهش عملکرد می‌شود. نتایج اغلب

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که شوری سبب افزایش غلظت روی در گیاهان مختلف می‌شود (۱، ۱۸ و ۱۹). هلال و همکاران (۱۸) گزارش کردند که شوری سبب افزایش قابلیت جذب روی در خاک و غلظت آن در گیاه می‌شود. در مقابل هیو و شمیدها (۱۹) با مطالعه برهم‌کنش شوری با عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در گندم، بیان کردند که تأثیر شوری بر غلظت روی در گیاه، بستگی به سطوح شوری، غلظت عناصر و اندام گیاهی دارد. براساس یافته‌های این محققان، در شرایط شور غلظت عناصر کم‌مصرف نظیر روی عامل محدود کننده رشد نبوده، بنابراین شوری تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی در گندم ندارد. با وجود انجام پژوهش‌های مختلف درباره عوامل مؤثر بر قابلیت دسترسی روی برای گیاهان مختلف، تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک بر جذب روی توسط ذرت در خاک‌های اصفهان کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر برخی ویژگی‌هایی خاک بر مقدار روی قابل استفاده برای ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۸۸ در شرایط طبیعی نور انجام شد. در طول آزمایش، میانگین دمای روزانه و شبانه به ترتیب در ۲۵ و ۱۵ درجه سلیسیوس نگه‌داری شد. تعداد ۱۱ نمونه خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متری) با غلظت متفاوت روی از سری‌های مهم خاک در استان اصفهان جمع‌آوری شد. بافت خاک به روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد (۱۲). pH خاک، با pH متر رقومی (۳۵) و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe) با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (۳۰) اندازه‌گیری شد. کربنات کلسیم معادل به روش خشتی‌سازی با اسید (HCl) و تیتراسیون برگشتی با سود تعیین شد (۷). میزان ماده آلی با روش والکی و بلاک اندازه‌گیری شد (۳۶). پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم (NH_4OAc) عصاره‌گیری و با شعله‌سنج تعیین شد (۱۰). مقدار فسفر قابل جذب با بی‌کربنات سدیم ۰/۵

اوره، دی‌آمونیم فسفات، سولفات پتاسیم و کلرات آهن (Fe-EDDTA) صورت گرفت. تمام کودها قبل از کاشت به خاک‌ها اضافه شدند. پنج عدد بذرت (*Zea mays L*) در گلدان‌ها کاشته شد پس از جوانه زدن بذرها، در هریک از گلدان‌ها سه بوته برای ادامه آزمایش نگهداری شد در طول دوره رشد، آبیاری به‌طور منظم انجام و سعی شد رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه نگهداشته شود. هنگام برداشت، ریشه‌ها و اندام‌های هوایی از یکدیگر جدا و پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک‌کن تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. نمونه‌های خشک شده توزین، آسیاب و سپس یک نمونه یک گرمی از نمونه‌های خشک شده به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس کوره الکتریکی به خاکستر تبدیل شدند. نمونه‌ها با استفاده از اسید کلریک عصاره‌گیری شدند و غلظت روی در محلول هضم با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۷). پاسخ گیاه، عملکرد نسبی و افزایش غلظت طبق فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$PR = DW_{Zn} - DW$$

$$RY = (YDM / YDM_{Zn}) * 100$$

$$CI = ZnC_{Zn} - ZnC$$

$$PR = \text{پاسخ گیاه}$$

$$= DW_{Zn}$$

$$DW = \text{وزن خشک در تیمار بدون روی}$$

$$RY = \text{عملکرد نسبی}$$

$$YDM = \text{عملکرد ماده خشک بدون روی}$$

$$YDM_{Zn} = \text{عملکرد ماده خشک با روی}$$

$$CI = \text{افزایش غلظت}$$

$$= ZnC_{Zn} = \text{غلظت روی در تیمار با روی}$$

$$ZnC = \text{غلظت روی در تیمار بدون روی}$$

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. نتایج به روش ANOVA با نرم‌افزار SAS تجزیه شد و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

مولار عصاره‌گیری (۲۹) و با دستگاه طیف‌سنج قرائت شد (۷). غلظت روی و آهن قابل عصاره‌گیری با استفاده از دی‌اتیلن‌تری‌آمین پتاستات (DTPA) (۷) عصاره‌گیری و سپس با دستگاه جذب اتمی تعیین شد (۷). درصد نیتروژن کل خاک پس از هضم براساس روش کل‌دال اندازه‌گیری شد. تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش جایگزینی کاتیون‌های قابل تبادل با استات سدیم (NaOAc)، خروج سدیم اضافی با الکل، تبادل سدیم با استات آمونیوم (NH₄OAc) و تعیین غلظت سدیم با شعله‌سنج انجام شد (۹).

به منظور تعیین قدرت بافری، در ۸ لوله سانتریفوژ به‌طور جداگانه ۲ گرم خاک ریخته شد و سپس مقدار ۴۰ میلی‌لیتر از محلول ZnSO₄ در غلظت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم روی در لیتر به لوله‌ها اضافه گردید. لوله‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس تکان داده شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفوژ شدند. در پایان عصاره رویی از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شده و سپس غلظت روی در عصاره حاصل به‌وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. مقادیر روی تبادل از تفاضل Zn افزوده شده اولیه و Zn موجود در محلول خاک به دست خواهد آمد. ظرفیت بافری روی خاک را از فرمول زیر محاسبه کنید:

$$BC = dC_x / dC_i$$

$$BC = \text{قدرت بافری روی خاک}$$

$$dC_x = \text{تغییرات غلظت روی در فاز جامد}$$

$$dC_i = \text{تغییرات غلظت روی در فاز محلول}$$

نمونه‌های خاک، هوا خشک شده و پس از عبور از الک ۴ میلی‌متری به گلخانه منتقل شدند. سپس ۲ کیلوگرم از خاک‌ها در گلدان‌های حاوی ۵ سانتی‌متر شن ریخته شد. استفاده از شن به منظور بهبود زه‌کشی گلدان می‌باشد. دو سطح از کود روی (صفر و ۱۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم به‌صورت سولفات روی) به خاک‌ها افزوده شد. هنگام کاشت، توصیه کودی براساس آزمون خاک و طبق مدل توصیه کودی مؤسسه خاک و آب برای نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن به ترتیب و به شکل

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود تمام خاک‌های مورد مطالعه، آهکی (مقدار کربنات کلسیم معادل بیش از ۳۰ درصد)، با واکنش قلیایی و مقدار کم ماده آلی بودند. مقادیر EC خاک‌ها از ۱/۲ تا ۱۰/۳ دسی زیمنس بر متر و با میانگین ۵/۰۹ دسی زیمنس بر متر بود. مقدار pH از ۷/۴ تا ۸/۳ با میانگین ۷/۴ و ماده آلی از ۰/۵ تا ۲/۵ درصد به دست آمد. روی قابل عصاره‌گیری با DTPA بین ۰/۴۲ تا ۱/۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و با میانگین ۰/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم شد. زارع و همکاران (۳۹) حد بحرانی روی برای ذرت در خاک‌های استان اصفهان را با استفاده از عصاره‌گیر DTPA ۱/۵ گرم بر کیلوگرم خاک تعیین کردند. بر این اساس تمام سری‌های خاک مورد مطالعه دارای روی کمتر از حد بحرانی بودند و نشانه‌های ظاهری کمبود روی در گیاهان شامل کاهش رشد طولی ساقه و اندازه برگ در تیمار بدون روی دیده شد. آلووی (۵)، کاهش بیش از ۴۰ درصد عملکرد گیاه همراه با نشانه‌های ظاهری کمبود روی در گیاه را در خاک‌های دارای کمبود روی گزارش کرده است. عوامل بسیاری مانند pH، مواد آلی و کاربرد کود بر مقدار کل و قابل دسترس عناصر در خاک تأثیر می‌گذارند.

با مصرف خاکی سولفات روی، عملکرد وزن خشک اندام هوایی، ریشه و کل (ریشه + اندام هوایی) در گیاه به طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) در همه سری‌های خاک افزایش یافت (جدول ۲). پاسخ گیاه به کاربرد روی در سری‌های خاک متفاوت بود. بیشترین و کمترین پاسخ گیاه به ترتیب مربوط به سری لنجان و قمبوان بود. سری لنجان دارای مقدار ماده آلی بیشتر و درصد آهک معادل کمتری در مقایسه با سری‌های دیگر دارد. سری خاک قمبوان دارای شوری بالا و مقدار روی قابل جذب کم است. به نظر می‌رسد شوری زیاد سبب کاهش تأثیر مثبت روی بر عملکرد گیاه شده است. رونقی و همکاران (۲) گزارش کردند که با افزایش ۵ میکروگرم روی در گرم خاک، میانگین عملکرد وزن خشک ذرت به میزان ۶۴ درصد در مقایسه

با شاهد افزایش یافت. زارع و همکاران (۳۹) نشان دادند که با کاربرد ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، عملکرد وزن خشک اندام هوایی در برخی از سری‌های خاک‌های استان اصفهان افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط مفتون و کریمیان (۲۴)، کریمیان (۲۰) و همیلتون و همکاران (۱۷) گزارش شده است. غلظت روی اندام هوایی، ریشه و کل گیاه در تمام خاک‌های مورد مطالعه با کاربرد روی به طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) افزایش یافت (جدول ۳). بیشترین افزایش غلظت روی در سری‌های قمبوان، طالخونچه و منوچهرآباد مشاهده شد. با توجه بالا بودن شوری خاک این سری‌ها و اثر شوری بر افزایش حلالیت روی خاک، احتمال داده می‌شود که شوری باعث افزایش جذب روی توسط گیاه شده باشد. این نتایج با یافته‌های هلال و همکاران (۱۸) همخوانی دارد. هم‌چنین همیلتون و همکاران (۱۷) افزایش غلظت روی در ذرت را با کاربرد سولفات روی گزارش کردند. هم‌چنین نتایج مشابهی توسط مورگان (۲۷)، کریمیان (۲۰) و تاکار و همکاران (۳۴) گزارش شده است.

همبستگی بین روی استخراج شده با DTPA و مقدار روی جذب شده توسط ذرت معنی‌دار نبود. این امر نشان می‌دهد که جذب روی توسط ذرت تنها تابع روی استخراج شده توسط DTPA نمی‌باشد و عوامل مهم دیگری جذب روی توسط گیاه را کنترل می‌کنند. فراهمی کم روی به دلیل بالا بودن درصد آهک و pH قلیایی است. در همین ارتباط همبستگی منفی و معنی‌داری بین مقدار کربنات کلسیم معادل خاک و روی قابل عصاره‌گیری با DTPA مشاهده شد (جدول ۴). حافظ (۱۶) نیز به رابطه مشابهی بین روی قابل عصاره‌گیری با DTPA و مقدار کربنات کلسیم در خاک‌های مصر دست یافت. رابطه منفی بین مقدار کربنات کلسیم و روی قابل جذب خاک احتمالاً به دلیل تبدیل بخش زیادی از روی به شکل کربنات می‌باشد. در همین رابطه، کریمیان و یثربی (۲۲) رابطه منفی بین کربنات کلسیم معادل با روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف را گزارش کردند. یثربی و همکاران (۳۸) بیان نمودند

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سری‌های مورد مطالعه

Clay (%)	قدرت بافری (BC)	CEC ($\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$)	ماده آلی					نیترژن آهک معادل (%)	EC (dS m^{-1})	pH	بافت خاک	نام سری	
			DTPA-Zn	DTPA-Fe	NH ₄ -C-K	NaHCO ₃ -P	(mg kg^{-1})						
۳۶/۴	۱۷/۴	۳۹/۱	۰/۶۸	۳/۰	۳۰۰	۱۰	۱/۳۲	۶۲	۱/۱	۷/۵	۷/۹	SC	طالبخو نیجه
۵/۴	۲۳/۷	۷/۲	۰/۴۲	۲/۰۲	۱۳۰	۲۹	۰/۶۶	۷۵	۰/۲۵	۱۰/۳	۷/۷	LS	قمبران
۱۹/۶	۳۰/۵	۱۶/۰	۱/۳	۳۲/۲	۱۲۵	۴	۰/۶۹	۵۵	۰/۸	۱/۶	۸/۳	SL	لورک
۲۲/۸	۱۶/۳	۲۵/۲	۰/۷۰	۶/۹	۱۲۰	۵۲	۰/۱۴	۵۹	۰/۵۵	۷/۷	۷/۶	SCL	نالجرد
۵۴/۱	۲۶/۹	۷۳/۰	۰/۶۲	۲/۲۸	۱۹۵	۱۰	۱/۵۸	۵۵	۱/۱	۳/۷	۷/۴	SC	گاشهر
۳۳/۲	۵/۹	۱۰/۴	۰/۹۲	۲/۳۶	۱۲۰	۳۵	۰/۲۹	۶۱	۰/۰۸	۲/۹	۷/۰	SC	مهباز
۶۰/۳	۶/۰	۲۵/۸	۱/۰۴	۵/۷۶	۱۷۲	۵	۰/۰۵	۴۵	۰/۶۱	۸/۱	۷/۵	C	جاده مهباز
۵۰/۵	۴۷/۶	۴۲/۶	۱/۳۸	۶/۳۳	۲۲۴	۴	۰/۵۸	۴۵	۰/۴۴	۲/۰	۷/۹	SC	نیجف آباد
۲۳/۰	۱۶/۳	۴۲/۶	۱/۲۶	۳۶/۵۰	۱۳۵	۴	۲/۵۰	۳۰	۱/۵	۱/۵	۸/۰	L	لنجان
۱۹/۸	۱۳/۴	۸/۰	۱/۲۰	۴/۸۲	۱۰۰	۱۲	۰/۸۵	۵۵	۰/۹	۱/۲	۸/۰	SL	شیخ علی
۳۵/۲	۲۴/۵	۱۰/۹	۰/۴۲	۱/۳۶	۱۲۴	۳۴	۰/۸۵	۵۹	۰/۴۸	۹/۶	۷/۸	CL	منوچهر آباد

جدول ۲. اثر کاربرد روی بر عملکرد اندام هوایی و ریشه، پاسخ گیاه و عملکرد نسبی ذرت در خاک‌های مورد مطالعه

عملکرد نسبی (%)	پاسخ گیاه (g plant ⁻¹)	عملکرد وزن خشک کل		عملکرد وزن خشک ریشه		عملکرد وزن خشک اندام هوایی		سری خاک
		(g plant ⁻¹)		(g plant ⁻¹)		(g plant ⁻¹)		
		+Zn	-Zn	+Zn	-Zn	+Zn	-Zn	
۷۷/۳	۰/۴۴	۱/۹۳	۱/۴۹	۰/۷۷	۰/۵۷	۱/۱۶	۰/۹۳	طالخنچه
۷۷/۱	۰/۱۹	۰/۸۳	۰/۶۴	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۵۲	۰/۳۷	قمبوان
۴۲/۱	۲/۰	۳/۴۶	۱/۴۶	۱/۳۶	۰/۶۷	۲/۱	۰/۷۹	لورک
۷۹/۶	۰/۴۵	۲/۲۰	۱/۷۵	۱/۱۵	۰/۷۷	۱/۰۴	۰/۹۸	تالجرد
۹۱/۷	۰/۲۳	۲/۸۰	۲/۵۷	۱/۰۹	۰/۹۱	۱/۷۱	۱/۶۶	گلشهر
۷۸/۴	۰/۵۰	۲/۳۰	۱/۸۰	۰/۸۴	۰/۶۲	۱/۴۶	۱/۱۸	مهبیار
۵۱/۷	۰/۹۸	۲/۰۳	۱/۰۵	۱/۱۲	۰/۵۶	۰/۹۱	۰/۴۸	جاده مهبیار
۸۳/۰	۰/۳۹	۲/۳۱	۱/۹۲	۱/۰۱	۰/۷۹	۱/۳	۱/۱۳	نجف آباد
۵۵/۷	۲/۲۵	۵/۰۷	۲/۸۳	۱/۴۴	۰/۷۸	۳/۶۳	۲/۰۴	لنجان
۷۶/۰	۰/۴۵	۱/۸۸	۱/۴۳	۰/۸۵	۰/۵۹	۱/۰۲	۰/۸۴	شیخ علی
۶۶/۰	۰/۶۷	۱/۹۸	۱/۳۱	۱/۰۶	۰/۶۵	۰/۹۲	۰/۶۶	منوچهر آباد
۷۰/۸	۰/۷۷	۲/۴۳	۱/۶۵	۱/۰۰	۰/۶۵	۱/۴۳	۱/۰	میانگین
		۰/۲۳		۰/۱۳		۰/۱۷		LSD _{Soil}
		۰/۱۰		۰/۰۶		۰/۰۷		LSD _{Zn}
		۰/۳۳		۰/۱۸		۰/۲۴		LSD _{Soil*Zn}

حاکمی از افزایش غلظت روی در سه رقم مختلف جو در سطوح بینابینی شوری می‌باشد. در همین رابطه خوشگفتارمنش و همکاران (۱)، افزایش غلظت روی در پی کاهش وزن خشک اندام هوایی گندم (اثر رقت) را با افزایش سطوح شوری گزارش کردند. در این پژوهش نیز، همبستگی منفی (در سطح ۵ درصد) بین شوری و عملکرد ذرت نشان‌دهنده این است که یکی از دلایل همبستگی مثبت شوری خاک با غلظت روی گیاه، کاهش زیست توده گیاه در شرایط شور می‌باشد (جدول ۴).

بین فسفر قابل استفاده خاک و روی عصاره‌گیری شده با DTPA همبستگی منفی و معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) وجود داشت که نشان‌دهنده رابطه ضدیتی این دو عنصر با یکدیگر است (جدول ۴). کاربرد گسترده کودهای فسفوره در خاک‌های ایران یکی از دلایل کمبود روی در گیاه است (۱۳ و ۳۱). فیضی

که ۵۸ تا ۶۰ درصد از سولفات روی افزوده شده به خاک‌های آهکی به شکل کربنات تبدیل می‌شود. کریمیان و معافپوریان (۲۱) گزارش کردند که مقادیر زیاد pH و کربنات کلسیم از عوامل اصلی کاهش قابلیت دسترسی روی برای گیاهان محسوب می‌شوند. به علاوه سدبری و همکاران (۳۲) نیز بیان نمودند که در خاک‌های آهکی با pH بالا، پخشیدگی روی ۵۰ برابر کمتر از خاک‌های اسیدی است. در نتیجه پویایی روی در این خاک‌ها کاهش یافته و احتمال کمبود روی افزایش می‌یابد.

در تیمار کوددهی روی، همبستگی مثبت و معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) بین EC خاک و غلظت روی در اندام هوایی، ریشه و کل ذرت وجود داشت (جدول ۴). هلال و همکاران (۱۸) گزارش کردند که شوری باعث افزایش غلظت روی در ذرت می‌شود. نتایج پژوهش زورایک و همکاران (۴۱) نیز

جدول ۳. اثر کاربرد روی بر غلظت روی در ریشه و اندام هوایی، غلظت کل و افزایش غلظت روی در ذرت در خاک‌های مورد مطالعه

افزایش غلظت (mg kg ⁻¹)	غلظت کل (mg kg ⁻¹)		غلظت روی ریشه (mg kg ⁻¹)		غلظت روی اندام هوایی (mg kg ⁻¹)		سری خاک
	+Zn	-Zn	+Zn	-Zn	+Zn	-Zn	
	۱۷۸/۳	۲۳۹/۲	۶۰/۸	۱۲۲/۵	۳۶/۲	۱۱۶/۶	
۲۲۴/۸	۲۷۵/۹	۵۱/۱	۱۲۸/۱	۲۷/۵	۱۴۷/۸	۲۳/۶	قمبوان
۲۶/۸	۷۲/۹	۴۶/۱	۴۸/۳	۲۹/۵	۲۴/۶	۱۶/۶	لورک
۱۱۰/۲	۱۸۳/۸	۷۳/۶	۱۱۷/۳	۴۰/۰	۶۶/۵	۳۳/۶	تالجرد
۸/۰	۵۱/۸	۴۳/۸	۲۷/۵	۲۵/۹	۲۴/۳	۱۷/۸	گلشهر
۸۸/۳	۱۲۴/۲	۳۵/۸	۵۶/۱	۱۷/۸	۶۸/۰	۱۸/۰	مهیار
۵۴/۸	۱۵۱/۸	۹۷/۰	۹۳/۱	۶۹/۵	۵۸/۶	۲۷/۵	جاده مهیار
۱۶/۵	۷۴/۳	۵۷/۸	۴۶/۶	۳۶/۰	۲۷/۶	۲۱/۸	نجف آباد
۱۱/۵	۵۲/۷	۴۱/۲	۲۶/۸	۲۴/۰	۲۵/۸	۱۷/۱	لنجان
۱۱/۰	۸۳/۳	۷۲/۳	۳۱/۰	۴۴/۰	۵۲/۳	۲۸/۳	شیخ علی
۱۰۹/۵	۱۶۹/۶	۶۰/۲	۹۲/۵	۲۷/۵	۷۷/۱	۳۲/۶	منوچهر آباد
۷۶/۳	۱۳۴/۵	۵۸/۲	۷۱/۸	۳۴/۳	۶۲/۶	۲۳/۸	میانگین
	۱۱/۲		۷/۶		۶/۹		LSD _{Soil}
	۴/۸		۳/۲		۲/۹		LSD _{Zn}
	۱۴/۷		۱۰/۲		۹/۵		LSD _{Soil*Zn}

pH بررسی شد. ولی رابطه معنی‌داری بین قدرت بافاری روی خاک و روی عصاره‌گیری شده با DTPA با این ویژگی‌ها دیده نشد. کریمیان و یثربی (۲۲) با استفاده از رگرسیون چند مرحله‌ای بین روی عصاره‌گیری شده با DTPA و برخی ویژگی‌های خاک نظیر CEC رابطه معنی‌داری به‌دست آوردند. انجام پژوهش‌های تکمیلی برای بررسی دلایل احتمالی این موضوع لازم است. بین قدرت بافاری روی خاک و رس خاک رابطه خطی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۱). مشابه نتایج این پژوهش، برخی محققان دیگر نیز یک همبستگی مثبت و معنی‌داری بین روی قابل عصاره‌گیری با DTPA و Na-EDTA و میزان رس خاک گزارش کردند که نشان دهنده این است که عصاره‌گیرهای مورد استفاده، روی پیوند شده به‌وسیله ذرات رس را استخراج می‌کنند (۲۲).

اصل (۳)، کاهش غلظت روی در گندم دیم را با افزایش سطوح فسفر مصرفی گزارش کرد. شارما و همکاران (۳۳) نشان دادند که کاربرد ۲۵ میکروگرم فسفر در گرم خاک باعث بیشترین کاهش در غلظت روی در ذرت شده است. همچنین کاهش غلظت روی در ذرت با کاربرد ۱۰۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک توسط رونقی و همکاران (۲) گزارش شده است. موراگان و ماسکاگنی (۲۸)، زیو و همکاران (۴۰)، مورگان و مارشنر (۲۵) نیز تاثیر منفی افزایش مقدار فسفر خاک بر جذب روی توسط گیاه را گزارش کردند.

با استفاده از رگرسیون چند متغیره مرحله به مرحله، رابطه بین قدرت بافاری روی خاک و روی عصاره‌گیری شده با DTPA با CEC، رس، مقدار ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و

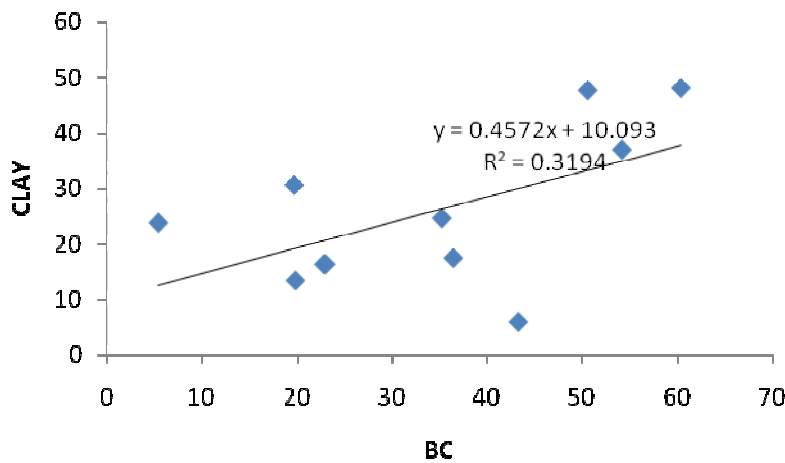
جدول ۴. همبستگی بین شاخص‌های گیاهی با ویژگی‌های خاک

ویژگی خاک شاخص‌های گیاهی	EC	آهن قابل جذب	روی قابل جذب	ماده آلی	آهک معادل	قدرت بافری (BC)
عملکرد کل شاهد	-۰/۶*	۰/۴ ^{ns}	۰/۳ ^{ns}	۰/۷*	-۰/۶*	-۰/۸ ^{ns}
عملکرد کل تیمار شده	-۰/۶*	۰/۸**	۰/۵ ^{ns}	۰/۶*	۰/۸**	-۰/۱ ^{ns}
عملکرد ساقه شاهد	-۰/۶*	۰/۴ ^{ns}	۰/۳ ^{ns}	۰/۷**	-۰/۶*	-۰/۲ ^{ns}
عملکرد ساقه تیمار شده	-۰/۶*	۰/۸**	۰/۵ ^{ns}	۰/۷**	-۰/۷**	-۰/۱ ^{ns}
عملکرد ریشه شاهد	-۰/۵*	۰/۳ ^{ns}	۰/۳ ^{ns}	۰/۳ ^{ns}	۰/۶*	۰/۲ ^{ns}
عملکرد ریشه تیمار شده	-۰/۵*	۰/۷*	۰/۵ ^{ns}	۰/۳ ^{ns}	-۰/۸**	۰/۲ ^{ns}
غلظت ساقه شاهد	۰/۶*	-۰/۵ ^{ns}	-۰/۴ ^{ns}	-۰/۴ ^{ns}	۰/۳ ^{ns}	-۰/۱ ^{ns}
غلظت ساقه تیمار شده	۰/۸**	-۰/۵ ^{ns}	۰/۷*	-۰/۲ ^{ns}	۰/۷**	-۰/۳ ^{ns}
غلظت ریشه تیمار شده	۰/۹**	-۰/۴ ^{ns}	-۰/۶*	-۰/۴ ^{ns}	۰/۶*	-۰/۱ ^{ns}
غلظت کل تیمار شده	۰/۹**	-۰/۵ ^{ns}	-۰/۷*	-۰/۳ ^{ns}	۰/۷*	-۰/۲ ^{ns}
فسفر قابل جذب	۰/۵ ^{ns}	-۰/۴ ^{ns}	-۰/۶*	-۰/۴ ^{ns}	۰/۵ ^{ns}	-۰/۵ ^{ns}
آهک معادل	۰/۵ ^{ns}	-۰/۶ ^{ns}	-۰/۷*	۰/۴ ^{ns}	۱	-۰/۳ ^{ns}

*: معنی‌دار در سطح پنج درصد

** : معنی‌دار در سطح یک درصد

^{ns}: غیر معنی‌دار



شکل ۱. رابطه بین قدرت بافری روی خاک (BC) و درصد رس (Clay)

نتیجه‌گیری

عملکرد وزن خشک اندام‌هوایی و غلظت روی ذرت شد. در سری‌های خاک مورد مطالعه، از بین ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده، درصد کربنات کلسیم معادل و مقدار فسفر قابل استفاده بیشترین تأثیر را بر کاهش فراهمی روی برای گیاه

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که کمبود روی در خاک‌های آهکی استان اصفهان یک عامل محدودکننده برای رشد محسوب می‌شود. کاربرد روی باعث افزایش معنی‌دار

رابطه معنی‌داری مشاهده نشد. بر این اساس، بررسی برخی سازوکارهای گیاهی مؤثر بر قابلیت جذب روی در خاک‌های مختلف ضروری است.

دارند. همچنین بین قدرت بافری با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، رگرسیون گام به گام برقرار شد که بین آنها رابطه معنی‌داری وجود نداشت. بین مقدار روی قابل عصاره‌گیری شده با DTPA و مقدار جذب روی توسط گیاه نیز

منابع مورد استفاده

1. خوشگفتارمنش، ا. ح.، ح. شریعتمداری و ن. کریمیان. ۱۳۸۲. اثرهای شوری آب آبیاری و کاربرد روی بر حلالیت کادمیوم و غلظت آن در گندم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۷(۴): ۵۳-۵۹.
2. رونقی، ع.، ا. ادهمی و ن. کریمیان. ۱۳۸۱. تأثیر فسفر و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶(۱): ۱۰۵-۱۱۸.
3. فیضی اصل، و. و غ. ر. ولزاده. ۱۳۸۳. اثر کاربرد توأم فسفر و روی در غلظت عناصر غذایی و عملکرد گندم رقم سرداری (*Triticum aestivum*). مجله علوم زراعی ایران ۶(۱): ۲۲۳-۲۳۹.
4. ملکوتی، م. و م. نفیسی. ۱۳۷۶. مصرف کود در اراضی فاریاب و دیم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
5. Alloway, B. J. 2005. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International Zinc Association, Istanbul.
6. Barrow, N. J. and B. R. Whelan. 1998. Comparing the effects of pH on the sorption of metals by soil, by goethite, and on uptake by plants. *Eur. J. Soil Sci.* 49:683-692.
7. Black, C. A., D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E. Clark. 1965. *Methods of Soil Analysis: Part 2*. Madison, WI: ASA.
8. Brummer, G. W., J. Gerth and K. G. Tiller. 1988. Reaction kinetics of the adsorption and desorption of nickel, zinc and cadmium by goethite. I. Adsorption and diffusion of metals. *J. Soil Sci.* 39: 37-51.
9. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C. A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
10. Chapman, H. D. and P. F. Pratt. 1961. In: *Methods of Analysis for Soils, Plants, and Waters*. Riverside, CA.
11. Demirkiran, A. R. 2009. Determination of Fe, Cu and Zn contents of wheat and corn grains from different growing site. *J. Ani. and Vet. Adv.* 8(8): 1563-1567.
12. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. PP. 383-409. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Madison, WI, ASA, SSSA.
13. Gianquinto, G., A. Abu-Rayyan, L. D. Tola, D. Piccotino and B. Pezzarossa. 2000. Interaction effects of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and yield of dwarf bean grown in two environments. *Plant and Soil* 220: 219-228.
14. Graham, R. D. and R. M. Welch. 1996. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density: Working papers on agricultural strategies for micronutrients, No. 3. Washington, DC: International Food Policy Institute.
15. Graham, R. D., J. S. Ascher and C. S. Hynes. 1992. Selecting Zn-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant and Soil* 146: 241- 250.
16. Hafez, I. W., E. A. Abdelhamid, A. M. A. Hamra and R. N. Kamb. 1991. Prediction of available Zinc in some calcareous soils of Egypt. *Egypt. J. Soil Sci.* 31:291-300.
17. Hamilton, M. A., D. T. Westermann and D. W. James. 1993. Factors affecting zinc uptake in cropping system. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57: 1310-1315.
18. Helal, H. M., M. Abdelmonem and F. Azam. 1995. Heavy metal uptake by *L. italicum* as affected by salt-water irrigation. PP. 161-195. In: R. Prost (Ed.), *Proc. Intl. Biogeochemistry of trace elements, 3rd Conf.* Paris, France.
19. Hue, Y. and U. Schmidhalter. 2001. Effects of salinity and macronutrient levels on micronutrients in wheat. *J. Plant Nutr.* 24(2):273-281.
20. Karimian, N. 1995. Effect of nitrogen and phosphorus on zinc nutrition of corn in a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 18: 2261-2271.
21. Karimian, N. and G. R. Moafpouryan. 1999. Zinc adsorption characteristics of selected calcareous soils of Iran and their relationship with soil properties. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 30: 1721-1731.

22. Karimian, N. and J. Yasrebi. 1997. Extractability of previously-applied zinc as influenced by properties of calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28(15,16): 1323-1331.
23. Lindsay, W. L. 1991. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. PP. 89-112. *In: J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M. Welch (Eds.), Micronutrients in Agriculture. 2nd (Ed.), Soil Science Society of America, Madison, WI.*
24. Maftoun, M. and N. Karimian. 1989. Relative efficiency of two zinc sources for maize (*Zea mayz* L.) in two calcareous soils from an arid area of Iran. *Agron.* 9:771-775.
25. Marschner, H. 2002. Mineral Nutrition of Higher Plants. Elsevier Science Ltd.
26. Marschner, H. 1993. Zinc uptake from soils. PP. 59-77. *In: Robson, A. D. (Ed.), Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Pub. Dordrecht. The Netherlands.*
27. Moraghan, J. T. 1994. Accumulation of zinc, phosphorus and magnesium by navy bean seed. *J. Plant Nutr.* 17: 1111-1125.
28. Morghan, J. T. and H. J. Mascagni. 1991. Environmental and soil factor affecting micronutrient deficiencies. PP. 371-425. *In: J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch (Eds.), Micronutrient in Agriculture. Soil Science Society of America Inc. Madison, WI.*
29. Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. PP. 403-429. *In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Madison, WI, ASA, SSSA.*
30. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-435. *In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2., Madison, WI: ASA, SSSA.*
31. Robson, A. D. and M. G. Pitman. 1983. Interactions between nutrients in higher plants. PP 287-312. *In: Lauchli, A. and Bielecki, R. L. (Eds.), Encyclopaedia of Plant Physiology. Vol 15A. New series. Springer-Verlag, Berlin and New York.*
32. Sedberry, J. E., F. J. Peterson, F. E. Wilson, D. B. Mengel, P. E. Schiling and R. H. Brupbacher. 1980. Influence of soil reaction and applications zinc on yields and zinc contents of rice plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 11:283-295.
33. Sharma, K. C., B. A. Krantz, A. L. Brown and J. Quick. 1968. Interaction of Zn and P in top and root of corn and tomato. *Agron. J.* 60:453-456.
34. Takkar, P. N., M. S. Mann, R. L. Bansal, N. S. Randhawa and H. Singh. 1976. Yield and nutrient uptake response of corn to zinc as influenced by phosphorus fertilization. *Agron. J.* 68: 942- 946.
35. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. *Methods of Soil Analysis.* PP. 475-490. *In: A. L. Page et al. (Ed.), Part 2. Madison, WI: Agron. ASA, SSSA*
36. Walkey, A. and I. A. Black. 1934 An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38
37. Welch, R. M., W. H. Alloway, W. A. House and J. Kubota. 1991. Geographic distribution of trace element problems. PP. 31-37. *In: J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch, Micronutrients in Agriculture, 2nd ed., 31-57. Madison, WI, SSSA.*
38. Yasrebi, J., N. Karimian, M. Maftoun, A. Abtahi and A. M. Sameni. 1994. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as influenced by soil physical and chemical properties and application of zinc sulfate. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25:2133-2145.
39. Zare, M., A. H. Khoshgoftarmanesh, M. Norouzi and R. Schulin. 2009. Critical soil zinc deficiency concentration and tissue Iron:Zinc ratio as a diagnostic tool for prediction of zinc deficiency in corn. *J. Plant Nutr.* 32:1983-1993.
40. Zhu, Y. G., S. E. Smith and F. A. Smith. 2001. Zinc (Zn) – Phosphorus (P) interactions in to cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in P uptake efficiency. *Ann. Bot.* 88: 941-945.
41. Zurayk, R. A., N. F. Houry, S. N. Talhouk and R. Z. Baalbaki. 2001. Salinity-heavy metals interactions in four salt-tolerant plant species. *J. Plant Nutr.* 24:1773-1786.