نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۵، ص. ۹۰۳-۸۹۲

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2016, p. 892-903

ارتباط عناصر کم‌مصرف با برخی خصوصیات خاک و لندفرم در اراضی آهکی دشت گلپایگان

مجتبی فتحی[1*]- احمد لندی[2]- محمد طهرانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۳۰

چکیده

خاک مهم‌ترین منبع تغذیه گیاه است و هر گونه کمبود یا بیش‌بود عناصر غذایی در خاک، رشد گیاه را محدود خواهد کرد. بنا بر این درک عوامل موثر بر توزیع عناصر غذایی، برای مدیریت خاک و کاربرد صحیح کودها ضروری است. به منظور بررسی و تعیین فراهمی آهن، منگنز، روی و مس در ۹۸ نمونه از خاک‌های آهکی دشت گلپایگان و ارتباط آن با ویژگی‌های اصلی خاک و لندفرم این پژوهش انجام شد. بر اساس نتایج دامنه تغییرات میزان عناصر آهن، منگنز، روی و مس قابل عصاره گیری با DTPA به ترتیب ۶/۴۶- ۱/۰۴، ۱۹/۸۲- ۱/۸۲، ۲/۲۴ — ۰/۰۲ و ۲/۳۸- ۰/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. کمبود آهن بیشترین گسترش را در منطقه مطالعاتی داشت. سمیت عناصر در هیچیک از نمونه‌ها مشاهده نگردید. همبستگی معنی‌داری بین میزان قابل جذب عناصر و برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک از قبیل بافت، میزان مواد آلی و آهک وجود داشت. آهکی بودن خاک‌ها و پائین بودن مادهٔ آلی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کمبود عناصر کم مصرف در منطقه است. بین مقدار قابل جذب آهن و منگنز و مس همبستگی مثبت مشاهده شد که می‌تواند به دلیل منشأ زمین‌شناسی یکسان این عناصر در خاک‌ها باشد. به رغم شباهت مواد مادری روند متفاوت فرایندهای خاکساز و هوازدگی بر میزان، گسترش و فراهم بودن عناصر کم‌مصرف تاثیر گذار بوده و واحدهای مختلف اراضی از نظر برخی عناصر تفاوت معنی‌دار نشان دادند. بیشترین مقدار عناصر ریزمغذی به جز در مورد منگنز در خاک‌های Torrifluvents وجود داشت. کمترین میزان روی و مس به ترتیب در واحدهای اراضی فلات و واریزه‌های بادبزنی مشاهده و تفاوت آن با دشت‌های سیلابی و دامنه‌ای (Entisols) معنی‌دار گردید. می‌توان گفت درجه متفاوت تکامل خاک از طریق تاثیر بر ویژگی‌های خاک چرخه عناصر ریزمغذی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تکامل خاک، خاک‌های آهکی، فراهمی عناصر ریزمغذی

مقدمه

جهت تامین غذای کافی برای جمعیت رو به رشد جهان، شناسایی و جبران کمبود عناصر ریزمغذی در اراضی تحت کشت اجتناب ناپذیر است. به رغم عمومیت کمبود این عناصر در سطح جهانی، تنوع شرایط خاک و اقلیم در نقاط مختلف در نحوه بروز و شدت کمبود و سمیت بسیار تاثیرگذار است. دستیابی به تصویر کلی از شرایط عناصر کم مصرف در مقیاس منطقه‌ای و برقراری ارتباط میان عناصر کم مصرف با خصوصیات خاک و لندفرم این امکان را فراهم می‌آورد که نواحی، خاک‌ها و شرایط محیطی که در آن‌ها وضعیت یک یا چند عنصر دچار کمبود یا سمیت است مکانیابی گردد که این امر خود می‌تواند به برنامه‌ریزی هدفمند آزمایشات مزرعه‌ای بیانجامد.

در ایران به دلیل شرایط آهکی خاک، وجود یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب آبیاری، مصرف بالای کودهای فسفره و عدم کاربرد مدیریت شده عناصر کم‌مصرف در سال‌های گذشته احتمال کمبود در اغلب مناطق کشور وجود دارد. کمبود عناصر کم مصرف در برخی موارد به دلیل اثرات متقابل عناصر موجود در خاک و عوامل محیطی بوده و به خصوصیات خاک‌ها بر می‌گردد. در برخی مناطق نیز کمبود یا سمیت عناصر کم مصرف ناشی از وضعیت مواد مادری خاک است (۲۱). این مسائل نشان‌دهنده پیچیدگی شناخت وضعیت عناصر کم-مصرف در خاک و روابط آن با عوامل محیطی می‌باشد. این عوامل باید با هم و به صورت تلفیقی در بررسی الگوی جغرافیایی نواحی دچار مشکل عناصر کم‌مصرف در نظر گرفته شود (۳۷).

فرایندهای گوناگون در خاک از قبیل ایجاد کمپلکس با لیگاندهای آلی و معدنی، تبادل یونی، جذب و دفع سطحی، رسوب، انحلال از فاز جامد و تعادل‌های اسید و باز بر توزیع عناصر کم‌مصرف

۱- مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: mjtb.fathi@gmail.com)
۲- استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج

موثر است (۳۱). وضعیت کلی فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک و ماهیت ذاتی هر عنصر اهمیت نسبی فرایندهای ذکر شده را تعیین می‌کند (۲۹ و ۳۰). در بررسی ارتباط ویژگی‌های اصلی خاک و میزان قابل جذب عناصر ریزمغذی، بسیاری از محققین واکنش خاک و ماهیت مواد آلی را به عنوان مهم‌ترین عامل معرفی کرده‌اند (۳، ۲۵، ۳۰، ۳۶ و ۴۰). برخی محققین ارتباط معنی‌دار کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان رس و شن با میزان قابل جذب عناصر کم‌مصرف در خاک را گزارش کرده‌اند (۲۹ و ۳۰). آهن قابل جذب بطور غالب تحت تاثیر فاز آلی خاک و عناصر روی و مس تحت تاثیر واکنش خاک و جذب بر سطوح کلویید بوده و در مورد منگنز وضعیت اکسیداسیون و احیا در خاک و ایجاد کمپلکس با ترکیبات طبیعی کلات کننده مهم‌تر می‌باشد (۱۰). قابلیت دسترسی عنصر مس در خاک با افزایش میزان مواد آلی و رس، افزایش و با زیاد شدن آهک و قلیائیت خاک کاهش نشان می‌دهد. غلظت کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم نیز بر جذب و آزادسازی مس از سطوح کلوییدی و پایداری کمپلکس‌های این عنصر با مواد آلی خاک موثر می‌باشد (۲۴). در مطالعه دیگری افزودن کود آلی به خاک باعث آزاد شدن مس تثبیت شده بر روی ذرات آهک و افزایش مس کمپلکس با مواد آلی و در نهایت بهبود عملکرد ذرت گردید (۲۶). برخی تحقیقات نشان می‌دهد غلظت منگنز محلول و قابل تبادل با قلیایی شدن واکنش خاک افزایش و با کم شدن رس و مواد آلی کاهش می‌یابد (۳۲). منگنز در خاک به اشکال محلول، تبادلی، قابل احیا و فعال وجود دارد. منگنز دو ظرفیتی بطور عمده بصورت جذب شده بر روی سطوح رس و مواد آلی دیده می‌شود. فرایندهای اکسیداسیون و احیا تاثیر قابل توجه بر وضعیت منگنز دوظرفیتی در خاک و در نهایت قابل دسترس بودن این عنصر برای گیاه دارد.

ارتباط عوامل محیطی موثر بر تغییرات ویژگی‌های خاک از قبیل اقلیم، موقعیت لندفرم و میزان تکامل خاک با میزان قابل جذب عناصر کم مصرف مطالعات متعدد تایید شده است. لندفرم نمایانگر شکل‌های سطح زمین و فرایندهای موثر بر آن در گذشته و حال می‌باشد و شناخت ارتباط آن با خاک از ابزارهای اصلی پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک است. طبقه‌بندی لندفرم‌ها به روش تشخیص بصری و تحلیل نقشه رقومی ارتفاع امکان‌پذیر است. راسجن و همکاران (۲۷) ارتباط برخی خواص مانند واکنش خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی را گزارش کرده و نشان داده‌اند میزان مس در خاک تراس‌ها بیش از موقعیت پلاتو و دشت بوده است. شارما و همکاران (۲۸) نشان دادند میزان آهن، مس، منگنز و روی قابل جذب در رژیم‌های رطوبتی اکوئیک بیشترین و یوستیک متوسط و در اریدیک کمترین مقدار را داشته است. نائل و همکاران (۲۱) ارتباط توزیع برخی عناصر کم مصرف و عوامل ژئوپدولوژیک را بررسی و نشان دادند غلظت عناصر کم‌مصرف در درجه اول تابع نوع مواد مادری و سپس فرایندهای خاکساز می‌باشد. ولی برخی محققین اهمیت فرایندهای خاکساز را بیشتر از مواد مادری گزارش کرده‌اند (۱۱، ۱۳ و ۲۸).

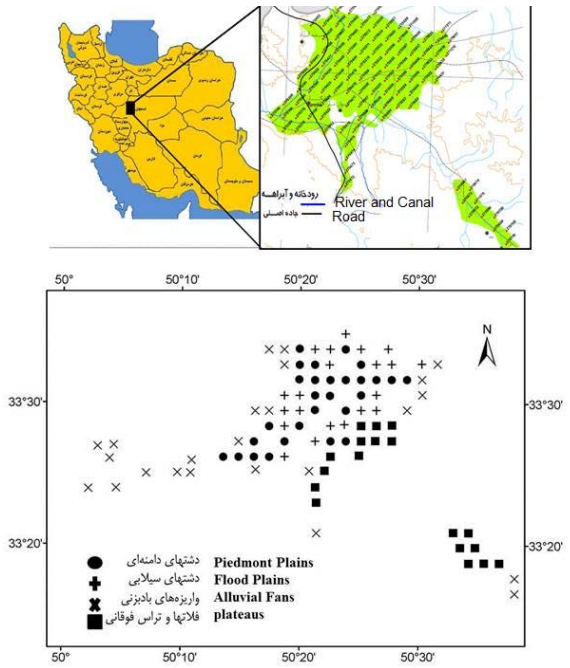
ارتباط عناصر کم‌مصرف و رده‌بندی خاک توسط برخی محققین بررسی شده است (۱۲، ۱۵ و ۳۹). هاک و همکاران (۹) در بررسی ۳۲ نمونه خاک سطحی در اتیوپی میزان قابل جذب عناصر ریزمغذی را در خاک‌های مالی‌سول، آلفی‌سول و ورتی‌سول بیشتر از اینسپتی‌سول و اریدی‌سول و در خاک‌های انتی‌سول کمترین مقدار گزارش کردند در کل می‌توان گفت برخی عوامل موثر بر قابل دسترس بودن، توزیع و چرخش عناصر ریزمغذی در خاک از قبیل مواد آلی، کربنات‌ها، رس، و واکنش خاک اغلب در تعریف و تفکیک افق‌های مشخصه و رده‌بندی خاک نیز به کار گرفته می‌شود (۹). چن و همکاران (۴) با بررسی غلظت هشت عنصر ریزمغذی در ۲۱۰ نمونه خاک سطحی فلوریدا نتیجه‌گیری کردند قابلیت جذب عناصر به ترتیب در خاک‌های هیستوسول، اینسپتی‌سول، مالی‌سول، اولتی‌سول، آلفی‌سول و اسپادوسول بیشترین مقدار را داشته است. بر خلاف این شارما و همکاران (۲۸) در خاک‌های شاخص دشت گنگ چنین ارتباطی مشاهده نکردند.

خاک‌های دشت گلپایگان در مرکز ایران آهکی بوده و واکنش آن خنثی تا کمی قلیایی می‌باشد. بطور کلی کمبود عناصر ریزمغذی در مناطق خشک و نیمه خشک ایران مشکل عمده‌ای به شمار می‌رود (۱۸). عدم مصرف کودهای حاوی این عناصر به مقدار و شکل مناسب باعث تشدید مشکلات تغذیه گیاه در این اراضی می‌شود. اطلاعات ناچیزی در مورد قابل دسترس بودن عناصر کم مصرف غذایی و عوامل موثر بر توزیع آن‌ها در اراضی آهکی ایران مرکزی وجود دارد. با توجه به وجود نقشه‌های خاکشناسی در مقیاس منطقه‌ای تهیه شده توسط موسسه تحقیقات خاک و آب در این مناطق در صورت شناسایی روابط احتمالی بین قابلیت دسترسی عناصر ریزمغذی و ویژگی‌های خاک و اراضی استفاده از نقشه‌های خاک برای پیش‌بینی نسبی وضعیت عناصر کم‌مصرف امکان‌پذیر خواهد بود (۱). از طرف دیگر تبادل اطلاعات مربوط به تحقیقات تغذیه گیاه از این طریق بین مناطق دارای خاک مشابه ممکن می‌گردد. تحقیق حاضر به منظور تعیین میزان قابل دسترس عناصر آهن، منگنز، روی، و مس و بررسی روابط بین میزان عناصر و ویژگی‌های عمده خاک در مقیاس ناحیه‌ای و تغییرات آن بین شکل‌های اراضی مختلف دشت گلپایگان در مرکز ایران انجام گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از دشت گلپایگان به وسعت ۴۰۰۰۰ هکتار بوده که در غرب استان اصفهان بین °۵۰ تا ´۴۰°۵۰ طول شرقی و ° ۳۳ تا ´ ۳۳°۴۵ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱).

ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۷۹۰ متر بوده و مرتفع ترین کوه‌ها حدود ۳۱۰۰ متر و گودترین قسمت دشت ۱۷۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد. تشکیلات زمین‌شناسی منطقه بطور عمومی از سنگ‌های آهکی و شیست‌های ژوراسیک است. رژیم رطوبتی منطقه مورد مطالعه اریدیک و رژیم حرارتی آن ترمیک می‌باشد. میانگین حداقل درجه حرارت سردترین ماه سال در ایستگاه شرکت زراعی گلپایگان۶- درجه سانتی‌گراد و در گرم‌ترین ماه‌های سال میانگین حداکثر حرارت ۳۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. میزان بارندگی سالیانه به طور متوسط ۲۴۴ میلی‌متر است (۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

Figure 1. Location and physiographic condition of sampling points

شکل‌های اراضی موجود در منطقه، باقیمانده فلات‌های مرتفع و تراس‌های قدیمی، آبرفت‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار، دشت دامنه‌ای و دشت‌های سیلابی می‌باشد (جدول ۱). دشت‌های دامنه‌ای با شیب ۲/۵ تا ۲ درصد، دارای خاک‌های عمیق با بافت سنگین (توری فلونتز[1]) و بصورت عمومی همراه با تکامل پروفیلی و طبقه متمرکز آهکی، فلات‌های و تراس‌های فوقانی، با شیب کلی۱ تا ۲ درصد و شیب جانبی ۳ تا ۵ درصد، دارای خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه‌دار با بافت سبک تا متوسط (هاپلو کلسیدز[2]) که بر روی تجمع مواد آهکی قرار گرفته می‌باشد. واحد اراضی دشت سیلابی بصورت کلی مسطح و با شیب ۰/۵ تا ۱ درصد بوده، خاک‌های واقع در آن عمیق با بافت متوسط تا سنگین (فلاواکونتز[3]) و با کمی شوری است (۲۰). واحد اراضی واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار با پستی و بلندی کم و شیب ۳ تا۵ درصد بوده و دارای خاک‌های نیمه عمیق با بافت متوسط تا سنگین (توری ارتنتز[4]) و سنگریزه است (۲۰).

کاربری اراضی منطقه کشاورزی بوده و در بخشهای زیر کشت معمولاً ذرت، گندم، جو و علوفه به صورت آبی کشت می‌گردد. اطلاعی از میزان مصرف کودهای ریز مغذی در مناطق مختلف دشت در دسترس نمی‌باشد. آب مورد نیاز آبیاری از بطور عمده از رودخانه قم رود و منابع آب زیرزمینی تامین می‌گردد. این آب‌ها بطور معمول از کیفیت مناسب برخوردار بوده و در قسمت انتهایی دشت شور و کیفیت مناسبی ندارد.

نمونه‌برداری از خاک سطحی بر اساس شبکه بندی منظم در سیستم تصویر UTM با ابعاد ۲۰۰۰ متر انجام شد. موقعیت نمونه‌های خاک در محل هر گره از شبکه نمونه‌برداری با GPS تعیین گردید. محل نمونه‌برداری در وسط مزرعه و به دور از جاده یا مرز مزارع تعیین و در داخل مزرعه مورد نظر یک قطعه یک هکتاری انتخاب شده و در داخل قطعه به روش شعاعی (دایره‌ای به شعاع ۵۰ متر که مرکز آن توسط مکانیاب GPS تعیین شد) نمونه‌برداری گردید. نمونه‌های مرکب ۵ کیلوگرمی به طور متوسط متشکل از ۴۰-۱۵ نمونه ساده می‌باشد. مقدار نمونه‌های ساده مورد نیاز به یکنواختی و بزرگی هر واحد بستگی و در هر واحد حد اقل ۱۵ نمونه ساده برداشته شد. نمونه‌برداری تا عمق ۶۰ سانتی‌متر به صورت مرکب انجام و در مجموع ۹۸ نمونه خاک برداشت و نمونه‌ها به آزمایشگاه خاکشناسی موسسه تحقیقات خاک و آب منتقل و عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز، روی و مس قابل جذب در خاک با عصاره‌گیر DTPA استخراج و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. در مرحله عصاره‌گیری، ده گرم خاک با ۲۰ میلی‌لیتر از محلول DTPA به مدت دو ساعت با شیکر دورانی مدل GFL و دور ۱۵۰ شیک شده و در نهایت با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد (۱۹). کربن آلی، آهک، فسفر قابل جذب و پتاسیم به روش‌های استاندارد موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (۱). محاسبه آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل اجرا و میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن گروه‌بندی شد. محاسبات آماری با بسته نرم افزاری SPSS انجام گردید.

1- *Torrifluvents*
2- *Haplocalcids*
3- *Fluvoaquents*
4- *Torriorthents*

جدول ۱- مشخصات شکل‌های اراضی موجود در منطقه

Table 1- Some studied landforms properties

واحد اراضی Land unit	رده‌بندی* Taxonomy	بافت خاک Texture	عمق خاک Soil Depth	شیب Slope (%)
دشت‌های دامنه‌ای Piedmont	Torrifluvents	سنگین Heavy	عمیق Deep	0.5- 2
دشت‌های سیلابی Flood plains	Fluvoaquents	متوسط – سنگین Moderate – Heavy	عمیق Deep	0.5- 1
واریزه‌های بادبزنی Alluvial fans	Torriorthents	متوسط – سنگین Moderate – Heavy	-	3- 5
فلات‌ها و تراس فوقانی Plateaus	Haplocalcids	سبک – متوسط Light- Moderate	-	1- 2

Soil taxonomy 2010

*تاکسونومی ۲۰۱۰

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک

توصیف آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۲ خلاصه شده است. در این جدول آماره‌های میانگین، حداقل و حداکثر، چولگی، کشیدگی و دامنه تغییرات هر عنصر در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. بطور کلی خاک‌ها بر روی مواد مادری آهکی تکامل پیدا کرده و بیش از ۶۰ درصد نمونه‌ها دارای آهک بالاتر از ۲۰ درصد است. مقدار ماده آلی در نمونه‌ها ناچیز و در ۹۰ درصد خاک‌ها کمتر از دو درصد بود. از نظر بافت خاک بیشتر مناطق دارای رس زیاد و ۵۰ درصد نمونه‌ها دارای بافت لوم رسی و سنگین‌تر بود. دامنه فسفر قابل جذب خاک‌ها بین ۳ تا ۵۳ و در ۶۰ درصد نمونه‌ها کمتر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و میزان پتاسیم خاکها از ۳۰۰ تا ۶۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میانگین حداقل ضریب تغییرات عناصر در منطقه ۴۴ درصد در مورد آهن و حداکثر تغییرات ۷۵ درصد برای فسفر می‌باشد.

جدول ۲- برخی آمار توصیفی متغیرهای مورد مطالعه

Table 2. Some descriptive statistics of physical and chemical properties of the soils

عنصر Element	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	میانه Mode	ضریب تغییرات Cv (%)	کشیدگی Skew	چولگی Court
Fe*	3.34	6.46	1.04	3.05	44.06	0.47	-0.6
Zn	0.84	2.24	0.02	0.72	73.07	0.79	-0.47
Mn	6.97	19.82	1.82	6.32	61	1.01	0.73
Cu	0.93	2.38	0.16	0.87	51.38	0.66	0.26
P	15.49	52.6	3.42	12.24	75.05	0.98	0.85
K	295	693	61	286	52.41	0.54	0.57
SOM**	1.1	2.7	0.1	0.9	54.92	0.53	-0.36
TNV	20	61		23	71.94	0.25	-0.72
Clay	25	48	۰	26	44.27	-0.30	-0.24
Silt	3	66	۰	40	38.83	-0.63	0.5
Sand	32	76	۰	28	56.82	0.33	-0.76

Fe, Zn, Cu, K and P ($mgKg^{-1}$)

SOM, TNV, Clay, Silt And Sand % **

تغییرپذیری زیاد فسفر قابل استفاده که از عناصر کم تحرک می‌باشد قابل تأمل بوده و بصورت محتمل توسط سطوح مختلف مصرف کود توسط زارعین، تغییرپذیری زیاد از خود نشان می‌دهد. متغیرهای اندازه‌گیری شده دارای توزیع نرمال می‌باشد. مقادیر ضریب چولگی ارائه شده در جدول ۱ (مقادیر بین ۱ و ۱-) و نزدیک بودن مقادیر میانگین و میانه نتیجه‌گیری مزبور را تایید می‌کند.

جدول ۳ مقایسه وضعیت آهن، روی، منگنز و مس قابل جذب با حدود بحرانی را نشان می‌دهد (۱۹). کمبود عناصر ریزمغذی قابل جذب در خاک‌های مورد بررسی عمومیت دارد. نتایج نشان داد وضعیت آهن و روی در اراضی مورد مطالعه بحرانی‌تر از مس و منگنز بوده است. در تمامی نقاط مورد مطالعه میزان مس و منگنز در حد کفایت بوده و کمبود آهن در مقایسه با روی مشکل عمده‌تری به شمار می‌آید.

جدول ۳- مقایسه غلظت آهن، روی، منگنز و مس (میلی‌گرم در کیلوگرم) قابل جذب با حدود بحرانی در خاک

Table 3.Comparison of available Fe, Zn, Mn and Cu concentrations (mg kg^{1}) in soils with critical levels

خاک Soil			حد بحرانی	نمونه‌های زیر حد بحرانی
عنصر Element	میانگین Mean	دامنه Range	Critical level	Samples less than Critical level (%)
Fe	3.3	1.04- 6.46	5	84
Zn	0.8	0.02- 2.24	0.5	38
Mn	7	1.82- 19.82	5	37
Cu	0.9	0.16- 2.38	0.3	10

این امر علاوه بر منشأ مواد مادری و تأثیر ویژگی های خاک بر کاهش میزان قابل جذب، می‌تواند به دلیل مدیریت متفاوت کشاورزان در مناطق مورد مطالعه باشد. سمیت عناصر کم‌مصرف در هیچکدام از نمونه‌ها دیده نشد. در غالب خاک‌ها فقر آهن قابل دسترس بر اساس عصاره‌گیری با DTPA مشاهده و ۸۴ درصد نمونه‌ها آهن قابل جذب کمتر از حد بحرانی داشت. کمبود آهن بر اساس مطالعات به همراه عنصر روی بیشترین اهمیت را در خاک‌های آهکی ایران به خود اختصاص داده است (۲۰). دامنه تغییرات آهن بین ۱/۴۰ تا ۶/۴۶ و میانگین آن ۳/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. کمبود آهن با توجه به آهکی بودن خاک‌ها در محدوده مطالعاتی دور از انتظار نبوده و بویژه برای کشت گیاهان حساس مانند بقولات باید مورد توجه قرار گیرد. روی و منگنز در بیشتر خاک‌ها بالاتر از حد بحرانی و به ترتیب میانگین آن برابر ۰/۸ و ۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. عنصر مس در۹۰ درصد خاک‌ها غلظت قابل دسترس بیش از حد بحرانی داشته است. لیندزی و نورول (۱۹) حد بحرانی عناصر ریزمغذی برای کشت ذرت را در خاک‌های نزدیک به خنثی و آهکی بر اساس عصاره‌گیری با DTPA ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، و به ترتیب ۴/۵، ۱ و ۰/۲ آهن منگنز و مس گزارش کردند. بر این اساس ۸۰ درصد خاک‌های بررسی شده آهن کافی برای کشت ذرت ندارد.

جدول ٤- همبستگی غلظت آهن، روی، منگنز و مس قابل جذب و برخی خصوصیات خاک

Table 4. Correlation coefficient (r) between DTPA-extractable Fe, Mn, Zn, and Cu and some soil properties

	P	Fe	Zn	Mn	Cu	SOM	TNV	Sand	Silt	Clay
P	1									
Fe	0.23**									
Zn	0.32**	0.23**								
Mn	0.33**	0.65**	0.27**							
Cu	0.20*	0.45**	0.14	0.21*						
SOM	0.33**	0.22**	0.31**	0.13	0.23**					
TNV	-0.11	-0.37**	-0.06	-0.16	-0.22**	-0.01				
Clay	-0.24**	0.11	0.01	0.1	0.48**	0.21*	0.02			
Silt	0.23*	0.15	0.26**	0.09	0.32**	0.33**	0.07	0.52**		
Sand	-0.13	0.11	-0.02	0.01	0.33**	-0.30**	-0.17	0.40**	-0.33**	

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

*and **represent 0.05 and 0.01 levels of significance, respectively

جدول ۴ همبستگی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک را نشان می‌دهد. مقدار قابل جذب آهن، منگنز و مس همبستگی مثبت نشان می‌دهد که می‌تواند به دلیل منشأ زمین‌شناسی یکسان این عناصر در خاک‌ها باشد. همچنین بین میزان قابل جذب عناصر و برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک از قبیل بافت، میزان مواد آلی و آهک وجود داشت. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ماهیت متفاوت خاک‌ها و فرآیندهای غالب در هر یک به موازات الگوی مصرف کودهای ریزمغذی در تعیین میزان فراهمی عناصر کم مصرف نقش دارد. همبستگی فراهمی عناصر کم‌مصرف و ویژگی‌های خاک در تحقیقات متعدد گزارش گردیده است (۵ و ۳۰).

فراهمی عناصر کم‌مصرف

آهن

بر اساس نتایج، آهن قابل دسترس همبستگی معنی‌داری با میزان مواد آلی و آهک خاک دارد. همبستگی معنی‌دار آهن قابل دسترس خاک و مواد آلی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (۲۹، ۳۰ و ۳۶). در مورد آهن بر خلاف مس و روی جذب سطحی ذرات رس اهمیت ندارد (۱۰). آهن قابل جذب بطور غالب تحت تاثیر فاز آلی خاک می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده در نقاط مختلف دنیا در مورد منگنز و آهن رسوب و انحلال و وضعیت اکسیداسیون و احیا در خاک و ایجاد کمپلکس با ترکیبات طبیعی کلات کننده مهم‌تر می‌باشد.

همبستگی منفی آهن قابل جذب و آهک معنی‌دار می‌باشد (R^2=-۰/۳۷**). در تحقیقات دیگر نیز کمبود آهن در خاک‌های آهکی، قلیایی، و خاک‌های فشرده شده با تهویه نامناسب و خاک‌های شنی با مواد آلی ناچیز گزارش شده است (۲۴). آماری و منگل (۳) نشان دادند در خاک‌های آهکی ۹۰ درصد آهن محلول بصورت کلات با مواد آلی وجود دارد ولی با افزایش آهک فعال درصد آهن کلات شده کاهش پیدا می‌کند. حضور آهک آزاد در اندازه ذرات رس و ریزتر بر قابل دسترس بودن عناصر کم‌مصرف آهن، روی، منگنز و مس موثر است. لیندزی (۱۶) اعتقاد دارد فرایند تاثیر مواد آلی بر حلالیت آهن در خاک‌های آهکی از طریق احیا کردن آهن سه ظرفیتی می‌باشد اما گیگر و لوپرت (۶) معتقدند منبع اصلی آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک‌های آهکی بلورهای ضعیف اکسید آهن متصل با ترکیبات آلی است. در کل می‌توان گفت جذب سطحی نقش ناچیزی در قابل دسترس بودن آهن در خاک‌های آهکی دارد. آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA با آهک و مواد آلی خاک رابطه معنی‌داری دارد. نتایج رگرسیون گام به گام طبق رابطه زیر، نشان می‌دهد آهک و میزان ماده آلی خاک در تعیین آهن قابل جذب خاک نقش مهم‌تری داشته است.

آهن قابل جذب = ۰/۵۱× مواد آلی − ۰/۰۳۵ × آهک + ۳/۵۵ (R^2**= 0.25)

مس

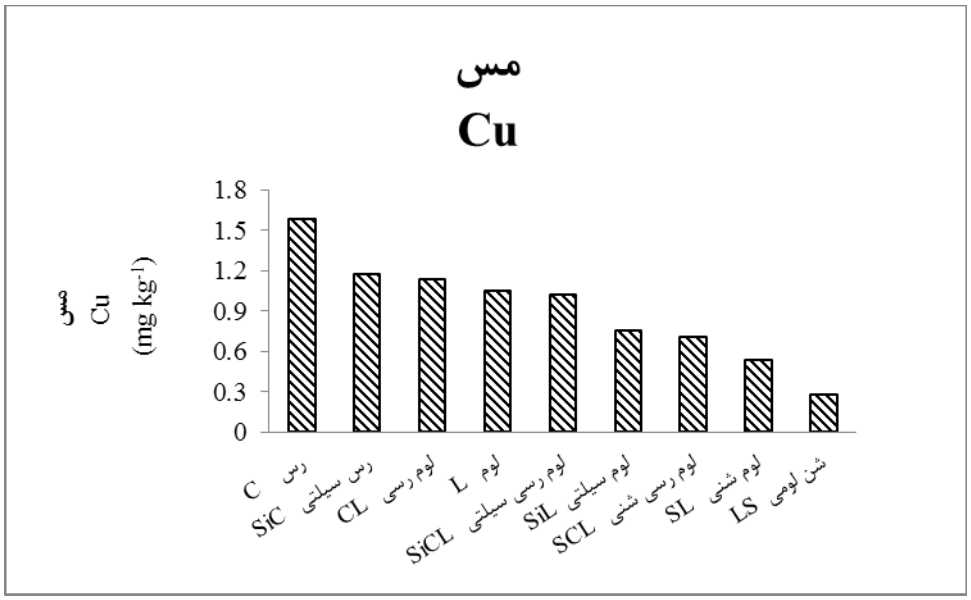
در خاک‌های مورد بررسی دامنه تغییرات مس قابل عصاره‌گیری با DTPA از ۰/۶ تا ۲/۳۸ و میانگین آن برابر ۰/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و تنها در ۱۰ درصد خاک‌ها کمتر از حد بحرانی بوده است. همبستگی مس قابل جذب و ویژگی‌های خاک مانند بافت، مواد آلی و میزان آهک معنی‌دار می‌باشد. یافته‌های وو و همکاران (۴۰) در مورد اثر مواد آلی و واکنش خاک بر فراهمی مس نیز موید چنین مطلبی می‌باشد. قاسمی و همکاران (۷) در خاک‌های آهکی ایران تاثیر آهک، ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان رس خاک بر فراهمی عنصر مس را گزارش کردند. حلالیت و فراهمی مس در خاک بصورت غالب تحت تاثیر جذب سطحی بر روی کلوییدهای خاک می‌باشد (۱۰). در مطالعات لیندسی و نرول (۱۷) نیز به رغم کفایت میزان مس در همه نمونه‌ها همبستگی میزان قابل جذب این عنصر با ویژگی‌های خاک گزارش شده است. در این مطالعات در خاکهای اریدی‌سول با میزان رس و مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی کم مس قابل جذب کمتری مشاهده گردیده است. میزان مس در خاک‌های مطالعه شده با افزایش میزان مواد آلی و رس خاک افزایش و با زیاد شدن میزان آهک کاهش نشان می‌دهد. شکل ۲ میانگین مس قابل جذب در کلاس‌های مختلف بافت خاک را نشان می‌دهد.

در تحقیقات نایر و همکاران (۲۴) نیز چنین روندی گزارش شده است. نتایج رگرسیون چندگانه گام به گام در رابطه زیر نشان می‌دهد بصورت نسبی بافت، آهک و مواد آلی بیشترین اثر را در بر آورد فراهمی مس در خاک داشته است.

مس قابل جذب = ۰/۲۱× رس + ۰/۰۰۷× سیلت + ۰/۰۶۳× مواد آلی − ۰/۰۰۹ × آهک + ۰/۲۴ (R^2**= 0.37)

روی

میانگین عنصر روی قابل جذب در خاک‌ها ۰/۸ و تغییرات آن بین ۰/۰۲ و ۲/۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و فقط ۳۸ درصد نمونه‌ها دارای غلظت کمتر از حد بحرانی بود. چنانچه در جدول ۳ مشاهده می‌شود میزان روی قابل جذب همبستگی معنی‌دار با میزان میزان مواد آلی خاک داشته است. محققین دیگر نیز همبستگی مثبت میزان مواد آلی با قابلیت جذب عنصر روی را گزارش کرده‌اند (۸ و ۳۲). کمبود عنصر روی معمولاً در خاک‌های درشت بافت و حاوی مواد آلی ناچیز، دارای آهک آزاد و قلیایی مشاهده می‌شود (۹).



شکل ۲- میانگین مس قابل جذب در کلاس های مختلف بافت خاک

Figure 2. Mean available Cu of the soils as a function of soil texture

در برخی مطالعات کمبود روی مرتبط با کم بودن سرعت آزاد شدن آن از کمپلکس‌های تشکیل شده با مواد آلی گزارش شده است (۸). نقش تبادلی فاز آلی خاک بر قابل دسترس بودن عنصر روی توسط وو و همکاران (۴۱) در خاک‌های داکوتا، ناسیمنتو و همکاران (۲۳) در خاک‌های شاخص ایالت پرنامبوکوی برزیل و جیانگ و همکاران (۱۴) در برخی خاک‌های شمال چین نیز گزارش گردیده است. هالوین و همکاران (۱۰) معتقدند بیش از نیمی از روی محلول بصورت کمپلکس با مواد آلی بوده و حلالیت آن تحت تاثیر واکنش خاک می‌باشد. ونمینگ و همکاران (۳۸) آهک را به عنوان عامل اصلی در تثبیت روی ذکر کرده‌اند ولی در تحقیق حاضر رابطه معنی‌دار بین فراهمی عنصر روی و آهک خاک مشاهده نگردید. همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود میزان روی قابل جذب همبستگی معنی‌دار با میزان میزان فسفر خاک داشته است. تاثیر فسفر خاک بر میزان قابل جذب عنصر روی نیز در برخی مطالعات گزارش شده است (۲۲). نتایج تحقیقات امینی و همکاران (۲) در ایران نشان داد که کودهای فسفاته حاوی عناصر کم مصرف نظیر روی هستند. با توجه به مصرف بی رویه کودهای فسفاتی توسط کشاورزان در منطقه، می توان همبستگی بالای بین غلظت روی با فسفر خاک را به این کودها مربوط دانست. نتایج رگرسیون گام به گام در رابطه زیر نشان می‌دهد میزان مواد آلی و فسفر خاک بیشترین اثر را بر فراهمی روی داشته است.

روی قابل جذب = ۰/۲۳× مواد آلی + ۰/۰۱۳× فسفر + ۰/۴۲ (R^{2**}= 0.20)

منگنز

تغییرات منگنز قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک‌ها بین ۱/۸ تا ۱۹/۸۲ و میانگین آن ۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و در ۳۷ درصد نمونه‌ها غلظت منگنز کمتر از حد بحرانی بود. از بین ویژگی‌های خاک غلظت منگنز با فسفر قابل جذب همبستگی معنی‌دار نشان داد. همبستگی منگنز قابل جذب با فسفر خاک در برخی مطالعات گزارش شده است (۳۷). با این حال در دسترس بودن منگنز در مقایسه با دیگر عوامل در خاک، بیشتر تحت تاثیر واکنش‌های اکسیداسیون و احیا بوده و رسوب و انحلال در اثر تغییر پتانسیل اکسیداسیون و احیا در خاک بر آن موثر می‌باشد (۱۰). نتایج رگرسیون چند گانه گام به گام نشان داد فسفر در برآورد منگنز قابل جذب در خاک‌های منطقه نقش دارد.

منگنز قابل جذب = ۰/۱۲× فسفر + ۵/۱۸ (R^{2**}= 0.21)

وضعیت عناصر کم‌مصرف در اشکال مختلف اراضی

آمار توصیفی ویژگی‌های خاک در اراضی مورد مطالعه با واحدهای شکل اراضی متفاوت، نشان داد که اغلب واحدهای اراضی از نظر میزان فراهمی برخی عناصر ریزمغذی دارای تفاوت معنی‌دار با واحدهای مجاور می‌باشد.

در جدول ۵ خصوصیات خاک‌ها در ارتباط با موقعیت فیزیوگرافی نشان داده شده است. تفاوت برخی ویژگی‌های خاک بین واحدهای اراضی منطقه قابل توجه و معنی‌دار است.

جدول ۵- مقایسه خصوصیات خاک و غلظت عناصر ریزمغذی در اشکال مختلف اراضی
Table 5- comparison of some soil properties and micronutrients concentration in different landform

	Zn	Fe	Cu	Mn	P	K	SOM (%)	TNV (%)	Clay (%)
دشتهای دامنه‌ای Piedmont plains	1.3a	3.7a	1.2a	6.7a	6.7a	335ab	1.4a	20a	33a
دشت‌های سیلابی Flood plains	0.8bc	3a	0.9c	7.2a	14.2b	361a	1ab	21.2a	26b
واریزه‌های بادبزنی Alluvial fans	1ab	3a	0.6c	7.5a	16.7b	272abc	1.2ab	19a	19c
فلات‌ها و تراس فوقانی Plateaus	0.7c	3.3a	0.7c	6.7a	10.9c	217c	0.6b	25.9a	20bc

اعداد با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار($P<0.05$) با هم ندارند
Means followed by the same letter in each column were not significantly different ($P<0.05$)

بیشترین میزان رس خاک بر اساس تجزیه بافت در واحد اراضی دشت‌های دامنه‌ای (Torrifluvents) با ۳۳ درصد و کم‌ترین در واریزه‌ها (Torriorthents) به میزان ۱۹ درصد مشاهده گردید. کمترین میزان مواد آلی خاک در فلات‌ها برابر ۶/ ۰ درصد و بیشترین در دشت دامنه‌ای ۱/۴ درصد بوده و همه واحدهای اراضی میزان قابل توجهی آهک دارد. واحدهای اراضی مطالعه شده از نظر عناصر ریزمغذی تفاوت نشان می‌دهد. در دشت‌های دامنه‌ای که میزان رس و مواد آلی در خاک قابل توجه است فراهمی روی و مس بیشتر می‌باشد. این امر را می‌توان با اهمیت فرایند تبادل کاتیونی در فراهمی این دو عنصر مرتبط دانست. این حقیقت در مطالعات انجام شده در دیگر نقاط دنیا هم گزارش شده است (۸ و ۳۲). الفولی و همکاران (۵) بر اساس آزمون ۱۰۰۰۰ نمونه خاک دره رود نیل در مصر نشان دادند کمبود آهن در مناطق آهکی، کمبود روی در اراضی شنی و کمبود منگنز در آبرفت‌های لومی عمومیت دارد. کمترین میزان روی در فلات‌ها (Aridisols) به میزان ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده که تفاوت آن با دشت‌های سیلابی و دامنه‌ای (Entisols) معنی‌دار می‌باشد. آهک خاک در فلات‌ها بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده و می‌توان گفت تثبیت روی و مس بر روی ذرات ریز آهک باعث این امر گردیده است. در مورد عناصر آهن و منگنز تفاوت قابل توجه بین واحدهای اراضی مشاهده نمی‌گردد. اهمیت نسبی کمتر تبادل و تثبیت در فراهمی منگنز و آهن در خاک در مقایسه با فرایندهای اکسیداسیون و احیا و رسوب و انحلال می‌تواند دلیل این پدیده باشد. مطالعات هالوین و همکاران (۱۰) هم موید این مطلب می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

فراهم بودن عناصر کم‌مصرف در خاکهای آهکی دشت گلپایگان نقش کلیدی در عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی منطقه دارد. نتایج نشان داد کمبود آهن در خاک‌های مطالعاتی از دیگر عناصر شدیدتر و کمبود مس در خاک‌ها قابل توجه نمی‌باشد. به رغم شباهت مواد مادری (ته‌نشست‌های آهکی) روند متفاوت فرایندهای خاکساز و هوازدگی بر میزان، گسترش و فراهم بودن عناصر کم‌مصرف تاثیر گذار بوده است. نتایج نشان می‌دهد که فراهمی عناصر ریز مغذی بررسی شده در خاک‌های منطقه به طور عمده تحت تأثیر ویژگی‌های خاک از قبیل بافت و مواد آلی و در اشکال مختلف اراضی متفاوت می‌باشد. همچنین تغییرات این عناصر در خاک نقاط مختلف می‌تواند نتیجه تغییر در محیط‌های رسوبگذاری و یا اختلاف در مراحل خاکسازی یا هیدرولوژیکی برای موقعیت‌های مختلف شکل‌های اراضی و تفاوت در میزان و نوع رسوبات بادی و کیفیت آب آبیاری باشد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تفاوت ویژگی‌های خاک و فرآیندهای غالب موثر بر فراهمی عناصر در نقاط مختلف دشت به موازات الگوی مصرف کودهای ریزمغذی در تعیین میزان فراهمی عناصر کم مصرف نقش دارد. بنابراین در شناسایی و مدیریت عناصر کم‌مصرف در مقیاس محلی و منطقه‌ای، در نظر گرفتن این حقیقت در کنار تاثیر عوامل مدیریت کشت مانند میزان مصرف کودهای ریزمغذی، آبیاری و الگوی می‌تواند مفید واقع گردد.

منابع

1- Aliehiaii M., and Behbahani A. 1992. Method of soil analysis. SWRI Pub. No 893, Tehran. (in Persian)
2- Amini M., Afyuni M., Khademi H., Abbaspour K. C. and R. Schulin. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of central Iran. Science Total Environment, 347: 64-77.
3- Ammari T., and Mengel K. 2006.Total soluble Fe in soil solutions of chemically different soils. Geoderma, 136: 876–885.
4- Chen M., Ma L.Q., and Harris W.G. 1999. Baseline concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. Journal of Environmental Quality, 28: 1173–1181.
5- El-Fouly M.M., Fawzi A.F.A., Firgany A.H., and El-Baz, F.K. (1984) Micronutrient status of crops in selected areas in Egypt. Commun. Soil Science and Plant Analysis, 15(10): 1175–1189.
6- Geiger S.C., and Loeppert R.H. 1986. Correlation of DTPA extractable Fe with indigenous properties of selected calcareous soils. Journal of Plant Nutrition, 9(3–7): 229–240.
7- Ghasemi-Fasaei, R., Maftoun M., Ronaghi A., Karimian N., Yasrebi J., Assad M.T., and J.A. Ippolito. 2006. Kinetics of copper desorption from highly calcareous soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37: 797–809.
8- Gupta V.K., Gupta, S.P., Kala, R., Potalia, B.S. and Kaushik, R.D. (1994) Response of crops to micronutrients and amelioration. Twenty five years of micronutrient research in soils and crops of Haryana. Research. Bulletin, CCSHAU, Hisar, 1: 1–99.
9- Haque I., N Z. Lupwayi, and T. Tadesse. 2000. Soil micronutrient contents and relation to other soil properties in Ethiopia. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 31:2751–2762.
10- Havlin J. L., Beaton J. D., Tisdale S. L., and Nelson W. L. 1999. Soil fertility and fertilizers an introduction to nutrient management, 6th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
11- Hodgson J. F. 1963. Chemistry of micronutrient elements in soils. Advances in Agronomy, 15: 119–150.
12- Holmgren G. G. S., Meyer M. W., Chaney R. L., and Daniels R. B. 1993. Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the USA. Journal of Environmental Quality, 22: 335–348.
13- Jenkins D. A., and Wyn Jones R. G. 1980. Trace elements in rocks, soils, plants and animals: Introduction, pp. 1–20, in B. E. Davies, ed., Applied Trace Elements. Wiley, Chichester, UK.
14- Jiang Y., Zhang Y.G., Zhou D., Qin Y., and Liang W. J. 2009. Profile distribution of micronutrients in an aquic brown soil as affected by land use. Plant Soil Environment, 55(11): 468–476.
15- Katyal J.C., and Vlek P.L.G. 1985. Micronutrient problems in tropical Asia. Fertilizer Research, 7: 69–94.
16- Lindsay W.L. 1991. Iron oxide solubilization by organic matter and its effect on iron availability. Plant and Soil, 130(1–2): 27–34.
17- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. DTPA soil test method for determining available micronutrient cations. Soil Science Society American Journal, 42: 421–428.
18- Malakouti M.J. 2008. The effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 32: 215–220.
19- Malakouti M.J., And Nafisi, M. 1993. Fertilizer consumption in Iran agriculture. Tarbiat Modares Uni. Pub. (in Persian)
20- Mohamadi M. 1985. Golpayegan semi detailed soil survey reports. Res. Bull., SWRI, Tehran. (in Persian)
21- Nael M., Khademi H., Jalalian A., and Schulin R. 2009. Effect of geo-pedological conditions on the distribution and chemical speciation of selected trace elements in forest soils of western Alborz, Iran. Geoderma, 152: 157–170.
22- Najafi-Ghiri M., Rezaei M., and Sameni A. 2012. Zinc sorption–desorption by sand, silt and clay fractions in calcareous soils of Iran. Archives of Agronomy and Soil Science, 58: 945–957.
23- Nascimento C.W.A., Oliveira A. B., Ribeiro M. R. and Melo E. E. C. 2006. Distribution and availability of zinc and copper in benchmark soils of Pernambuco state, Brazil. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 37(1–2): 109–125.
24- Nayyar V.K., Takkar, P.N., Bansal R.L., Singh S.P., Kaur N.P., and Sadana U.S. 1990. Micronutrients in soils and crops of Punjab. Research. Bulletin., PAU, Ludhiana, 1: 1–148.
25- Obrador A., Alvarez J. M., Lopez-Valdivia L. M.,Gonzalez D., Novillo J. and M. I. Rico. 2007. Relationships of soil properties with Mn and Zn distribution in acidic soils and their uptake by a barley crop. Geoderma, 137: 432–443.
26- Patel K.P., Patel K.C., George V., Singh M.V., and Ramani K.C. 2005. Effect of farm yard manure and gypsum on yield of sweet corn and Cu fractions of sewage irrigated soil. Pollution Res., 24 (1): 127–134.
27- Rusjan D., Strlic M., Pucko D., and Korosec-Koruza Z. 2007. Copper accumulation regarding the soil characteristics in Sub-Mediterranean vineyards of Slovenia. Geoderma, 141: 111–118.
28- Sharma B.D., Mukhopadhyay S. S., Sidhu P. S., and Katyal J. C. 2000. Pedospheric attributes in distribution of total and DTPA-extractable Zn, Cu, Mn and Fe in Indo-Gangetic plains. Geoderma, 96: 131–151.

29- Sharma B.D., Jassal H. S., Sawhney J. S., and Sidhu P. S.. 1999. Micronutrient distribution in different physiographic units of the Siwalik Hills of the semiarid tract of Punjab, India. Arid Land Research and Management, 13(2): 189–200.
30- Sharma B.D., Arora H., Kumar R., and Nayyar V. K. 2004. Relationship between soil characteristics and total and DTPA-extractable micronutrients in Inceptisols of Punjab. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 35: 799–818.
31- Shuman L. M. 2005. Chemistry of micronutrients in soils, pp. 293–308, in M. A. Tabatabai and D. L. Sparks, eds., Chemical Processes in Soils. Soil Science Society of American, Madison, WI.
32- Singh M.V. and Abrol, I.P. 1986. Transformation and movement of zinc in alkali soil and their influence on zinc uptake by rice. Plant and Soil, 94: 445–449.
33- Singh M.V. and Abrol, I.P. 1985. Solubility and adsorption of zinc in sodic soils. Soil Science, 140: 406–411.
34- Singh M.V. and Subba Rao, A. 1995. Manganese research and agricultural production. Micronutrient Research and Agricultural Production (Ed. Tandon, H.L.S.), FDCO, New Delhi, 1: 33–56.
35- Wang L., Wu J. P., Liu Y. X., Huang H. Q., and Fang Q. F. 2009. Spatial variability of micronutrients in rice grain and paddy soil. Pedosphere, 19(6): 748–755.
36- Welch R. M., Allaway W. H., House W. A. and Kubota J. 1991. Geographic distribution of trace element problems. Pp. 31-57. In: J. J. Mortvedet et al. (Ed.). Micronutrients in agriculture. 2nd ed. SSSA, WI.
37- Wenming D., Zhijun G., Jinzhou D., Liying Z., and Zuyi T. 2001. Sorption characteristics of zinc (II) by calcareous soil-radiotracer study. Applied Radiation and Isotopes, 54: 371–375.
38- White J.G., and Zasoski R.J. 1999. Mapping soil micronutrients. Field Crop Research, 60: 11–26.
39- Wu C., Luo Y., and Zhang L. 2010. Variability of copper availability in *paddy* fields in relation to selected soil properties in southeast China. Geoderma, 156: 200–206.
40- Wu J., Norvell W.A., and Welch R.M. 2006. Kriging on highly skewed data for DTPA-extractable soil Zn with auxiliary information for pH and organic carbon. Geoderma, 134: 187–199.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2016, p. 892-903

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۵، ص. ۹۰۳-۸۹۲

Micronutrient Availability in Relation to Selected Soil Properties and landscape Position in Calcareous Soils of Golpayegan

M. Fathi[*1] - A. Landi[2]- M. Tehrani[3]

Received: 23-11-2014
Accepted: 19-04-2015

Introduction: Variety of soil reactions govern the distribution of metal micronutrients that includes complexation with organic and inorganic ligands, ion exchange, adsorption and desorption processes, precipitation and dissolution of solids and acid-based equilibria. The relative importance of these reactions depends on many factors such as soil physical, chemical, and mineralogical properties and the nature of metal ions. Environmental factors such as climate, physiographic position, and soil development may affect variability of some soil properties and thereby nutrient availability. The present research was conducted to find relationships between Iron, manganese, zinc, and copper availability and some major soil properties, physiographic condition and soil development.

Materials and Methods: Golpayegan region is located in northwest of Isfahan province in central Iran. The mean elevation of the studied area is 1790 above sea level. Annual precipitation was about 244mm and mean monthly temperature ranges from -6 in January to 34°C in August. The soils were developed on different physiographic conditions including piedmont plains, alluvial-fan, plateaus, and flood plains belonging to *Entisols* and *Aridisols*. Soil samples (0–60 cm) were collected from 98 grid points with 2000m distance in the agricultural area of Golpayegan. Particle size distribution, calcium carbonate, organic carbon, available potassium and phosphorus of the soils were measured by *SWRI* standard methods. Available Zn, Cu, Mn, and Fe were determined by addition of 10 g soil to 20mL 0.005M diethylentriaminepentacetic. The solutions were shaken for 2 h at 25°C, centrifuged, filtered, and Fe, Mn, Zn, and Cu concentrations were measured by an atomic absorption spectrophotometer.

Results Discussion: Studied soils were developed on calcareous material and about 60% of samples have more than 20% of calcium carbonate. Available Fe ranged from 1.4 to 6.5 mg kg^{-1} (mean 15.8 mg kg^{-1}). Significant relationships were also found between DTPA-extractable Fe, organic matter (OM) and calcium carbonate. The results indicated that organic matter (OM) is the most influential soil characteristics that predict Fe availability. DTPA-extractable Mn in the soils ranged from 1.8 to 19.8 mg kg^{-1} (mean 7 mg kg^{-1}). There were also no relationship between available Mn and soil properties. It has been reported that Mn availability in soils is mainly influenced by oxidation-reduction rather than other factors. Available Zn in the studied soils ranged from 0 to 2.4 mg kg^{-1} (mean 0.8 mg kg^{-1}) and had significant correlations with particle size and OM contents. This result showed the importance of soil exchanger phase (clay and OM) in Zn availability in calcareous soils, and was in agreement with the findings of Wu et al. (2006) in soils of North Dakota. DTPA-extractable Cu ranged from 0.2 to 2.4 mg kg^{-1} (mean 0.9 mg kg^{-1}). According to the report of Lindsay and Norvell (1978), 90% of soils had sufficient Cu. However, there were variations among soils in available Cu as a function of physiographic position. The highest values were found in the soils developed on piedmont plains. Significant relationships between available Cu and some major soils properties such as sand, clay, OM, and calcium carbonate were also found. This result was in agreement with findings of Wu et al. (2010) who concluded that soil properties influencing the spatial distribution of Cu availability.

Conclusions: Nutrient availability is one of the most critical concerns of plant production in calcareous soils of Golpayegan . Different pedogenic processes, variable deposition and transport, and different weathering regimes affect micronutrient content, distribution, and availability. Results indicated that Fe deficiencies followed by Mn and Zn in the studied soils are more critical than Cu deficiencies. In fact, 90% of soils had sufficient Cu. Mainly micronutrient availability in the studied soils was related to soil texture and organic matter, although Mn availability showed no relationships with major soil properties. It was concluded that the availability of Fe, Zn, and Cu may be predicted to some extent using some factors such as soil properties and

1 -Researcher, Isfahan Agriculture and Natural Resource Research Center
(*-Corresponding Author Email: mjtb.fathi@gmail.com)
2 - Professor, Shahid Chamran University of Ahvaz
3 -Asistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension and Organization

physiographic condition. Availability of Fe, Zn, and Cu in *Torrifluvents* developed on piedmont plain was higher than in other soils and this may be due to the high amounts of OM and clay, whereas *Haplocalcids* developed on plateaus had the lowest content. Generally, it was concluded that the mentioned factors affect metal distribution and cycling in the soils and thereby metal availability for plants. On the other hand, prediction of micronutrient availability using these factors can be taken into consideration for better management.

Keywords: Calcareous Soils, Micronutrients Availability, Soil Development