نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۳، ص. ۳۹۳-۳۸۳

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 2, May.-Jun. 2014, p. 383-393

تعریف و پهنه‌بندی یک شاخص تلفیقی در محیط ساج بر اساس غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف مس، روی، منگنز و آهن در خاک دشت بروجن-فرادنبه

حبیب بیگی هرچگانی[1*]- سمیرا احمدزاده[2]- رامین ایرانی پور[3]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۶/۱۱
تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۳/۷

چکیده

دشت بروجن-فرادنبه یکی از دشت‌های مهم کشاورزی استان چهارمحال است. پساب تصفیه‌خانه‌ی بروجن در فصل زراعی به مصرف آبیاری مزارع بخش شرقی دشت می‌رسد. هدف از انجام این تحقیق تهیه‌ی یک نقشه‌ی تلفیقی کمبود براساس غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف در خاک این دشت و بررسی انعکاس کلی اثر کاربرد پساب در نقشه بود. تعداد ۱۸۰ نمونه‌ی خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری نقاط مختلف اراضی زراعی و مرتعی دشت ۲۳۴۰ هکتاری برداشت و غلظت قابل جذب مس، روی، منگنز و آهن در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. پس از واریوگرافی و تعیین مناسب‌ترین روش برآورد مکانی نقشه‌ی هر عنصر ترسیم شد. به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی تلفیقی، ابتدا نقشه‌ی هر عنصر نرمال شده و بر اساس آن‌ها نقشه‌های رتبه به دست آمدند. با استخراج وزن هر عنصر از نقشه رتبه آن نقشه‌ی شاخص تلفیقی تهیه شد. بر اساس نقشه‌ها، غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف مس، روی و آهن از سمت غربی دشت به سمت قسمت‌های مرکزی و شرق دشت افزایش داشت. این روند به کاربرد پساب در بخش شرقی نسبت داده شد. تغییرات غلظت قابل جذب منگنز در دشت فاقد روند مشخصی بود اما کمترین غلظت این عنصر هم در بخش غربی دشت دیده شد. نقشه تلفیقی دارای میانگین ۸۵/۵ درصد بود که نشانگر فقر شدید خاک از عناصر کم‌مصرف بود به‌طوری‌که در نقشه‌ی تلفیقی حدود ۳۴ درصد از مساحت دشت فقر شدید عناصر کم‌مصرف را نشان می‌دهد. کاربرد پساب کمبود کلی عناصر کم‌مصرف را ۴ درصد کاهش داده است. در تحلیل حساسیت شاخص تلفیقی به حذف عنصر روی حساسیت زیادی نشان داد. بنابراین، در این دشت، روی باید با دقت و تکرار بیشتری پائیده شود.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی با آب تازه و پساب، تغییرنما، کریجینگ، تحلیل حساسیت، ساج

مقدمه

چهار عنصر مس، روی، آهن و منگنز عناصر غذایی کم‌مصرفی هستند که کمبود آن‌ها در گیاهان باغی و زراعی ایران شایع است. رخداد کمبود این عناصر در گیاهان معمولا به دلیل پی‌اچ نامناسب بازی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران است. کمبود این عناصر در گیاهان، کیفیت و کمیت محصولات غذایی را پایین می‌آورد (۵). مصرف کودهای گران‌قیمت فعلاً تنها راه حل عملی رفع کمبود این عناصر است. آزمون خاک به‌منظور تعیین غلظت قابل جذب این عناصر می‌تواند در مدیریت کوددهی و رفع نیاز گیاهان مفید واقع شود. نتایج آزمون خاک براین فرض استوار هستند که بیشترین هم‌بستگی بین غلظت قابل جذب عناصر غذایی در خاک و تراکم آن‌ها در بافت گیاهی برقرار است. جذب واقعی به ویژگی‌های گیاه نیز بستگی دارد (۹).

حاصلخیزی خاک، پس از آب کافی برای آبیاری، احتمالاً در تولید زراعی و باغی بیشترین نقش را دارا است. حاصلخیزی خاک به غلظت قابل جذب عناصر مربوط است. مقدار عناصر کم‌مصرف در خاک به مواد مادری، فرآیندهای خاکسازی و مدیریت خاک بستگی دارد. افزایش غلظت روی، مس، آهن و منگنز خاک به‌دنبال کاربرد پساب ممکن است برای توجیه کاربرد پساب توسط افراد حقیقی یا حقوقی مورد استفاده قرار گیرد، به‌ویژه در خاک‌های ایران که گیاهان زراعی از نظر برخی عناصر مثل روی و مس غنی نیستند (۱۲). در عین حال که پساب منبع خطرناکی برای افزایش همزمان عناصر کمیاب سمی و آلاینده‌ها به خاک نیز هست، تصفیه‌خانه‌ی بروجن با عقد قرارداد

۱ و ۲- استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: beigi.habib@gmail.com)
۳- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد

نسبت به فروش پساب به کشاورزان نواحی مجاور خود می‌کند. نقشه‌های حاصلخیزی خاک در اولویت‌بندی کاربرد یا توصیه مقدار مناسب کودهای شیمیایی مورد نیاز گیاه مفید باشد (۳). به طوری که با کسر غلظت در یک نقطه از نقشه که محل مزرعه است از غلظت هدف برآوردی از کمبود به دست می‌آید. از این‌رو، بررسی تغییرپذیری مکانی عناصر و تهیه‌ی نقشه‌های عناصر کم‌مصرف می‌تواند در مدیریت پایدار خاک و کشاورزی نقش مهمی داشته باشد (۱۱ و ۱۹).

تغییرپذیری مکانی، درون‌یابی و پهنه‌بندی عناصر کم‌مصرف قبلا مطالعه شده است (مثلا: ۶، ۷، ۱۱ و ۱۴). لیکن، در این مطالعات نقشه‌های مجزایی برای هر عنصر ارائه شده است. هر نقشه‌ی مجزا می‌تواند در مدیریت یک عنصر مفید باشد اما تلفیق نقشه‌های غلظت عناصر کم‌مصرف و تهیه‌ی یک نقشه‌ی کلی ممکن است در مدیریت تلفیقی عناصر کم‌مصرف و حاصلخیزی خاک نیز مفید واقع شود. تهیه‌ی نقشه‌های تلفیقی برای مدیریت آلودگی خاک مرسوم است ولی در این نقشه‌ها عناصر کم‌مصرف همراه با عناصر کمیاب سمی مورد نظر بوده‌اند. ازجمله‌ی این نقشه‌ها می‌توان به نقشه‌های بار آلودگی که بر اساس شاخص تاملینسن (۱۸) ارائه شده‌اند اشاره کرد (۴ و ۱۸). اگر چه ابزار و روش تهیه‌ی این نقشه‌ها به روش مذکور موجود بوده است، با این حال، به نظر نمی‌رسد که تاکنون نقشه‌ای از عناصر کم‌مصرف ارائه شده باشد که به طور خاص شاخصی از شدت کفایت یا کمبود مشترک یا کلی عناصر کم‌مصرف در نواحی مختلف یک دشت ارائه کند. چنین نقشه‌ای ممکن است در مدیریت تلفیقی کاربرد کودهای حاوی عناصر کم‌مصرف مفید باشد. انتظار می‌رود چنین نقشه‌هایی باید بتوانند اثر عوامل خارجی از جمله کاربرد کود شیمیایی، آفت‌کش، و پساب را منعکس کنند.

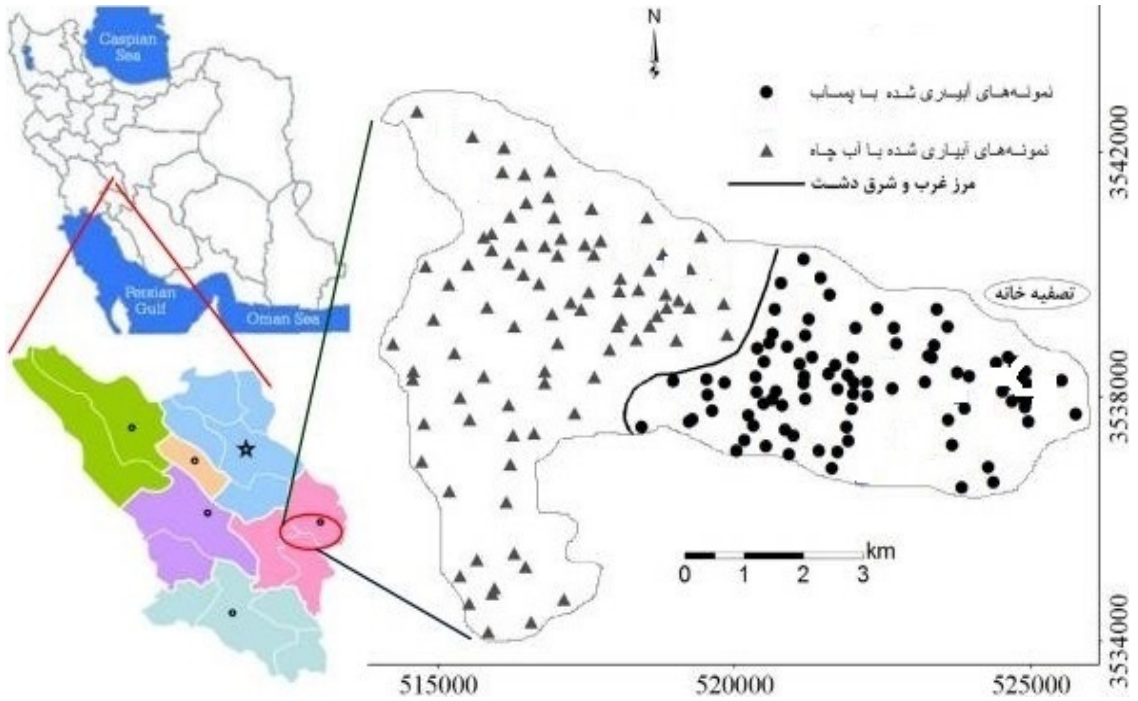
هدف کار حاضر، اقتباس روش بابیکر و همکاران (۱۰) با اندکی تغییر برای تهیه‌ی یک نقشه‌ی تلفیقی از غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف در دشت بروجن–فرادنبه است. مشروح این روش در منبع (۱۰) آمده است و در بخش مواد و روش این مقاله برای عناصر کم‌مصرف اقتباس و سازگار شده است. بابیکر و همکاران (۱۰)، علاوه بر ارائه‌ی نقشه‌های منفرد هفت مؤلفه شیمیایی آب یعنی کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات و جامدات محلول در آب زیرزمینی حوزه ناسانوی ژاپن، یک نقشه‌ی تلفیقی از کیفیت آب زیرزمینی در محیط ساج ترسیم کردند. روش آن‌ها فقط توسط ماکیوال و همکاران (۱۵) برای توصیف کیفیت آب زیرزمینی یک سفره دیگر در هند آزموده شده است و کارآیی آن تایید شده است. تا زمان نوشتن این مقاله، کار دیگری در توسعه یا آزمون این روش منتشر نشده است و تاکنون تناسب این روش برای نقشه‌کشی خاک آزموده نشده است. بنابراین اولین بار خواهد بود که این روش برای تهیه‌ی یک نقشه‌ی تلفیقی برای کم‌مصرف‌ها در دشت بروجن–فرادنبه اقتباس خواهد شد. کشاورزی مرسوم (آب چاه+کاربرد کود شیمیایی و آفت‌کش) در بخش غربی و کشاورزی با پساب (همراه با کاربرد کود شیمیایی و آفت‌کش) در مزارعی از بخش شرقی دشت مذکور در جریان است. کارآیی نقشه‌ی حاصله برای ارائه‌ی یک برداشت کلی از کفایت یا کمبود چهار عنصر کم‌مصرف در سطح دشت بروجن–فرادنبه و انعکاس کاربرد پساب در بعضی مزارع بخش شرقی دشت بررسی خواهد شد. توانایی انعکاس وضعیت هر یک از کم‌مصرف‌ها توسط این شاخص (نقشه) تلفیقی با تجزیه و تحلیل حساسیت و هم‌بستگی ارزیابی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

دشت بروجن–فرادنبه با ۲۳۴۰ هکتار اراضی قابل آبیاری در ناحیه شرقی استان چهارمحال و بختیاری بین طول‌های '۰۳ °۵۱ تا '۲۵ °۵۱ شرقی و عرض‌های '۵۰ °۳۱ تا '۵۸ °۳۲ شمالی واقع است. میزان نزولات جوی سالانه حدود ۲۵۵ میلی‌متر و درجه حرارت سالانه $۱۰/۷^{o}C$ است. از محصولات کشاورزی عمده‌ی این دشت گندم، جو و سیب‌زمینی است. پساب تصفیه‌خانه‌ی بروجن در فصل زراعی به مصرف آبیاری مزارع بخش شرقی دشت می‌رسد. کاربرد پساب در مزارع مجاور تصفیه‌خانه از ۱۵ سال پیش شروع شده است. در موقع نمونه‌برداری (پائیز ۱۳۹۰) مزارع مذکور دارای سابقه‌ی کاربرد پساب بین۷ تا ۱۴ سال بودند. شکل ۱ موقعیت دشت را به‌همراه نقاط نمونه‌برداری نشان می‌دهد.

نمونه‌برداری

تعداد ۱۸۰ نمونه‌ی خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از مزارع برداشت و موقعیت نقاط با جی‌پی‌اس ثبت شد (شکل ۱). از این تعداد ۹۰ نمونه از بخش غربی دشت (کشاورزی مرسوم با آب چاه)، و ۹۰ نمونه از بخش شرقی دشت (کشاورزی با پساب) گرفته شدند. .هر نمونه خاک از یک نقطه مرکزی و ۳ نقطه در شعاع ۲ تا ۳ متری آن برداشت و پس از اختلاط به آزمایشگاه منتقل شد. غلظت قابل جذب آهن (Fe)، مس (Cu)، روی (Zn)، منگنز (Mn) در نمونه‌های خاک پس از عصاره‌گیری با DTPA ۰/۰۰۵ مولار با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل GBC-932 قرائت شد (۱۳).



شکل ۱- موقعیت دشت بروجن-فرادنبه در استان چارمحال و شهرستان بروجن. خط مرز داخل دشت مزارع شرق دشت را که با پساب آبیاری می‌شوند از مزارع غرب دشت که با آب چاه آبیاری می‌شوند مشخص می‌کند. مثلث‌های توپر (بخش غربی دشت- کشاورزی مرسوم با آب چاه)، دایره‌های توپر (بخش شرقی دشت- کشاورزی با پساب)

مراحل تهیه‌ی نقشه‌ی تلفیقی غلظت عناصر کم‌مصرف خاک

ابتدا الگوهای تغییرات مکانی هر یک از چهار عنصر کم‌مصرف (یعنی مدل تغییرنما و مشخصات آن یعنی دامنه‌ی تأثیر، آستانه‌ی تأثیر و اثر قطعه‌ای) با ترسیم تغییرنمای تجربی و برازش بهترین مدل نظری به آن در محیط واریووین۲/۲۱ تعیین شد. نقشه‌های هر یک از عناصر کم‌مصرف بر اساس تغییرنمای منتخب و با استفاده از روش مناسب پهنه‌بندی (کریجینگ معمولی برای آهن، روی و منگنز و کریجینگ ساده برای مس) در محیط آرک‌جی‌آی‌اس ۹/۳ تهیه شد. جزئیات مربوط به تعیین تغییرنمای و تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی در منبع ۲ داده شده است. در مرحله‌ی بعدی نقشه‌های نرمال شده هر کم‌مصرف (NI) از رابطه‌ی زیر تهیه شد (۱۰):

$$NI = (C - C_{critical}) / (C + C_{critical}) \quad (۱)$$

که در آن C: مقدار هر پیکسل در نقشه‌ی اولیه هر عنصر کم‌مصرف و $C_{critical}$: متوسط حدود بحرانی آن عنصر کم‌مصرف است (۵). در نقشه‌های حاصل مقدار هر پیکسل بین ۱- تا ۱+ قرار می‌گیرد. در مرحله‌ی بعدی هر نقشه‌ی NI به یک نقشه‌ی رتبه تبدیل شد. برای تهیه‌ی نقشه‌های رتبه از معادله‌ی چند جمله‌ای زیر استفاده شد (۱۰):

$$R = 0.5 * (NI)^2 + 4.5 (NI) + 5 \quad (۲)$$

که در آن R: نقشه‌ی رتبه و NI: نقشه‌ی نرمال شده‌ی هر عنصر کم‌مصرف است. هر پیکسل در نقشه‌ی رتبه مقداری بین ۱ تا ۱۰ دارد. رتبه‌ی ۱ نشان دهنده‌ی بحرانی‌ترین غلظت هر عنصر کم‌مصرف و رتبه‌ی ۱۰ نشان دهنده‌ی کفایت کامل عنصر کم‌مصرف در خاک است. سپس میانگین نقشه‌ی رتبه‌ی استخراج شد و به عنوان وزن آن عنصر کم‌مصرف در گام بعدی مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌ی شاخص کمبود کلی (SMDI) از معادله‌ی زیر بدست آمد (۱۰):

$$SMDI=100-(W_{Cu}.R_{Cu}+W_{Zn}.R_{Zn}+W_{Fe}.R_{Fe}+W_{Mn}.R_{Mn})/4 \quad (۳)$$

که در آن: W و R به‌ترتیب وزن نسبی (میانگین نقشه رتبه) و خود نقشه‌ی رتبه‌ی هر عنصر کم‌مصرف است. مقدار پیکسل‌های نقشه‌ی SMDI بین صفر تا ۹۹ قرار می‌گیرد. صفر حداقل کمبود (کفایت کامل) و ۹۹ حداکثر کمبود عنصر کم‌مصرف است. در نهایت نقشه‌ی SMDI به ده کلاس از صفر تا ۱۰۰ درصد مقیاس‌بندی شد. کلاس‌های نزدیک‌تر به ۱۰۰ بیانگر فقر شدیدتر (کمبود کلی بیشتر) و کلاس‌های نزدیک‌تر به صفر بیانگر کفایت بیشتر (کمبود کلی کمتر) چهار عنصر کم‌مصرف خاک است.

تحلیل حساسیت نقشه‌ی شاخص تلفیقی به هر یک از عناصر

تحلیل حساسیت به روش حذف نقشه صورت گرفت. در این تحلیل، نقشه‌ی تلفیقی چهار مرتبه، هر بار با حذف نقشه‌ی یک

کم‌مصرف تهیه و اثر حذف هر عنصر بر روی نقشه‌ی کلی SMDI که با استفاده از چهارعنصر کم‌مصرف تهیه شده بود بررسی شد. به این منظور، شاخص تغییر، در هر بار، از معادله‌ی زیر محاسبه شد (۱۰):

$$V_{wi} = 100\ [(SMDI_4 - SMDI_{wi}) / SMDI_4] \quad (۴)$$

که در آن: Vwi شاخص تغییر (درصد)، بدون نقشه ی i ام؛ SMDIwi نقشه‌ی شاخص عناصر کم‌مصرف خاک بدون نقشه‌ی مربوط به یک عنصر و $SMDI_4$ نقشه‌ی شاخص عناصر کم‌مصرف خاک با حضور چهار عنصر کم‌مصرف است. کلیه‌ی عملیات گام‌های دوم تا هفتم و تحلیل حساسیت مولفه‌ها در محیط آرک‌جی‌آی‌اس ۹/۳ انجام شد. مقایسه‌های دوگانه با آزمون تی و مقایسه‌های چندگانه با تجزیه‌ی واریانس و با استفاده از آزمون ال.اس.دی در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های شیمیایی پساب و آب چاه مورد استفاده در آبیاری در دشت بروجن در جدول ۱ نشان داده شده است. پی‌اچ (pH) پساب اندکی کمتر از آب تازه (چاه) و ماده‌ی آلی و غلظت عناصر کم‌مصرف آن بیشتر از مقدار نظیر در آب تازه بود ($p<۰/۰۵$). این تفاوت در محتوای آب تازه و پساب پس از ۷ الی ۱۵ سال آبیاری منجر به ایجاد تغییراتی در ویژگی‌ها و غلظت عناصر کم‌مصرف خاک شده است (جدول ۲). همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود به جز پی‌اچ، علاوه بر میانگین، کمینه و بیشینه ویژگی‌ها در بخش شرقی (آبیاری با پساب) بزرگ‌تر از مقادیر نظیر در بخش غربی دشت (آبیاری با آب چاه) شده است. در عین حال، مقادیر میانگین، کمینه و بیشینه‌ی پی‌اچ در بخش شرقی به نسبت بخش غربی کاهش پیدا کرده است.

جدول ۳ خلاصه‌ی آماری مس، روی، آهن و منگنز قابل جذب در خاک دشت بروجن-فرادنبه نشان می‌دهد. میانگین و میانه غلظت‌های هر یک از عناصر مشابه هستند. میانگین غلظت‌های روی و مس حدود ۱ و میانگین آهن و منگنز بین ۶ تا ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. از آن جایی که مقادیر کمینه و بیشینه ممکن است تحت تاثیر خطای نمونه‌برداری یا اندازه‌گیری باشد، ترجیحا مقادیر ۵ درصد اول و آخر داده‌ها داده شده است (جدول ۳) که به ترتیب میانگین ۱۰ کوچک‌ترین و ۱۰ بزرگ‌ترین غلظت‌ها است. اگر چه حد بحرانی ممکن است در منابع مختلف و برای مناطق جغرافیایی دیگر گوناگون باشد در این جا حد بحرانی عناصر از منبع ۵ گرفته شده است که به نظر می‌رسد برای ایران مناسب‌تر باشد.

جدول ۱- پی‌اچ، اکسیژن‌خواهی شیمیایی و غلظت کل عناصر کم‌مصرف در پساب و آب چاه مورد استفاده در آبیاری دشت بروجن-فرادنبه

	pH	COD	Cu	Zn	Fe	Mn
			mg L^{-1}			
آب تازه (چاه)	۷/۴۶[a]	۰/۰[a]	۰/۰۴[a]	۰/۰۳[a]	۰/۰۵[a]	۰/۰۳[a]
پساب	۷/۴۰[b]	۶۵[b]	۰/۰۶[b]	۰/۰۴[a]	۰/۰۷[b]	۰/۰۵[b]

a,b. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده‌ی تغییر معنی‌دار میانگین ویژگی است ($p < ۰/۰۵$). اندازه‌ی نمونه برای هر یک: ۶

جدول۲- خلاصه آماری برخی ویژگی‌های اساسی و غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف در بخش شرقی و غربی دشت بروجن-فرادنبه

		بخش غربی: خاک‌های آبیاری شده با آب چاه، اندازه‌ی نمونه: ۹۰			بخش شرقی: خاک‌های آبیاری شده با پساب، اندازه‌ی نمونه: ۹۰		
ویژگی	واحد	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه
پی‌اچ	-	۷/۶۸ [a]	۷/۸۲	۷/۹۸	۷/۴۴ [b]	۷/۶۴	۷/۸۱
قابلیت هدایت الکتریکی	dS m^{-1}	۰/۷۴ [a]	۰/۹۶	۱/۱۲	۰/۸۷ [b]	۱/۳۶	۱/۹۶
کربن آلی	g kg^{-1}	۰/۶ [a]	۸/۷	۱/۸	۱/۰ [b]	۱۴/۲	۱/۹
کربنات کلسیم معادل	%	۱۵ [a]	۱۹	۲۵	۱۵ [b]	۲۰	۲۵
مس	mg kg^{-1}	۰/۹ [a]	۱/۰	۱/۱	۱/۰ [b]	۱/۵	۱/۹
روی	mg kg^{-1}	۰/۶ [a]	۰/۸	۱/۰	۰/۷ [b]	۱/۰	۱/۲
آهن	mg kg^{-1}	۲/۸ [a]	۴/۸	۶/۱	۵/۸ [b]	۸/۲	۱۱/۹
منگنز	mg kg^{-1}	۴/۵ [a]	۷/۳	۹/۶	۴/۵ [b]	۸/۱	۱۰/۷

a,b. حروف انگلیسی متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده‌ی تغییر معنی‌دار میانگین ویژگی است ($p < ۰/۰۵$).

بر اساس میانگین‌ها و با توجه به مقادیر ۵ درصد اول و آخر، غلظت روی، مس و آهن زیر حد بحرانی قرار دارند. این در حالی‌است که در برخی نقاط دشت غلظت منگنز در حد بحرانی بوده و یا کمی از حد بحرانی فراتر رفته است. میانگین‌ها نشان‌دهنده‌ی کمبود کلی عناصر کم‌مصرف در این دشت است و به طور میانگین غلظت مس، روی و آهن حدوداً ۵۰ درصد حدود بحرانی است (۵) هر چند در برخی نقاط دشت مقدار مس، آهن و منگنز ممکن است در حد کفایت باشد. کمبود شدیدتر روی در تمام دشت قابل مشاهده است و در هیچ جای دشت غلظت قابل جذب آن از ۵۵ درصد حد بحرانی بیشتر نیست. کمبود عناصر کم‌مصرف قابل جذب در این دشت با توجه به پی‌اچ بازی خاک دشت قابل انتظار است (۵). ضریب تغییرات روی، مس و منگنز مشابه ولی ضریب تغییرات آهن بیشتر از آن‌ها است (جدول ۳). با این حال این ضریب تغییرات کمتر از ۵۰ درصد بوده و زیاد به حساب نمی‌آید (۱۶). باید توجه داشت که انتخاب مقادیر بحرانی تاثیر زیادی بر خروجی روش پهنه‌بندی به کار رفته در این پژوهش نمی‌گذارد (علت به معادله‌ی ۱ بر می‌گردد).

مدل تغییرنمای مناسب برای مس و آهن کروی، برای روی گوسی و برای منگنز نمایی بود. پهنه بندی هر یک از عناصر کم‌مصرف در خاک دشت بروجن–فرادنبه، بر اساس مدل تغییرنمای مناسب و روش کریجینگ در شکل ۲ دیده می‌شود. با توجه به نقشه‌ها کمبود آهن و خطر آلودگی مس، منگنز و روی در این دشت وجود دارد. از نقشه‌های پهنه‌بندی (شکل ۲) مشخص است که غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف مس، روی و آهن از سمت غربی دشت به سمت قسمت‌های مرکزی و شرق دشت افزایش می‌یابد که و در قسمت شرقی به حداکثر مقدار خود می‌رسد. پساب حاوی غلظت‌های بیشتری از چهار عنصر کم‌مصرف در مقایسه با آب چاه ($p<۰/۰۵$) است (جدول ۱) اگر چه این تفاوت چشمگیر نیست (جدول ۱) اما با توجه به کاربرد دراز مدت پساب به مدت ۷ تا ۱۴ سال، بالا بودن غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف در بخش شرقی در مقایسه با بخش غربی قابل توجیه است. از طرف دیگر، پساب ممکن است با کاهش پی‌اچ و افزایش محتوای کربن آلی در بخش شرقی دشت به حلالیت بیشتر کم‌مصرف‌ها و نیز تشکیل کلات‌های محلول کمک کرده و غلظت قابل جذب این سه کم‌مصرف را افزایش داده باشد (۸). به‌طور کلی غلظت قابل جذب منگنز دارای روند خاصی در سطح دشت نیست و به‌نظر می‌رسد کاربرد پساب تأثیر چندانی بر توزیع منگنز در این دشت ندارد.

مقایسه‌ی نقشه‌های غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف با خلاصه آماری در جدول ۳ حاکی از آنست‌که برآورد مکانی غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف مطابقت خوبی با حدود پایین و بالای (۵ درصد اول و آخر) غلظت عناصر دارند. حد پایین هر چهار نقشه اندکی بیشتر از ۵ درصد اول و حد بالای نقشه‌ها (به‌جز آهن) اندکی کمتر از ۵ درصد آخر برآورد شده‌اند. فقط حد بالای آهن در نقشه حدود ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۵ درصد آخر آن بیشتر برآورد شده است. با این‌حال، تفاوت‌ها از خطای معیار غلظت قابل جذب هر عنصر کم‌مصرف کمتر است (جدول ۳).

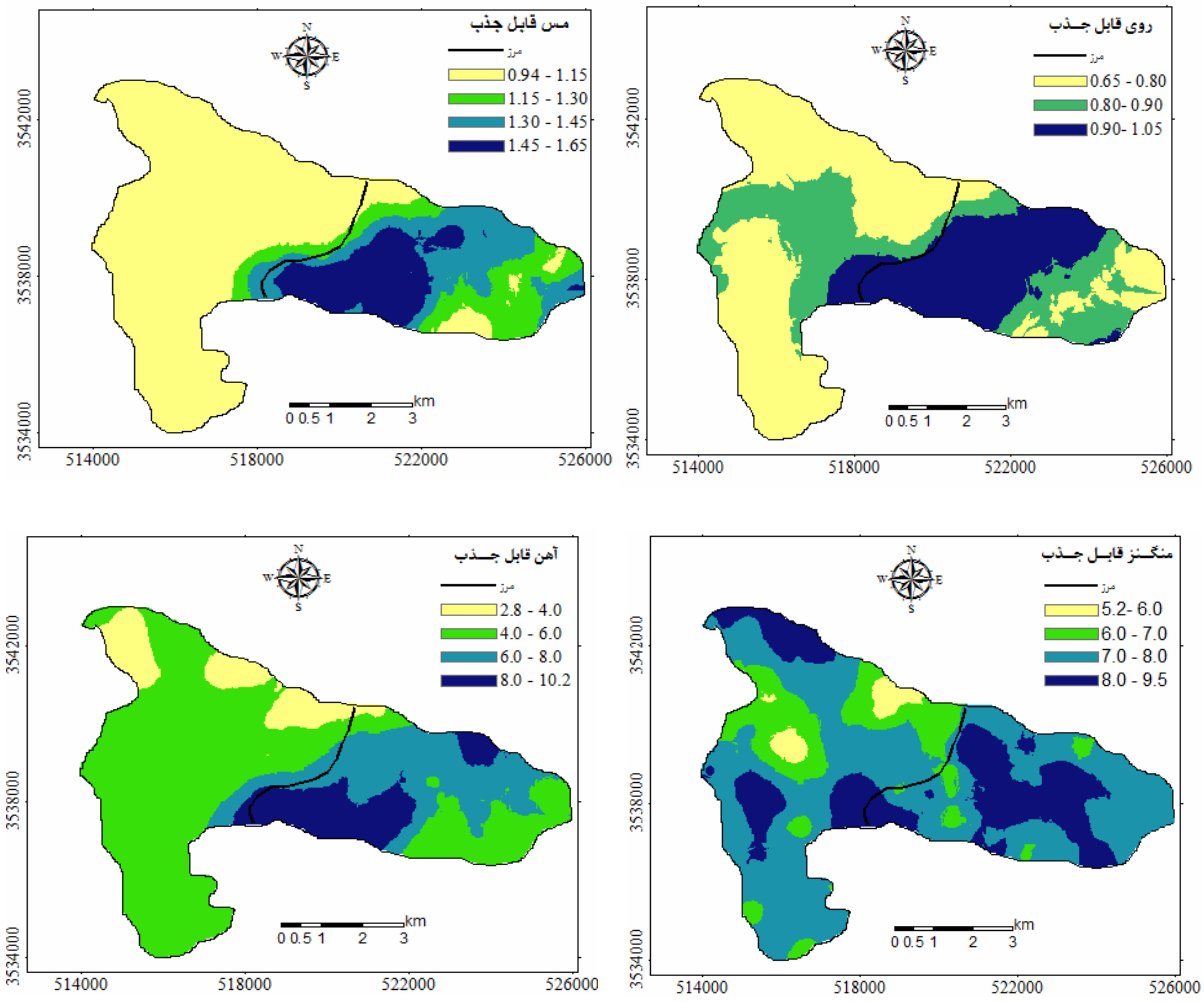
خلاصه‌ی آماری نقشه‌ی رتبه مربوط به هر عنصر کم‌مصرف در جدول ۴ آورده شده است. میانگین نقشه‌ی رتبه هر عنصر کم‌مصرف به‌عنوان وزن آن عنصر در نظر گرفته شد و در رابطه‌ی ۴ اعمال شد تا نقشه‌ی تلفیقی، SMDI، خاک دشت بروجن–فرادنبه به‌دست آید. میانگین نقشه‌های رتبه در دامنه‌ی باریک ۳/۲ تا ۴/۴ تغییر می‌کند. منگنز دارای بیشترین رتبه و روی دارای کمترین رتبه است. این بدان مفهوم است که منگنز و روی در این دشت به‌ترتیب کمترین و بیشترین کمبود را در بین چهار عنصر کم‌مصرف دارا هستند.

جدول ۳- خلاصه آماری غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف در دشت بروجن–فرادنبه، مقادیر بر حسب ($mg\ kg^{-1}$) است، اندازه‌ی نمونه:۱۸۰

عنصر	میانگین	میانه	کمینه	۵٪ اول	۵٪ آخر	بیشینه	انحراف معیار	ضریب تغییرات، (٪)	حد بحرانی (منبع ۵)
Cu	۱/۲	۱/۱	۰/۹	۰/۹	۱/۸	۱/۹	۰/۳	۲۴	۲
Zn	۰/۹	۰/۹	۰/۴	۰/۵	۱/۱	۱/۲	۰/۲	۲۰	۲
Fe	۶/۱	۶/۰	۱/۷	۲/۱	۹/۷	۱۱/۹	۲/۳	۳۸	۱۰
Mn	۷/۶	۷/۸	۴/۵	۴/۶	۱۰/۲	۱۰/۷	۱/۷	۲۳	۱۰

جدول ٤- خلاصه آماری نقشه‌های رتبه چهار عنصر کم‌مصرف در دشت بروجن–فرادنبه

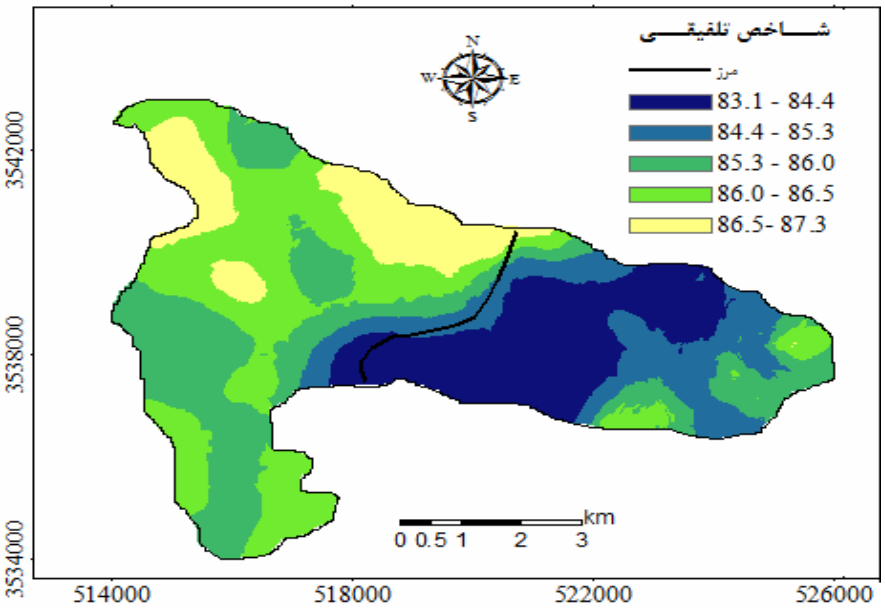
کم‌مصرف	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
مس	۳/۴۴	۴/۵۷	۳/۸۰	۰/۳۳
روی	۲/۸۴	۳/۶۵	۳/۲۲	۰/۱۹
آهن	۲/۶۵	۵/۰۴	۳/۷۸	۰/۴۸
منگنز	۳/۶۴	۴/۸۹	۴/۳۶	۰/۲۲



شکل ۲- نقشه‌های پهنه‌بندی غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در دشت بروجن-فرادنبه (سال ۱۳۹۰)

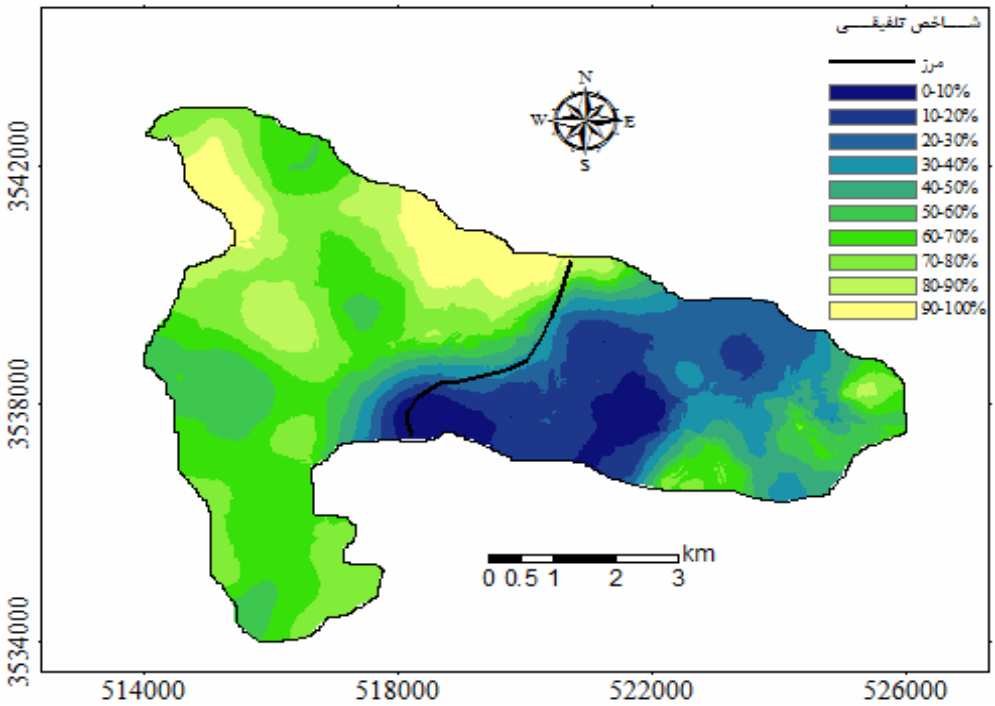
پهنه‌بندی تلفیقی قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف

نقشه‌ی تلفیقی کمبود چهار کم‌مصرف در خاک دشت بروجن- فرادنبه در شکل ۳ نشان داده شده است. این نقشه دارای میانگین ۸۵/۵ درصد با کمینه‌ی۸۳/۱ درصد و بیشینه‌ی۸۷/۳ درصد است. این بدان معنی است که فقر خاک این دشت از نظر غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف حداقل ۸۳ درصد و حداکثر ۸۷ درصد است. پس به‌طور کلی این دشت دچار فقر شدید عناصر کم‌مصرف است. با توجه به شکل ۳ مقدار شاخص تلفیقی در بخش غربی دشت بین ۸۳ تا ۸۶ درصد و در بخش شرقی ۸۶ تا ۸۷ درصد است. این روند با روند نقشه‌های عناصر کم‌مصرف روی، مس و آهن کاملاً هم‌خوانی دارد (شکل ۲) و حاکی از آن است که نقشه‌ی تلفیقی توانسته است به خوبی و تا اندازه‌ی زیادی کمبود غلظت عناصر کم‌مصرف را در این دشت منعکس سازد. در نقشه‌های قبلی (شکل ۲) هم دیده شد که فقر خاک از نظر عناصر کم‌مصرف روی، مس و آهن در بخش شرقی دشت خفیف‌تر و در بخش غربی دشت شدیدتر بود. این تفاوت تحت تأثیر کاربرد پساب و یا اثرات ثانویه‌ی آن مانند کاهش پی‌اچ و افزایش کربن آلی در بخش شرقی قابل توجیه است. پی‌اچ خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در قابلیت جذب این چهار عنصر کم‌مصرف دارد و میزان قابل جذب این عناصر کم‌مصرف رابطه‌ی معکوس با پی‌اچ خاک دارد (۱۷). پژوهشگران گزارش کرده‌اند که غلظت قابل جذب عناصر در خاک با میزان مواد آلی خاک هم‌بستگی مثبت و قوی دارد (۸) زیرا وجود ماده‌ی آلی حاوی فلزات سنگین در خاک و تجزیه مداوم مواد آلی موجب آزاد شدن عناصر کم‌مصرف قابل جذب می‌گردد (۱).



شکل۳- نقشه‌ی تلفیقی غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف در دشت بروجن-فرادنبه

به‌منظور کاربردی‌تر کردن نقشه‌ی تلفیقی به‌ویژه کاربرد آن در مدیریت مصرف عناصر کم‌مصرف در دشت، نقشه‌ی تلفیقی به ده کلاس با فاصله‌ی ۱۰ درصدی از صفر تا ۱۰۰ درصد مقیاس بندی شد (۱۰) (شکل ۴). سه کلاس با کمترین مقادیر (۳۰ – ۰ درصد) نشان‌دهنده‌ی کمترین فقر ودر بخش شرقی دشت واقع هستند. چهار کلاس (۷۰–۳۰ درصد) در گروه فقرمتوسط قرار دارند که در دشت پراکنده شده‌اند و سه کلاس (۱۰۰–۷۰ درصد) نشان‌دهنده‌ی شدیدترین فقر عناصر کم‌مصرف بوده و در بخش شمال غربی دشت واقع هستند (شکل ۴).



شکل٤- نقشه‌ی تلفیقی مقیاس‌بندی شده غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف در دشت بروجن-فرادنبه

جدول۵- مساحت و درصد پوشش سه گروه کمبود عناصر کم‌مصرف در دشت بروجن-فرادنبه

گروه	کمبود	درصد پوشش	مساحت (km^2)	محل عمومی وقوع
۰-۳۰٪	خفیف‌تر	۲۲	۱۱	بخش شرقی
۳۰-۷۰٪	متوسط	۴۴	۲۲	بخش شرقی و غربی
۷۰-۱۰۰٪	شدیدتر	۳۴	۱۷	بخش غربی

آبیاری با پساب به مقدار کم ولی معنی‌دار ($p< ۰/۰۵$) غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف را افزایش داده است (جدول ۲) اما این افزایش می‌تواند اثر مستقیم پساب: افزودن عنصر کم‌مصرف به خاک (جدول ۲) و یا اثر غیرمستقیم پساب: کاهش پی‌اچ خاک و یا افزایش کربن آلی (جدول ۲) باشد. مساحت کلاس‌های نقشه‌ی شاخص تلفیقی به همراه درصد پوشش هر کلاس در جدول ۵ داده شده است.

تعیین مؤلفه‌هایی که شاخص تلفیقی نسبت به آن‌ها کمترین و بیشترین حساسیت را دارد حائز اهمیت است. یک نتیجه‌ی تحلیل حساسیت تشخیص عنصر یا عناصری است که بیشترین تأثیر را بر نقشه تلفیقی عناصر کم‌مصرف خاک خواهند داشت و بنابراین پایش مکرر، دقیق‌تر و صحیح‌تر آن‌ها ضروری خواهد بود. نتیجه‌ی دیگر ممکن است تشخیص عنصری باشد که کمترین نقش را در نقشه‌ی تلفیقی دارد که در آن صورت عدم نیاز به پایش مکرر و دقیق‌تر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها منجر خواهد شد. یکی از روش‌های تحلیل حساسیت که در محیط ساج انجام‌پذیر است اثر حذف تک نقشه است (۱۰). خلاصه‌ی آماری شاخص تغییر در تحلیل حساسیت به روش حذف تک نقشه در جدول ۶ آمده است. در خاک دشت بروجن-فرادنبه، بزرگترین میانگین شاخص تغییر مربوط به منگنز و سپس روی است. به‌عبارت دیگر غلظت قابل جذب این دو عنصر نقش مؤثرتری بر نقشه‌ی تلفیقی دارد. منگنز بیشترین غلظت قابل جذب در خاک را داشت (جدول ۳). پس این که نقشه‌ی تلفیقی به منگنز حساس‌ترین است جای تعجب ندارد. ولی حساسیت زیاد نقشه‌ی تلفیقی به روی که کمترین غلظت قابل جذب و کمترین رتبه را در بین چهار عنصر کم‌مصرف داشت ممکن است غیرعادی به نظر آید. در حوضه‌ی ناسانوی ژاپن نیز دیده شد در حالی نقشه‌ی تلفیقی آب زیرزمینی به یون منیزیوم (Mg^{+2}) حساسیت زیادی داشت که این یون دارای میانگین غلظت و رتبه‌ی پایینی بود (۱۰). میانگین شاخص تغییر دو عنصر مس و آهن با فاصله‌ی زیاد از منگنز و روی قرار گرفته‌اند. تغییرات غلظت دو عنصر روی و منگنز با گذشت زمان باید بیشتر پایش شود.

هم‌بستگی مشاهدات چهار عنصر کم‌مصرف و همچنین هم‌بستگی نقشه‌های هر چهار عنصر با نقشه‌ی SMDI به ترتیب در جدول ۷ آمده است. هم‌بستگی دو به دوی غلظت قابل جذب چهار عنصر کم‌مصرف مثبت و معنی‌دار است ($p<۰/۰۵$) ولی قدرت آن‌ها متفاوت و هم‌بستگی منگنز با سه عنصر دیگر ضعیف‌تر است (جدول ۷). دشت بروجن-فرادنبه چندان بزرگ نیست و سنگ مادری خاک‌های این دشت تقریبا یکنواخت است (۲) بنابراین تنها عوامل خارجی (انسانی) مانند کاربرد نایکنواخت کود، آفت‌کش، و پساب می‌توانند موجب تغییر غلظت عناصر کم‌مصرف و کاهش قدرت هم‌بستگی منگنز با سه عنصر دیگر در آن شده باشند. نتایج مشابهی با این مطالعه در خصوص هم‌بستگی معنی‌دار هر چهار عنصر کم‌مصرف نیز گزارش شده است (۱۰). نقشه‌ی شاخص تلفیقی نیز با نقشه‌های هر چهار عنصر کم‌مصرف هم‌بستگی منفی دارد که در این میان هم‌بستگی آن با مس، روی و آهن بسیار قوی ($|r|>۹۰$) و هم‌بستگی آن با منگنز متوسط ($|r|=-۰/۵۹$) است.

نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی تلفیقی عناصر کم‌مصرف برای نمایش شدت کمبود یا فقر آن‌ها از طریق یک الگوریتم اقتباسی انجام شد. پهنه‌بندی تلفیقی می‌تواند یک برآورد کلی از کمبود عناصر کم‌مصرف در دشت ارائه دهد.

جدول ٦- خلاصه‌ی آماری شاخص تغییر نقشه‌ی تلفیقی عناصر کم‌مصرف با حذف تک نقشه

نقشه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
	درصد			
مس	۰/۰	۰/۸	۰/۲	۰/۱۱
روی	۱/۱	۲/۲	۱/۶	۰/۲۱
آهن	۰/۰	۱/۱	۰/۳	۰/۲۲
منگنز	۰/۷	۲/۴	۱/۸	۰/۳۴

جدول ۷ - هم‌بستگی مشاهدات و هم‌بستگی نقشه‌های عناصر کم‌مصرف در دشت بروجن-فرادنبه

هم بستگی اسپیرمن مشاهدات				هم‌بستگی نقشه‌ها				
	مس	روی	آهن		روی	۰/۸۵		
روی	۰/۶۹*				آهن	۰/۸۸	۰/۹۰	
آهن	۰/۷۲*	۰/۷۵*			منگنز	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۳۹
منگنز	۰/۲۹*	۰/۳۲*	۰/۳۲*		SMDI	-۰/۹۲	-۰/۹۳	-۰/۹۵	-۰/۵۹

معنی‌دار در α=۰/۰۵

این پهنه بندی در دشت بروجن-فرادنبه به خوبی کمبود عناصر کم‌مصرف به ویژه مس، روی و آهن و اثرات کاربرد پساب در بخش شرقی دشت را بر افزایش چهار درصدی قابلیت جذب آن‌ها منعکس می‌سازد. کاربرد کود کم‌مصرف برای رفع کمبود کلی در همه جای دشت لازم است. کمبود مس و به‌ویژه روی در این دشت شدیدتر از دو عنصر کم‌مصرف دیگر است. تغییرات زمانی دو عنصر روی و منگنز باید بیشتر پایش شود.

سپاسگزاری

از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد به خاطر اجازه‌ی استفاده از امکانات آزمایشگاهی و از کارشناس محترم آزمایشگاه آب‌وخاک آن مرکز، آقای مهندس مجید فرزان، به خاطر کمک به تجزیه‌ی نمونه‌های خاک صمیمانه سپاسگزاریم.

منابع

۱- آقابراتی ا. ۱۳۸۵. تاثیر پساب شهری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و رشد زیتون در شهر ری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی.

۲- احمدزاده س. ۱۳۹۱. غلظت و توزیع بعضی فلزات سنگین در دشت بروجن-فردانبه: اثر کاربرد پساب بر توزیع در خاک و غلظت‌های بافت برخی گیاهان زراعی. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد. ۱۳۰ ص.

۳- لغوی م. ۱۳۸۲. راهنمای کشاورزی دقیق برای متخصصین کشاورزی (ترجمه). انتشارات سازمان تحقیقات و اموزش کشاورزی. تهران. ۲۹۵ ص. شماره‌ی کتاب‌شناسی ملی: ۳۴۱۳۸-۸۲م.

۴- عظیم‌زاده ب. و خادمی ح. ۱۳۹۲. تخمین غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران. نشریه آب و خاک مشهد ۲۷(۳): ۵۴۸-۵۵۹.

۵- ملکوتی م.ج. و همایی م. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ۴۸۸ ص.

۶- تقی‌پور س. ۱۳۹۱. تجزیه و تحلیل توزیع مکانی غلظت‌های قابل جذب آهن، منگنز، روی، مس و غلظت‌های کل کادمیوم و سرب در خاک‌های سطحی دشت شهرکرد. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد. ۷۰ ص.

۷- نصرت پور س.، اردلان م.، فرج نیا ا. و اسمائیلی عوری ا. ۱۳۸۹. بررسی توزیع مکانی برخی عناصر غذایی و عوامل موثر بر حاصلخیزی خاک در اراضی شهرستان مراغه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. فصل‌نامه پژوهش‌های آبخیزداری. ۸۷: ۱-۹.

۸- شریفی م.، افیونی م. و خوشگفتارمنش ا.ح. ۱۳۹۰. اثر کاربرد لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل، کمپوست زباله شهری و کودگاوی بر قابلیت جذب آهن و روی در خاک و جذب آنها توسط ذرت، یونجه و گل جعفری در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۵۶: ۱۴۱-۱۵۳.

۹- هودجی م. و جلالیان ا. ۱۳۸۳. پراکنش نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک و محصولات کشاورزی منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۸(۳):۵۵-۶۶.

10- Babiker I., Mohamed A. and Hiyama T. 2007. Assessing groundwater quality using GIS. Water Resources Management, 21:699–715.

11- Dafonte J., Guitian M.U., Ferreiro J. and Siqueria G.M. 2010. Mapping of soil micronutrients in an European Atlantic agricultural landscape using ordinary kriging and indicator approach. Bragantia, Campinas, 69:175-186.

12- Feizi M. 2001. Effect of treated wastewater on accumulation of heavy metals in plant and soil. In: Ragab R., Pearce

G., Changkim J., Nairizi S. and Hamdy A. (Eds.), 52nd ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, Korea. Pp: 142-151.
13- Lindsay W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal, 42:421-428.
14- Liu W.H., Zhao J.Z., Ouyang Z.Y., Soderlund L. and Liu G.H. 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. Environment International, 31:805–812.
15- Machiwal D., Madan K.J. and Bimal C.M. 2011. GIS-based assessment and characterization of groundwater quality in a hard-rock hilly terrain of Western India. Environmental Monitoring and Assessment, 174:645–663.
16- Schuenemeyer J.H. and Drew L.J. 2011. Statistics for Earth and Environmental Sciences. John Wiley & Sons, Inc.
17- Sparks D.L. 2003. Environmental Soil Chemistry, 2nd edition. Academic Press.
18- Tomlinson D.L., Wilson J.G., Hariss C.R. and Jeffrey D.W. 1980. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. Helgol. Meeresunters, 55:566-575.
19- Zhang H., Wu C., Wu J., Luo Y., and Teng Y. 2008. Statistical and geostatistical characterization of heavy metal concentrations in a contaminated area taking into account soil map units. Geoderma, 144:171-179.

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 2, May.-Jun. 2014, p. 383-393

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۳، ص. ۳۹۳-۳۸۳

Definition and Mapping of an Integrated Micronutrient Deficiency Index Based on Phytoavailable Cu, Zn, Mn and Fe Soil Concentrations in the Boroujen–Faradonbeh Plain

H. Beigi Harchegani[1*]- S. Ahmadzadeh[2]- R. Iranipour[3]

Received: 02-09-2013
Accepted: 28-05-2014

Abstract

Boroujen–Fradonbeh plain is one of the nine main agricultural hubs of Charmahal Provine. The aim of this study was to define and map a deficiency index of soil micronutrients and the effect of wastewater application on it. For this, 200 surface soil (0-30 cm) samples were randomly collected and plant available concentrations of copper, zinc, iron, and manganese were determined. After variography and determining the most suitable spatial estimation method, maps of each micronutrient was drawn, normalized, and ranked. An integrated deficiency map was then constructed using the weights from rank maps. According to the maps of copper, zinc and iron, the available concentrations increased from west to east of the plain. This increase was attributed to the wastewater irrigation. The mean value of the integrated map, namely 85.5, indicated the seroius soil deficiency of micronutrients in this plain where 34% of the area was showing severe deficiency. Wastewater application has increased the overall availability of micronutrients by 4%. Sensivity analysis indicated that the map was most sensitive to zinc. Therefore, zinc concentration must be monitored with more precision and frequency across the plain**.**

Keywords: GIS, Treated Wastewater and Freshwater Agriculture, Kriging, Sensitivity Analysis, Variogram

1,2- Assistant Professor and MSc Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord
(*- Corresponding Author Email: beigi.habib@gmail.com)
3- Research Assistant Professor, Center of Agricultural and Natural Resourse Research, Shahrekord, Iran