

بررسی تغییرات مکانی مس و منگنز قابل جذب در خاک‌های مزارع گندم شمال استان خوزستان

ساجده سعدی نژاد^{۱*}، علیرضا جعفرنژادی^۲، علی غلامی^۳، عبدالامیر معزی^۴

^۱- نویسنده مسؤل: دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان (saadinejad@yahoo.com)

^۲- عضو هیئت علمی بخش خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

^۳- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان

^۴- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۲۸

چکیده

یکی از اصول اولیه تولید پایدار، ارتقاء کیفی خاک از نظر حاصلخیزی و برگرداندن مجدد عناصر غذایی جذب شده به- وسیله گیاهان، به خاک است. این پژوهش به منظور بررسی تغییرات مکانی عناصر مس و منگنز در خاک مزارع گندم در مساحتی حدود ۱۰۰ هزار هکتار در مناطق شمالی استان خوزستان اجرا گردید. بر این اساس، تعداد ۹۵ نمونه خاک بر اساس سطح زیر کشت گندم در مناطق مورد مطالعه تهیه و برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد مطالعه به آزمایشگاه منتقل شد. آماره‌های توصیفی با استفاده از نرم افزار SPSS14 و توزیع مکانی و میان‌یابی با استفاده از تکنیک کریجینگ و نرم افزار GS+ انجام گردید. نتایج نشان داد که میزان عنصر ریز مغذی منگنز در خاک مزارع مورد مطالعه، دارای میانگین ۶/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. بر این اساس، میزان منگنز در بیش از ۷۵ درصد خاک‌های مورد مطالعه کمتر از حد مجاز (۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) تعیین شد. میانگین غلظت عنصر مس در خاک مزارع مورد مطالعه ۱/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد و ۹۰ درصد خاک‌ها از این نظر در حد مطلوب بودند. نتایج نشان داد همبستگی معنی‌داری در مناطق مورد مطالعه بین مقدار مس خاک با فسفر خاک ($r=0.79^*$)، رس ($r=0.78^*$) و شوری ($r=0.77^*$) و بین مقدار منگنز خاک با اسیدیته ($r=0.83^*$) وجود دارد. در فرایند تجزیه ساختاری، بهترین مدل برای هر خصوصیت بر مبنای مقادیر آماره‌های دقت (MAE و MBE) و تکنیک ارزیابی تقاطعی مدل کروی، بود. نقشه‌های حاصل نشان دادند، بیش‌ترین میزان منگنز خاک در شمال شرق و بیش‌ترین غلظت مس خاک در غرب منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این موضوع باعث افزایش شناخت بیش‌تر از وضعیت پراکنش عناصر منطقه می‌گردد. بر این اساس، در آن بخش از مزارع مورد مطالعه که میزان منگنز و مس آنها کمتر از حد بحرانی بود، مصرف کود سولفات منگنز و مس بر اساس توصیه‌های آزمون خاک جهت پایدار نمودن حاصل‌خیزی خاک و تغذیه بهینه گیاه قابل توصیه است؛ بنابراین، مصرف نهاده‌های کودی باید با دقت بیشتری انجام شود و این موضوع افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات را در پی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: مس، منگنز، گندم، تغییرات مکانی، کریجینگ

مقدمه

بیش از ۹۰ درصد جامعه به نوعی گرسنگی سلولی مبتلا هستند. و بر این اساس ضرورت دارد که به جای تأمین کالری روزانه مورد نیاز، که در حال حاضر رقمی در حدود ۳۰۰۰ کیلو کالری در روز است، سیر کردن سلول‌های گرسنه جامعه از طریق غنی سازی محصولات کشاورزی، و خرید محصولات کشاورزی به ویژه گندم بر مبنای کیفیت مد نظر قرار داده شود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷).

مدیریت مناسب حاصل‌خیزی خاک از مهم‌ترین و اساسی‌ترین راه‌کارهای افزایش کیفیت محصولات کشاورزی و ارتقای سطح سلامت جامعه می‌باشد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۷۹). گندم از جمله غلاتی است، که نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی جامعه ایفاء می‌کند. با وجود اینکه بیش از ۸۶ درصد جامعه ۷۰ میلیون نفری ایران از نظر ظاهر گرسنه نمی‌باشند، لیکن

زمین آمار قادر به تهیه نقشه‌های کمی با دقت معلوم در مورد خواص خاک بوده، لذا می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تعیین سطح نیازهای کودی و پیش‌بینی وجود کمبود یا سمیت عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک به کار گرفته شود (گووارت^۵، ۲۰۰۰). زمین آمار به‌عنوان یکی از شاخه‌های آمار عملی امکان بررسی توأم مقدار متغیر و آرایش مکانی و زمانی مشاهدات را در تحلیل داده‌ها فراهم می‌نماید، و این روش نسبت به سایر روش‌های میان‌یابی دارای دقت بهتری است (تاتمیز و همکاران^۶، ۲۰۰۹)؛ بنابراین، با توجه به سطح وسیع زیر کشت گندم در استان خوزستان (حدود ۴۰۰ هزار هکتار) و نقش مهم گندم در زنجیره غذایی جامعه، شناخت عوامل تغذیه‌ای موثر در افزایش کیفیت این محصول بسیار حائز اهمیت است، از این رو تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی عناصر مس و منگنز در خاک گندم‌زارهای شمال استان خوزستان، بررسی توابع انتقالی میان این عناصر و برخی خصوصیات خاک و تهیه نقشه پراکنش مکانی آنها انجام شده است. بر این اساس، آگاهی از میزان این عناصر در خاک و تهیه نقشه آنها در مقیاس وسیع کمک شایان توجهی به مدیریت مناسب حاصل‌خیزی خاک و تغذیه بهینه گیاه می‌نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شمال استان خوزستان می‌باشد که در محدوده طول جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۸ دقیقه الی ۳۲ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و ۹ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی قرار دارد. وسعت منطقه مورد مطالعه حدود ۱۰۰ هزار هکتار می‌باشد. میانگین بارندگی، درجه حرارت و تبخیر سالانه در استان به ترتیب ۲۴۰ میلی‌متر، ۲۲ درجه سانتی‌گراد و ۳۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

در ایران به‌دلیل آهکی بودن خاک‌ها، بالا بودن میزان اسیدیته و شوری، کمبود مواد آلی در خاک‌های زراعی، و عدم تعادل در مصرف کود، حلالیت عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف بسیار پایین می‌باشد (یثربی و همکاران^۱، ۲۰۰۸)؛ بنابراین، به‌علت کمبود این عناصر در محلول خاک و عدم جذب توسط گیاه و یا عدم تعادل نسبت عناصر، به‌دلیل عدم تعادل در مصرف کود، کمبود آنها در دام و نهایتاً در انسان بروز می‌نماید (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). گندم، برای رشد به عناصر غذایی ریزمغذی از جمله منگنز و مس نیاز دارد. منگنز برای بسیاری از آنزیم‌های بدن به‌عنوان یک کوفاکتور عمل می‌کند، نقش مهمی را در دفاع آنتی‌اکسیدانی بدن و فعالیت‌های بیولوژیک سلولی دارد (گربر و همکاران^۲، ۲۰۰۲). کمبود این عنصر با کاهش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در بسیاری از سرطان‌ها به‌عنوان عامل مستعد کننده در ابتلا به سرطان شناخته شده است (میلان کرو و کرو تیردز^۳، ۲۰۰۱). مس در انسان با کمک به جذب آهن سطح انرژی بدن را بالا نگه می‌دارد، عوارض کمبود آن عمدتاً کم‌خونی و ورم معده است (زهراپی، ۱۳۷۲).

توزیع مکانی عناصر تغذیه‌ای در خاک از دیرباز مورد توجه متخصصان علوم خاک بوده است. خصوصیات خاک دارای تغییرات مکانی می‌باشند که تحت تأثیر خصوصیات ذاتی (فاکتورهای تشکیل خاک مانند مواد مادری) و خصوصیات غیرذاتی (مانند عملیات مدیریتی خاک، کوددهی و تناوب زراعی) قرار می‌گیرد (یمی‌فک و همکاران^۴، ۲۰۰۵). آگاهی از چگونگی این تغییرات برای افزایش بهره‌وری، حفظ حاصل‌خیزی خاک و اعمال مدیریت مناسب ضروری و قابل تأمل می‌باشد.

1- Yasrebi *et al*

2- Gerber *et al*

3- Millan-Crow and Cruthirds

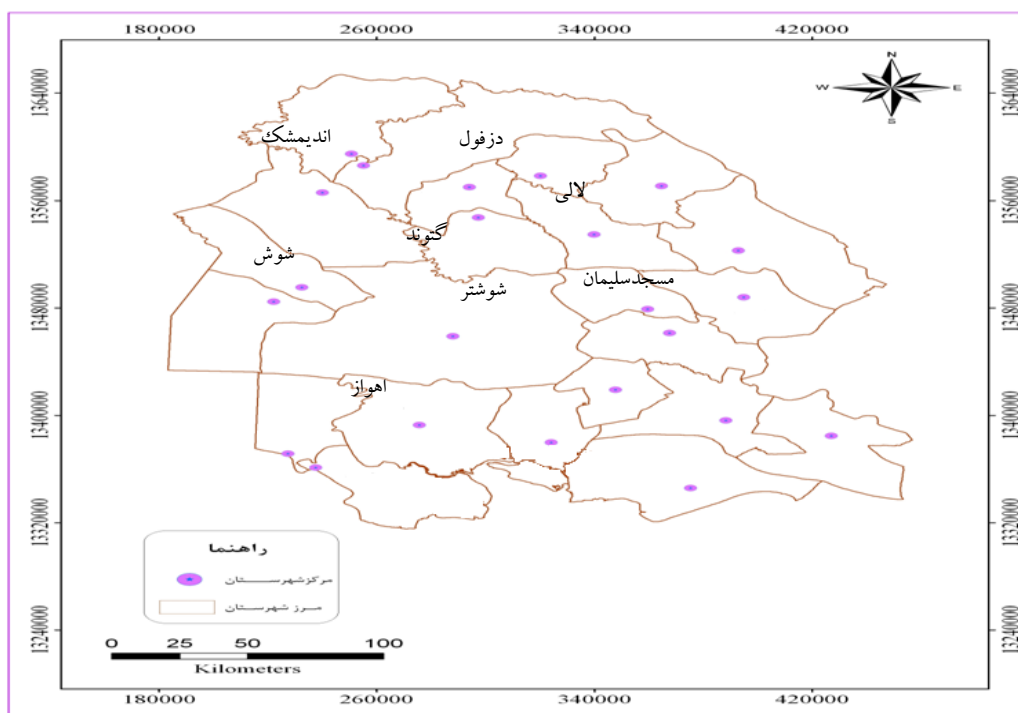
4- Yemefack *et al*

۵- Goovaerts

۶- Tutmez *et al*

شد. غلظت عناصر مس و منگنز قابل استفاده در خاک‌های مورد مطالعه به روش عصاره گیری با محلول DTPA (بیکر و آماچر^۲، ۱۹۸۲)، برخی خصوصیات شیمیایی خاک نظیر اسیدیته در گل اشباع با دستگاه پ‌هاش متر، آهک به روش خنثی سازی با اسید و تیتراسیون، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با دستگاه هدایت سنج (علی‌احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲) و فسفر به روش عصاره گیری با بیکربنات سدیم (السن و اتاناب^۳، ۱۹۶۵) اندازه گیری شدند. موقعیت مکان‌های نمونه برداری در شکل (۱) نشان داده شده است.

ابتدا، تعداد ۹۵ نمونه خاک به صورت مرکب، از مزارع دزفول، شوش، اندیمشک، شوشتر، گتوند، لالی و مسجدسلیمان تهیه گردید. نمونه برداری متناسب با سطح زیر کشت گندم در مناطق مورد مطالعه صورت گرفت؛ به این معنی که هر چه سطح زیر کشت یک منطقه بیشتر بود تعداد نقاط نمونه برداری شده بیشتر گردید؛ همچنین موقعیت مکانی (طول و عرض جغرافیایی) هر نقطه با استفاده از دستگاه GPS^۱، ثبت شد. بدین منظور، از عمق ۰-۲۰ سانتی متری خاک چند نمونه برداری ساده انجام و پس از مخلوط نمودن، حدود یک کیلوگرم خاک به صورت مرکب آماده شد.



شکل ۱- موقعیت مکان‌های نمونه برداری شده از خاک در منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی چگونگی توزیع فراوانی و تعیین آماره های توصیفی هر متغیر، نمودار توزیع فراوانی

جهت انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی، نمونه‌ها هوا خشک گردیده و سپس از الک ۲ میلی متری عبور داده

2- Baker and Amacher
3- Olsen and Watanabe

1 - Global Position System

تئوری است که توسط وزن‌های محاسبه شده برای هر نقطه انجام و نقشه توزیع مکانی خصوصیات مورد نظر ترسیم شد.

به منظور تعیین کلاس‌های مختلف وابستگی مکانی متغیرهای مورد مطالعه، از نسبت بین واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل استفاده گردید. نسبت همبستگی در واقع معرف آن است که چه مقدار از کل تغییرپذیری را اثر قطعه‌ای توجیه می‌کند. نسبت همبستگی دارای دو حد بحرانی ۰/۲۵ و ۰/۷۵ است. که به عنوان حدود بحرانی در پیوستگی مکانی محسوب می‌شوند. نسبت‌هایی با مقادیر کمتر از ۰/۲۵ دارای ساختار مکانی قوی، مقادیر بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ دارای ساختار مکانی متوسط و مقادیر بالاتر از ۰/۷۵ دارای ساختار مکانی ضعیف می‌باشند (کامباردلا و همکاران^۴، ۱۹۹۴). تمام عملیات زمین‌آماري، رسم نیم‌تغییرنماها و نقشه‌ها با استفاده از نرم افزار GS+5.1 انجام شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری متغیرها

توصیف آماری متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۱ خلاصه شده است. نتایج آزمون نرمال کولموگروف-اسمیرنوف در جدول ۲ نشان داد که تمامی متغیرها بجز شوری توزیعی تقریباً نرمال دارند. مقادیر ضریب چولگی ارائه شده در جدول ۱ (بین مقادیر -۱ و +۱) نتیجه‌گیری مزبور را تأیید می‌نماید (کاسترینگنانو و همکاران^۵، ۲۰۰۰). همچنین نزدیک بودن مقادیر میانگین هر ویژگی با مقدار میانه دلیل دیگری بر این ادعا است (گادوین و میلر^۶، ۲۰۰۳). توزیع شوری دارای چولگی مثبت است. این موضوع به دلیل ویژگی و تغییرات زیاد خصوصیت شوری است که در اثر اعمال مدیریت‌های

و آماره‌های میانگین، میانه، حداکثر و حداقل داده‌ها و انحراف معیار تعیین شد. جهت بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱، استفاده گردید. در این مطالعه برای نرمال کردن داده‌های شوری از روش تبدیل لگاریتم استفاده شد. همچنین مطالعه‌ی همبستگی بین غلظت مس و منگنز در خاک با برخی از ویژگی‌های خاک با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون تعیین شد. محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل خصوصیات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم افزار SPSS14 انجام گردید.

به منظور بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های مورد مطالعه، ابتدا نیم‌تغییرنمای تجربی برای تمامی متغیرها محاسبه شد و ساختار مکانی داده‌ها در کل پهنه‌ی مطالعاتی بررسی گردید. در فرآیند تجزیه ساختاری، مدل‌های استاندارد به تغییرنماهای تجربی به دست آمده برازش داده شد. جهت تعیین کمی خطای هر مدل از دو آماره‌ی، میانگین انحراف خطا^۲، (MBE) و میانگین قدر مطلق خطا^۳، (MAE) استفاده گردید و بهترین مدل برای هر پارامتر بر مبنای مقادیر آماره‌های دقت و تکنیک ارزیابی تقاطعی انتخاب شد. نحوه‌ی محاسبه آماره‌های، میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) به شرح زیر است (معادلات ۲ و ۳):

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (R_s - R_o)}{n} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_s - R_o|}{n} \quad (3)$$

R_s = مقدار برآورد شده، R_o = مقدار اندازه‌گیری شده، n = تعداد داده‌ها

در مرحله بعد، تخمین متغیر مورد نظر با استفاده از تکنیک میان‌یابی کریجینگ و بر اساس مدل

4- Cambarrdella et al.
5- Castringnanao et al.
6- Godwin and Miller

1- Kolmogorov- Smirnov
2- Mean Bias Error
3- Mean Absolute Error

جدول ۱- توصیف آماری خصوصیات اندازه گیری شده در خاک مزارع گندم در مناطق شمالی استان خوزستان

متغیر	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	حداقل	حداکثر
پ- هاش	۷/۲۹	۷/۲۴	۰/۲۷۷	۰/۴۴۲	-۰/۲۲۲	۶/۷	۸
شوری (دسی زیمنس/متر)	۱/۷۷	۱/۳	۱/۲۳	۱/۸۸	۳/۴۶	۰/۵	۶/۴
آهک (%)	۴۲/۶۵	۳۸	۶/۲۸	-۰/۱۷۱	-۰/۱۰۸	۲۷	۵۵
فسفر	۸/۰۷	۶/۳	۴/۰۲	۰/۵۳	-۰/۴۳	۱/۴	۱۷/۶
منگنز قابل جذب خاک	۶/۷۵	۶/۶۸	۲/۱۷	۰/۷۲۱	۰/۲۴۱	۲/۳	۱۳
مس قابل جذب خاک	۱/۳۴	۱/۳۱	۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۱۷	۰/۳	۳/۴

- واحد عناصر در خاک میلی گرم در کیلوگرم می باشد.

جدول ۲- نتایج آزمون نرمال بودن داده ها با استفاده از روش کولموگروف-اسمیرنوف

متغیر	درجه آزادی	سطح معنی داری	ضریب چولگی
پ- هاش	۹۵	۰/۹	۰/۶۸
شوری (دسی زیمنس/متر)	۹۵	۰	۱/۶
آهک (%)	۹۵	۰/۴۱	۰/۳۲
منگنز قابل جذب خاک	۹۵	۰/۶۴	۰/۷۳
مس قابل جذب خاک	۹۵	۰/۹۴	۰/۶۸

حدود ۴۳ درصد تعیین گردید؛ به طوری که میزان آهک در حدود ۶۶٪ از خاک های مورد مطالعه بیشتر از ۴۰ درصد بود. وجود رابطه ی معنی دار و معکوس (جدول ۳) بین میزان منگنز قابل جذب و پ-هاش از دیگر دلایل کاهش این عنصر در خاک می باشد. تأثیر منفی کربنات کلسیم خاک و اسیدیته بر میزان منگنز توسط محققان مختلفی گزارش شده است (سیلانپا^۱، ۱۹۸۲؛ مارشنر^۲، ۱۹۹۵؛ ضیائیان، ۱۳۷۸). از دیگر دلایل احتمالی کمبود این عنصر در خاک، کشت وسیع محصولات باغی، زراعی و عدم مدیریت صحیح در جهت جبران عناصر غذایی خاک از طریق مصرف کودهای ریزمغذی در این مناطق، می باشد.

مختلف بر خاک ایجاد گردیده است. از جمله این مدیریت ها می توان به ایجاد شبکه های زهکشی زیرزمینی و روش های نوین آبیاری اشاره کرد (جعفرنژادی، ۱۳۸۹).

بررسی وضعیت عنصر ریزمغذی منگنز در خاک نشان داد که میزان این عنصر در مناطق مورد مطالعه دارای میانگین ۶/۷۵ میلی گرم در کیلوگرم است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که بیش از ۷۵ درصد خاک های مورد مطالعه دارای میزان منگنز قابل جذب کمتر از حد بحرانی، ۸ میلی گرم در کیلوگرم خاک (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹) است.

از جمله مهم ترین دلایل احتمالی کمبود عنصر منگنز در مناطق مذکور را می توان وجود خاک های آهکی در مناطق مورد مطالعه دانست. بر اساس نتایج حاصل (جدول ۱) میانگین آهک در خاک مزارع مورد مطالعه

۱- Sillanpaa

۲- Marschner

جدول ۳ - ضریب همبستگی پیرسون برای ویژگی‌های مورد مطالعه

متغیر	فسفر قابل تبادل	رس	اسیدیته	شوری	آهک	مس قابل جذب خاک
رس	۰/۶۳	۱				
اسیدیته	۰/۴۳	-۰/۰۷	۱			
شوری	۰/۴۰	۰/۷۱	-۰/۴۴	۱		
آهک	-۰/۳۱	-۰/۳۳	-۰/۴۱	-۰/۰۴	۱	
مس قابل جذب خاک	۰/۷۹*	۰/۷۸*	۰/۲۰	۰/۷۷*	-۰/۱۸	۱
منگنز قابل جذب خاک	-۰/۴۴	-۰/۱۴	-۰/۸۳*	۰/۱۹	۰/۴۷	-۰/۳۸

* وجود اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد.

میزان پ- هاش خاک کمتر باشد، غلظت مس و منگنز قابل جذب بیشتری برای گیاهان وجود دارد. نتایج رگرسیون چند مرحله‌ای بین غلظت مس در خاک و خصوصیات مورد مطالعه نشان داد، ارتباط رگرسیونی معنی دار با ضریب همبستگی ۰/۹۴ میان مس خاک، فسفر، رس و شوری وجود دارد (معادله ۶).

همچنین رابطه معنی دار بین میزان منگنز موجود در خاک و پ- هاش خاک با ضریب همبستگی ۰/۸۳ وجود دارد (جدول ۳).

آنالیز همبستگی مکانی

نتایج حاصل از برازش مدل‌های استاندارد به تغییرنماهای تجربی نشان داد، تمامی این متغیرها دارای ساختار مکانی بوده و مدل کروی بهترین برازش را بر تغییرات تمام خصوصیات فوق داشته است (شکل ۲). سیتین و کردا^۱، (۲۰۰۳) بیان کردند که مدل کروی از جمله معمول‌ترین مدل‌های زمین‌آماری در مورد خصوصیات خاک است. بررسی نتایج نیم‌تغییرنمای متغیرهای مختلف نشان داد روند تغییرات این خصوصیات تا حدود زیادی با هم مشابه است. در این نمودارها میزان اثر قطعه‌ای بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۱۳ می‌باشد. با افزایش فاصله، مقدار واریانس در دامنه ۲۴ تا ۹۹ کیلومتر روندی صعودی داشت (شکل ۲). بدیهی است

میزان عنصر مس در خاک مناطق مورد مطالعه دارای میانگین ۱/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم است. بر این اساس، میزان مس قابل جذب در ۹۰ درصد خاک‌های مورد مطالعه بیش از ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹) تعیین شد.

برای تعیین همبستگی ویژگی‌های مورد مطالعه، ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. نتایج همبستگی در جدول ۳ نشان داده شده است. بر این اساس همبستگی معنی‌داری بین مقدار مس خاک با فسفر خاک ($r=0.79^*$)، رس ($r=0.78^*$) و شوری ($r=0.77^*$) وجود دارد. همچنین، رابطه‌ی معکوس و معنی‌داری بین مقدار منگنز خاک با پ-هاش ($r=-0.83^*$) مشاهده شد. بر اساس نتایج فوق غلظت مس موجود در خاک نسبت به منگنز بیشتر تحت تأثیر خصوصیات خاکی مورد مطالعه قرار گرفته است. میزان مس قابل جذب خاک با شوری رابطه مستقیم و معنی‌دار داشته (رابطه ۶)، و نشان دهنده این است که احتمالاً ترکیبات مس در فاز محلول خاک نیز زیاد می‌باشند ($p<0.05$). میزان منگنز موجود در خاک با پ-هاش رابطه‌ی معنی‌دار و معکوس داشت ($p<0.05$).

$$Cu_{DTPA} = 0.55P + 0.08Clay + 0.49EC \quad R = 0.94 \quad (6)$$

واثقی و همکاران (۱۳۸۲) در بررسی اثر پ- هاش خاک بر قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف به این نتیجه رسیدند، افزایش مقدار این عناصر در خاک‌ها متناسب با کاهش مقدار پ- هاش در خاک‌ها است؛ لذا هر چه

سازی می‌کند (جدول ۴). همچنین، نتایج ارزیابی تقاطعی در شکل ۳ مؤید مطلب فوق است و نشان می‌دهد که مقادیر برآوردی مطابقت زیادی با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد.

نقشه‌های حاصل از میان‌یابی کریجینگ عناصر مس و منگنز در خاک و ویژگی‌های پ‌هاش و شوری در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس نقشه‌های حاصل توزیع و پراکنش این خصوصیات، دارای روند و ساختار مکانی است.

مقایسه‌ی تغییرات در نقشه‌های عناصر مس و منگنز با نقشه‌های ویژگی‌های خاک نشان داد که روند تغییرات مشابه نیست. بنابراین، عدم شباهت نقشه‌ها در مناطق مورد مطالعه می‌تواند ناشی از علل مختلف باشد. از جمله آن که میزان این عناصر در خاک تنها تحت تأثیر ویژگی‌های خاک نبوده بلکه، در مناطق مورد مطالعه آثار متقابل چندین فاکتور مانند نوع تناوب، میزان مصرف کودهای فسفات و کودهای آلی و نوع مدیریت مزارع روی عناصر مس و منگنز در خاک اثر گذاشته است؛ بر این اساس به نظر می‌رسد ساختار مکانی و دامنه تأثیر متغیرها بیشتر تحت تأثیر عوامل مدیریتی و تغییرپذیری غیرذاتی است.

که دامنه تأثیر بزرگ‌تر دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر دارد. این گسترش موجب افزایش محدوده‌ی قابل قبولی می‌گردد که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای تخمین مقدار متغیر مورد نظر در نقاط مجهول استفاده کرد (حسینی پاک، ۱۳۸۹).

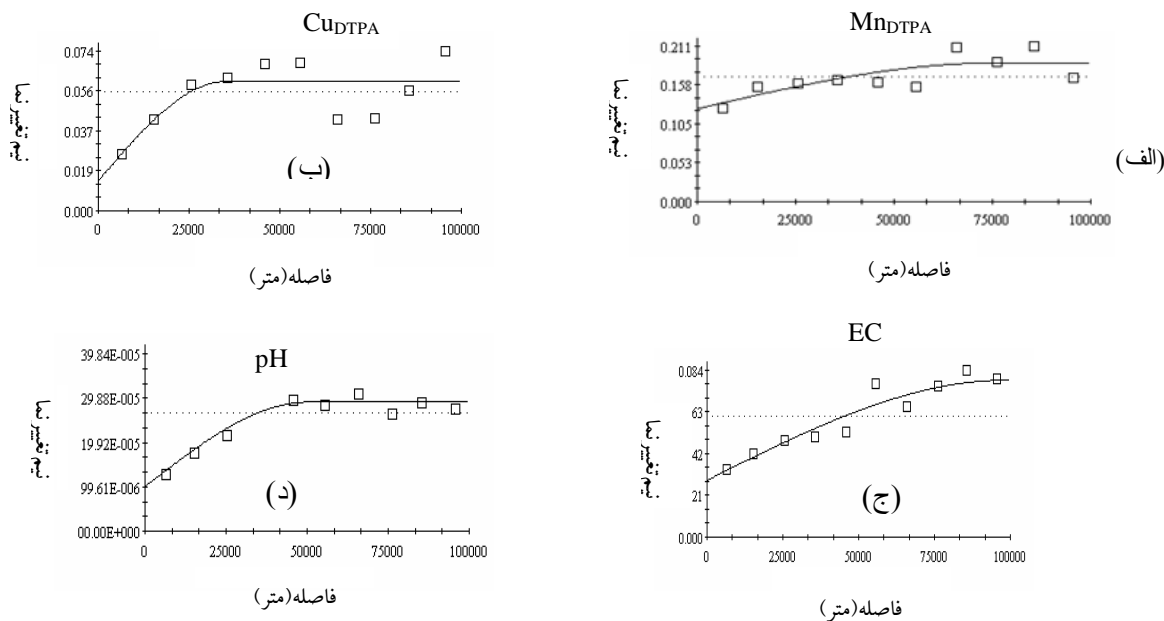
به‌منظور تعیین میزان همبستگی، نسبت و کلاس همبستگی برای متغیرهای مورد بررسی محاسبه و در جدول ۴ ارائه شده است.

در بین تمامی خصوصیات مورد بررسی، مس قابل جذب خاک دارای ساختار مکانی قوی بود که با نتایج یشری و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد.

سایر خصوصیات ساختار مکانی متوسط دارند که با نتایج وانگ و همکاران^۱، (۲۰۰۹)، تانمیز و همکاران (۲۰۰۹)، فاتحی و همکاران (۱۳۸۸) همخوانی دارد. کامبردلا و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که ساختار مکانی قوی ممکن است به وسیله‌ی تغییرات ذاتی خصوصیات خاک کنترل گردد و ساختار مکانی ضعیف‌تر ممکن است به‌وسیله‌ی تغییرات غیر ذاتی مانند کاربرد کود و شخم کنترل شود؛ بنابراین در هر منطقه، تفاوت در تغییرپذیری خصوصیات و عناصر موجود در خاک به مدیریت اراضی و تأثیر فرآیندهای خاکسازي بستگی دارد. مقایسه ضریب همبستگی مدل‌های برازش داده شده بر خصوصیات مورد مطالعه نشان داد، تغییرات مربوط به این ویژگی‌ها تا حد زیادی به وسیله‌ی مدل‌های برازش داده شده قابل تفسیر است (جدول ۴). بیشترین ضریب همبستگی مربوط به شوری است. بنابراین، مدل برازش یافته، بیشتر تغییرات مربوط به این ویژگی را لحاظ نموده به طوری که حدود ۹۰ درصد تغییرات با این مدل قابل پیش بینی است (جدول ۴).

نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی با استفاده از توابع MAE و MBE نزدیک به صفر است و نشان دهنده این است که روش استفاده شده واقعیت را به خوبی شبیه

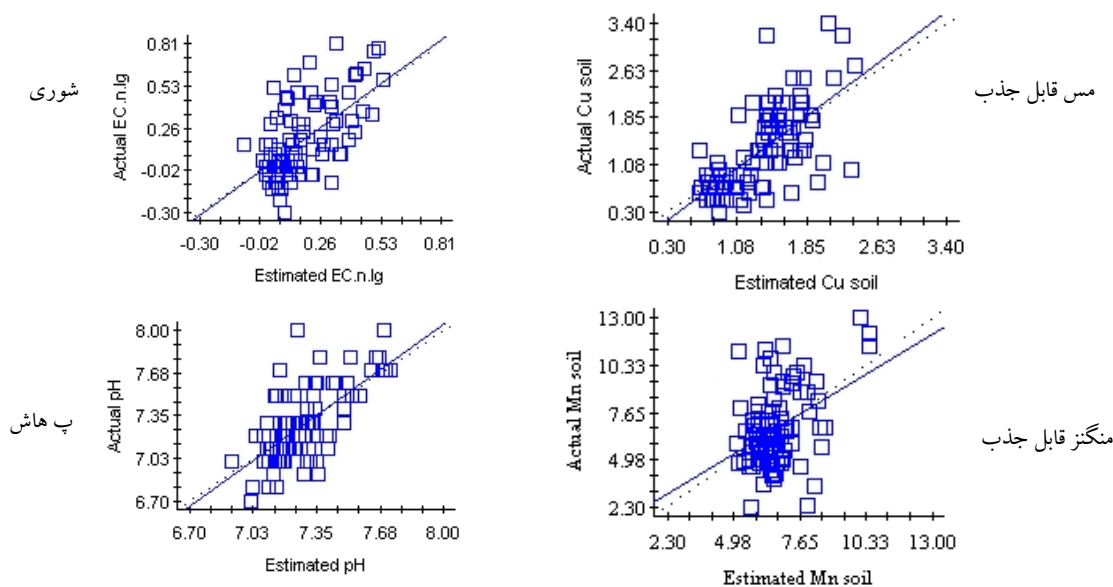
سعدی نژاد و همکاران: بررسی تغییرات مکانی مس و منگنز قابل جذب...



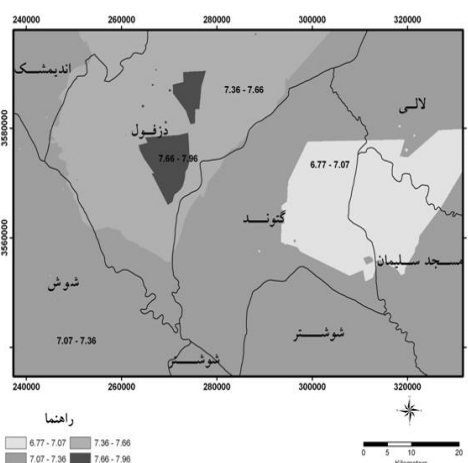
شکل ۲. نیم تغییرنمای خصوصیات مورد مطالعه، (الف) منگنز قابل جذب، (ب) مس قابل جذب، (ج) شوری، (د) پ-هاش.

جدول ۴- پارامترهای تغییرنمای تئوری، خصوصیات اندازه گیری شده خاک مزارع گندم در مناطق شمالی استان خوزستان

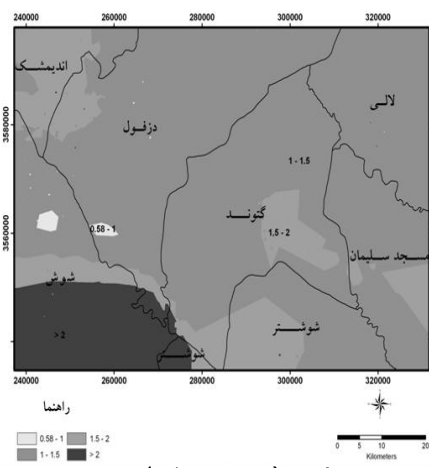
متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	سقف	نسبت همبستگی	شعاع تأثیر (کیلومتر)	ضریب رگرسیون	مجموع مربعات خطا	کلاس ساختاری	میانگین قدر مطلق خطا	میانگین انحراف خطا
پ هاش	کروی	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۳۳	۵۰	۰/۶۴	۰/۰۰۰۰۰۰۱۹	متوسط.	۰/۱۵	۰/۰۰۷
شوری	کروی	۰/۰۲۹	۰/۰۷۹	۰/۳۶	۹۹	۰/۹۰	۰/۰۰۰۰۲۷	متوسط.	۰/۱۶	۰/۰۰۰۴
مس قابل جذب	کروی	۰/۰۱۴	۰/۰۶	۰/۲۳	۳۵	۰/۵۲	۰/۰۰۰۰۹۸	قوی	۰/۳۵	-۰/۰۱
منگنز قابل جذب	کروی	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۶۸	۷۵	۰/۵۷	۰/۰۰۰۰۲۶	متوسط.	۰/۲۹	۰/۰۱



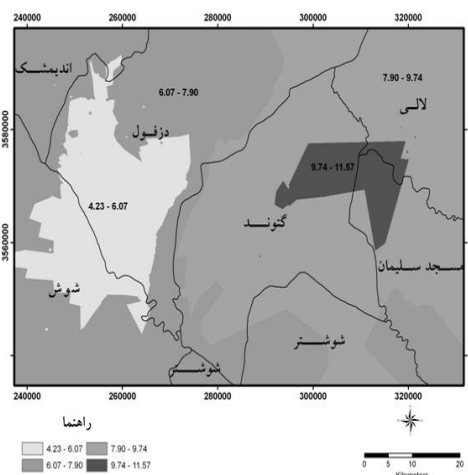
شکل ۳ - مقایسه بین مقادیر اندازه گیری شده (محور عمودی) و برآورد شده (محور افقی) در عناصر و خصوصیات خاک



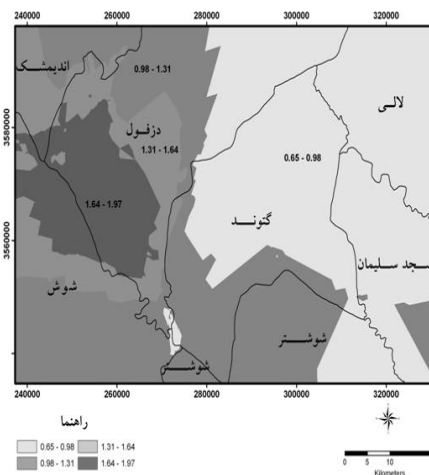
پ هاش



شوری (دسی زمینس/متر)



مس قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)



مس قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)

شکل ۴- پهنه بندی عناصر مس و منگنز قابل جذب و برخی ویژگی‌های خاک

کیلوگرم خاک است مصرف کود سولفات منگنز و در ۱۰ درصد از مزارع که میزان مس آنها کمتر از حد بحرانی است مصرف کود سولفات مس بر اساس توصیه‌های آزمون خاک، جهت پایدار نمودن حاصلخیزی خاک و تغذیه بهینه گیاه باید در نظر گرفته شود. پایش وضعیت این عناصر، سبب مدیریت مصرف بهینه عناصر غذایی، افزایش تولید (کمیت و کیفیت) محصول شده و در نهایت افزایش سطح سلامت غذایی جامعه را در پی دارد. بنابراین، حفظ حاصلخیزی خاک و اعمال مدیریت مناسب، جهت افزایش بهره‌وری و مدیریت کشاورزی پایدار ضروری می‌باشد.

بر اساس نقشه‌های حاصل (شکل ۴)، میزان مس قابل جذب خاک از شرق به غرب منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد. بیشترین غلظت این عنصر در غرب منطقه مورد مطالعه تعیین شد.

میزان منگنز قابل جذب در شمال شرق منطقه مورد مطالعه نسبت به سایر مناطق از وضعیت مطلوب تری برخوردار است (شکل ۴). میزان پ-هاش و شوری از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه در حال کاهش است (شکل ۴). باید توجه داشت نقشه‌های حاصل، بر اساس حدود بحرانی تفکیک و کاربرد آنها بر این اساس قابل توصیه است. بنابراین، در ۷۵ درصد از مناطق مورد مطالعه که میزان منگنز آنها کمتر از حد بحرانی ۸ میلی گرم در

نتیجه گیری

متغیرهای بررسی شده در این مطالعه همگی دارای ساختار مکانی می‌باشند. ساختار مکانی و دامنه تأثیر متغیرها بیشتر تحت تأثیر تغییرپذیری غیر ذاتی و عوامل مدیریتی بود. دقت نقشه‌های حاصل در رابطه با خصوصیات و عناصر موجود در خاک با نتایج مشاهده‌ای حاصل همخوانی مناسبی را نشان داد. بنابراین، تغییرنما و ویژگی‌های مربوط به آن می‌تواند به عنوان وسیله ای کارا برای طراحی شبکه های نمونه برداری و شناسایی نواحی مدیریتی در کشاورزی دقیق به کار رود؛ از این رو می‌توان جهت صرفه جویی در

مصرف نهاده‌های کشاورزی و حفظ محیط زیست با کمک گرفتن از تکنیک زمین‌آمار و کریجینگ و پهنه بندی کردن مزارع و ایجاد نواحی مجزا شده، مدیریت بهتری را بر خاک‌ها داشت. با استفاده از نقشه حاصل خیزی خاک تهیه شده، می‌توان توصیه کودی بر مبنای مناطق همگن جدا شده به‌روی نقشه انجام داد. با این کار مصرف نهاده‌های کودی با دقت بیشتری انجام می‌گردد و از هدر رفت منابع کودی و آلودگی محیط زیست تا حدودی جلوگیری می‌شود.

منابع

۱. جعفرنژادی، ع. ۱۳۸۹. مدل‌سازی روند انباشت کادمیم در خاک مزارع گندم. پایان نامه دکتری، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۸ ص.
۲. حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۸۹. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. ایران. ۳۱۴ ص.
۳. زهرایی، ن. ۱۳۷۲. ویتامین‌ها. (ترجمه). انتشارات گلشن، تهران، ایران. ۲۱۶ ص.
۴. ضیاییان، ع. ح. ۱۳۷۸. تعیین حد بحرانی عناصر کم‌مصرف و نقش آنها در افزایش عملکرد و غنی‌سازی گندم در خاک‌های شدیداً آهکی استان فارس. پایان نامه دکتری، گروه خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۷۴ ص.
۵. علی‌احیایی، م. و بهبهانی زاده، ع. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک، نشریه فنی شماره ۸۹۳، چاپ اول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ایران. ۲۸۹ ص.
۶. فاتحی، ش.، نعمتی، ع. و قادری، ج. ۱۳۸۸. تهیه نقشه حاصلخیزی خاک ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام آباد غرب با استفاده از تکنیک زمین‌آمار. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۴-۲۱ تیر، ص ۱۲۴۳-۱۲۴۴.
۷. ملکوتی، م. ج.، کشاورز، پ.، کریمیان، ن. ۱۳۸۷. روش‌های جامع تشخیص و توصیه بهینه کودی برای کشاورزی پایدار. تهران: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ایران. ۷۵۵ ص.
۸. ملکوتی، م. ج.، بلالی، م. ر.، مشایخی، ح.، و خادمی، ز. ۱۳۷۹. عناصر ریز مغذی بر افزایش عملکرد و تعیین حد بحرانی آنها در خاک‌های تحت کشت گندم آبی. ص ۱۳۴-۱۲۱. در: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی. تغذیه متعادل گندم. چاپ نخست، نشر آموزش کشاورزی. کرج.
۹. ملکوتی، م. ج. و طهرانی، م. م. ۱۳۷۹. نقش ریز مغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی عناصر خرد با تأثیر کلان. تهران: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ایران. ۲۹۹ ص.

۱۰. واتقی، س.، افیونی، م.، شریعتمداری، ح. و مبلی، م. ۱۳۸۲. اثر لجن فاضلاب و اسیدپته خاک بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف و فلزات سنگین. مجله ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۸(۳): ۱۰۵-۹۵.

11. Baker, D.E., and Amacher, M.C. 1982. Nickel, copper, zinc, and cadmium. In Page, A., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (Eds.), Methods of soil analysis. Part 2-Chemical and Microbiological Properties. Agronomy, SSSA 9. pp. 323-334.
12. Cambardella, C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin, T., Turco, R., and Konopka, A. 1994. Field-scale variability of soil properties in west Java, Indonesia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 52: 376-382
13. Castrignano, A., Giugliarini, L., Risaliti, R., and Mattinelli, N. 2000. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma*, 97: 36-60.
14. Cetin, M., and Kirda, C. 2003. Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low quality water. *Journal of Hydrology*, 272: 238-249.
15. Gerber, G.B., Leonard, A., Hantson, P. 2002. Carcinogenicity, mutagenicity and teratogenicity of manganese compounds. *Journal of Critical Reviews in Oncology and Hematology*, 42(1):25-34.
16. Godwin, R. J., and Miller, P. 2003. A review of the technologies for mapping within- field variability. *Biosystems Engineering*, 84: 393-407.
17. Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation in to the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228: 113-129
18. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition, New York, Academic Press, 890 p.
19. Millan-Crow, L.A., and Cruthirds, D.L. 2001. Invited review manganese superoxide dismutase in disease. *Journal of Free Radical Research*; 34(4): 325-360.
20. Olsen S.R., and Watanabe F.S. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorous I water and NaHCO₃ extracts from soil. In Klute, A., (ed.), *Method of Soil Analysis, Part 1: Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edition, ASA and SSSA, Madison WI, pp. 403-430.
21. Sillanpaa, M. 1982. Micronutrients and nutrient status of soils: A global study. *FAO Soils Bulletin* FAO, Rome. Italy, Report No. 48.
22. Tutmez, B., Dag, A., Erdem, F., and Torun, B. 2009. Evaluation of Mn concentration provided by soil in citrus growing regions. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 67: 27-34.
23. 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.

24. Yemefack, M., Rossiter, D.G., and Njomgang, R. 2005. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma*, 125: 117-143
25. Yasrebi, J.A., Saffari, M.A., Fathi, H.A., Karimiyan, N.A., Emadi, M.O., and Baghernejad, M.A. 2008. Spatial Variability of soil fertility properties for precision agriculture in southern Iran. *Journal of Applied Sciences*, 8(9): 1642-1650.