نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۹۹
۱-۲۲
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI:10.22069/ejcp.2020.18272.2353

ارزیابی حاصل‌خیزی اراضی برای کشت ذرت با استفاده از GIS، منطق فازی و ANP (مطالعه موردی: چهار حوضه استان گلستان)

حسین پورهادیان[۱]، بهنام کامکار[۲*]، افشین سلطانی[۳] و حسن مختارپور[٤]

[۱]دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و هیأت علمی گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور، ایران
[۲]استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و گروه اگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۳]استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[٤]استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹٦/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: یکی از عوامل بسیار مهم در تولید عملکرد بالای گیاهان وجود عناصر غذایی خاک می‌باشد. لذا بررسی دقیق میزان عناصر قابل دسترس از جمله عناصر پرمصرف و کم مصرف در خاک برای تولید محصول مهمی مثل ذرت ضروری می‌باشد. به‌همین منظور تهیه نقشه حاصل‌خیزی خاک چهار حوضه کشاورزی استان گلستان به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، منطق فازی و تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای کشت گیاه ذرت مورد پژوهش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در چهار حوضه قره‌سو، قرن‌آباد، محمدآباد و زرین‌گل استان گلستان انجام شد. جهت تهیه لایه‌های رستری عناصر خاک شامل پتاسیم و فسفر قابل دسترس، نیتروژن کل، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب خاک از اطلاعات ۸۵۸ نقطه نمونه‌برداری شده خاک استفاده شد. ابتدا لایه رستری هر عنصر به کمک روش کریجینگ معمولی در محیط ArcGIS 10.4 در محدوده اراضی زراعی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. سپس به کمک توابع فازی نقشه هر عنصر استانداردسازی فازی شد و نقشه‌های مربوط به هر عنصر با استفاده از ANP وزن‌دار شده و با روی هم‌گذاری لایه‌ها، نقشه حاصل‌خیزی خاک تهیه شد. به‌منظور انطباق لایه‌های تولید شده با نیاز تغذیه‌ای گیاه ذرت، نیازهای تغذیه‌ای این گیاه با استفاده از منابع علمی تعیین گردید. در پایان لایه نهایی به پنج طبقه حاصل‌خیزی خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی‌کم تقسیم شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد ارزش فازی اراضی زراعی محدوده مورد مطالعه بین ۰/۳۰تا ۰/۷۸ بود. ۱۱۹۷۷۱/٤۷ هکتار معادل ۵۹/۸۷ درصد منطقه مورد مطالعه دارای حاصل‌خیزی متوسط که بیش‌تر در قسمت میانی منطقه مورد مطالعه واقع شد و ۸۰۲۱۲/٦۵ هکتار معادل ٤۰/۰۹ درصد دارای حاصل‌خیزی کم که بیش‌تر در قسمت شمالی و جنوبی قرار داشت ۸٤/۲٤ هکتار معادل ۰/۰٤ درصد دارای حاصل‌خیزی زیاد بود و دو طبقه حاصل‌خیزی خیلی‌کم و حاصل‌خیزی خیلی‌زیاد فاقد سهم از منطقه مورد مطالعه بودند. در بین حوضه‌ها؛ حوضه زرین‌گل دارای بالاترین حاصل‌خیزی و حوضه محمدآباد دارای پایین‌ترین حاصل‌خیزی بودند. میانگین ارزش فازی نشان داد عناصر منگنز و پتاسیم به‌ترتیب دارای بیش‌ترین ارزش و عناصر کلسیم و روی به‌ترتیب دارای کم‌ترین ارزش فازی بودند. عناصر پتاسیم و فسفر قابل دسترس، نیتروژن کل، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب باعث کاهش ارزش حاصل‌خیزی مساحت اراضی مورد مطالعه به‌ترتیب به‌میزان ٦۹/۳۸، ۷٦/۰۲، ۹٦/۹۸، ۹٤/٦۸، ٤۷/۸۱، ٤۹/۱۰، ۹٦/۹۸، ٦۹/۵۷ و ۳۰/۲۸ درصد شدند.

*مسئول مکاتبه: bkamkar@yahoo.com

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از پهنه‌بندی حاصل‌خیزی چهار حوضه مورد مطالعه به کمک منطق فازی و ANP برای کشت ذرت نشان داد تقریباً کل محدوده مورد مطالعه (به‌جز ۸٤/۲٤ هکتار) از نظر حاصل‌خیزی با مشکل روبرو بود. حوضه زرین‌گل حاصل‌خیزترین حوضه برای کشت ذرت بود و حوضه‌های قره‌سو، قرن‌آباد و محمدآباد به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی حاصل‌خیزی قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: حاصل‌خیزی، ذرت، منطق فازی، ANP، GIS.

مقدمه

به‌حداکثر رساندن و پایدارسازی عملکرد گیاهان زراعی از جمله اهداف اصلی کشاورزی پیشرفته هستند. یکی از مشکلات اصلی محدودکننده توسعه یک کشاورزی موفق از نظر اقتصادی، کمبود عناصر غذایی می‌باشد (۱۳). شناخت دقیق توانایی خاک در تأمین میزان عناصر برای تغذیه هر گیاه از جمله ذرت شرایط را برای استفاده بهینه از منابع موجود فراهم می‌کند و باعث جلوگیری از اضافه مصرف کودهای شیمیایی شده و پیآمدهای زیست محیطی آن‌ها را کاهش می‌دهد. گیاه ذرت از جمله گیاهان پرتوقع از نظر تغذیه می‌باشد که در مناطق مختلف ایران با سطحی معادل ٤۰۹٥٤۱ هکتار (متوسط عملکرد دانه ۷ تن در هکتار و علوفه ٤٥/۹ تن در هکتار) و در استان گلستان با سطحی معادل ۱۰٥٤٥ هکتار (متوسط عملکرد دانه ۱۲ تن در هکتار و علوفه ۳۸/٤ تن در هکتار) کشت می‌گردد (۱۲). بنابراین، توجه به تغذیه این گیاه جهت تولید بالا و با کیفیت بسیار مهم می‌باشد (۱۷). از جمله راهکارهای بسیار مهم در برآورد میزان عنصر قابل دسترس هر گیاه از طریق خاک در ابعاد وسیع با صرف وقت و هزینه کم‌تر نسبت به روش‌های معمول و سنتی استفاده از روش‌های نو چون سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[1]) و به کمک توابع زمین‌آمار نهفته در آن می‌باشد (۱٥، ۲۰ و ۲۷). چرا که این سامانه قابلیت تخمین مقادیر عناصر مورد نیاز گیاه را در مکان‌های مجهول و نمونه‌برداری نشده (در صورت وجود اطلاعات مکانی با تراکم و توزیع مکانی مناسب) را به نحو مطلوبی داراست و توزیع مکانی عناصر را به‌صورت نقشه راه برای بررسی میزان مصرف کود براساس حاصل‌خیزی خاک به شکل مناسبی فراهم می‌کند (۱، ۲۸). بنابراین ارزیابی اراضی کشاورزی از لحاظ حاصل‌خیزی یکی از روش‌های بسیار مهم در تعیین عوامل محدودکننده تولید در اراضی کشاورزی می‌باشد. ارزیابی اراضی به‌وسیله سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با استفاده از روش‌ها و مدل‌های مختلف موجود در این سامانه مانند منطق فازی کمک شایانی به استفاده بهینه از عوامل تولید خواهد کرد (۵، ۳۲، ۳۷، ٤۳).

منطق فازی برای اولین بار توسط دانشمند ایرانی پروفسور عسگر لطفی‌زاده استاد دانشگاه برکلی آمریکا برای اقدام در شرایط عدم اطمینان ارائه شد. روش‌های منطقی روش‌های جبری و در واقع ۰ و ۱ هستند و منطق فازی دنیا را خاکستری می‌بینند (۲۱). این منطق قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. در روش فازی تمام لایه‌ها بایستی پیکسل به پیکسل فازی شود و برای آن‌ها درجه عضویت به کمک یک تابع ریاضی تعیین گردد (۵، ۳٤). البته مقدار درجه عضویت هر طبقه و واحد مکانی بر اساس نظرات کارشناسی و استفاده از دانش داده‌ای تعیین می‌گردد (۳۵). خروجی‌های استاندارد شده به‌صورت روند تدریجی نمایش داده می‌شوند، که منجر به بهبود دقت

1. Geographical Information System

خروجی خواهد شد (۷، ۳٤، ٤۱). توابع مختلفی مبتنی بر فازی برای تحلیل ارزیابی تناسب اراضی پیشنهاد شده است (۱۱، ۲۷، ٤۳). با این وجود مهم‌ترین چالش برای استفاده از منطق فازی تعیین وزن نسبی هر معیار (کل معیارها) برای روی هم‌گذاری نقشه‌های مرتبط برای تولید نقشه نهایی ارزیابی تناسب اراضی است (۲۷، ٤۳). معیارهای وزن‌دهی با روش‌های مختلف از جمله تحلیل شبکه‌ای (ANP[1]) انجام می‌شود.

ANP یکی از روش‌های مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در پی محدودیت‌ها و عدم توانایی فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2]) در لحاظ کردن وابستگی‌های بین معیارها و عوامل، توسط پروفسور ساعتی در سال ۱۹۹٦ توسعه یافت و مزیت آن نسبت به AHP در نظر گرفتن وابستگی‌های بین معیارها می‌باشد (۸، ۳۳). فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اجزای یک سیستم را به‌صورت یک سلسله مراتب سازماندهی می‌کند. به عبارت دیگر، در یک سلسله مراتب وابستگی‌ها باید به‌صورت خطی از بالا به پایین و یا بالعکس باشد. اما اگر وابستگی دو طرفه‌ای بین وزن معیارها و گزینه‌ها وجود داشته باشد دیگر این ارتباط از حالت سلسله مراتبی خارج شده و تشکیل یک شبکه یا سیستم غیرخطی یا سیستم با بازخور را می‌دهد (۳۳). پس دیگر نمی‌توان برای محاسبه وزن عناصر از AHP استفاد کرد و بایستی فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) جایگزین آن نمود (۸، ۳۳). ANP متشکل از ۲ قسمت است: سلسله مراتب کنترلی و ارتباط شبکه‌ای. سلسله مراتب کنترلی ارتباط بین هدف، معیارها و زیرمعیارها را شامل شده و بر ارتباط درونی سیستم تأثیرگذار است و ارتباط شبکه‌ای وابستگی بین عناصر و خوشه‌ها را در برمی‌گیرد (۳۰).

شهبازی و بشارتی (۲۰۱۳) با بررسی ۵۰ هزار نمونه خاک در ۳۱ استان کشور گزارش کردند ۷۱/۸، ۲۱، ٥٦، ٤۰، ۲۰، ۲/۲ درصد از اراضی کشاورزی دارای میزان فسفر، پتاسیم، روی، آهن، مس، منگنز پایین‌تر از حد بحرانی هستند (۳٦). سیدمحمدی و همکاران (۲۰۱٦) با ارزیابی حاصل‌خیزی اراضی کشاورزی نواحی مرکزی استان گیلان برای کشت برنج به کمک مواد آلی، پتاسیم و فسفر خاک با استفاده از منطق فازی، AHP و GIS گزارش کردند ٤۹/٤ درصد از اراضی مورد مطالعه با مشکل حاصل‌خیزی روبرو بودند (۳٤). در مطالعه دیگری (اعمی‌ازغدی و همکاران، ۲۰۱۰) با استفاده از این روش‌ها و عوامل خاک تنها ۱۱ درصد از منطقه شاور خوزستان توانایی تأمین نیاز تغذیه‌ای گندم بدون مصرف کود دارا بودند (۱). مکرم و بردیده (۲۰۱۲) به کمک منطق فازی نشان دادند منطقه زرقان فارس با توجه به وضعیت میزان عناصر خاک آن (آهن، مس، منگنز، روی، مواد آلی، فسفر و پتاسیم) دارای پتانسیل بالایی برای کشت گندم نبوده و مصرف کودهای شیمیایی برای رشد این محصول ضروری است (۲۱). ژانگ و همکاران (۲۰۱٥) با ارزیابی تناسب اراضی استان شاندونگ چین به کمک منطق فازی دریافتند ۸/٤۲ درصد از کل منطقه مورد مطالعه برای تولید توتون دارای خاک با حاصل‌خیزی خیلی‌مناسب و تنها ٦٦/۱۹ درصد دارای خاک با حاصل‌خیزی نامناسب بود (٤۳). آن‌ها گزارش کردند نیتروژن قابل دسترس خاک و منیزیم قابل تبادل به‌ترتیب مؤثرترین و کم اثرترین عنصر تغذیه‌ای بودند و دیگر عناصر مانند فسفر، پتاسیم و مولیبدن قابل دسترس، کلر و کلسیم تبادلی اغلب در شرایط بحرانی و مناسب قرار داشتند (٤۳). مطالعات مختلف (٤، ٦، ۲٦، ٤۲) نشان داد منطق فازی شرایط خوبی برای برآورد دقیق و واقع‌بینانه از کیفیت خاک برای انواع محصول فراهم می‌کند.

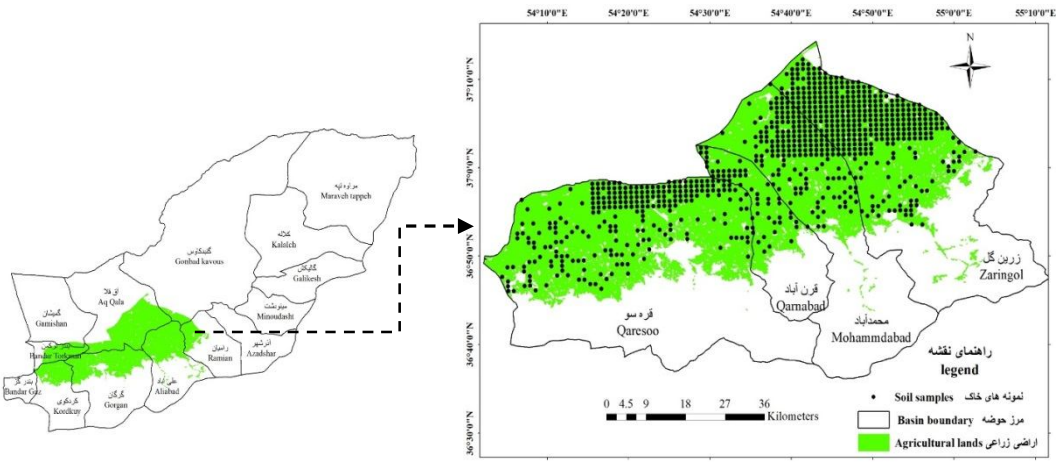
1. Analytic Network Process
2. Analytic Hierarchy Process

مدیریت بهینه حاصل‌خیزی خاک می‌تواند موجب افزایش کمی و کیفی تولیدات ذرت گردد و از مصرف اضافی کود شیمیایی با توجه به‌هزینه بالای تأمین کود و مشکلات زیست محیطی احتمالی ناشی از آن جلوگیری کند. به‌همین منظور این مطالعه با هدف ارزیابی میزان قابلیت دسترسی عناصر پرمصرف، ثانویه و کم مصرف دخیل در تغذیه ذرت در چهار حوضه آبخیز در استان گلستان، انجام شد. چرا که تا کنون تناسب‌بندی حاصل‌خیزی خاک اراضی زراعی در این محدوده برای کشت ذرت با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، منطق فازی و تحلیل شبکه‌ای (ANP) انجام نشده است.

مواد و روش‌ها

سطح مورد مطالعه: این پژوهش در چهار حوضه قره‌سو، قرن‌آباد، محمدآباد و زرین‌گل استان گلستان با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی انجام شد. محدوده این مطالعه دارای ۱۹۹۲۳۰/۲۳ هکتار اراضی زراعی با ارتفاع از سطح دریا ۳- تا ۱۷۲۱ متر، بارش سالانه بین ۳۴۵/۳ تا ۶۲۰/۶ میلی‌متر و حداقل دما ۴/۲- و حداکثر ۴۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ذرت معمولاً در این استان در بهار (به‌صورت دانه‌ای) و تابستان (به‌صورت علوفه‌ای) کشت می‌گردد و کشت آبی تابستانه آن عموماً بعد از جو، کلزا و به‌خصوص گندم انجام می‌گیرد (شکل ۱).

جهت تهیه لایه‌های عناصر خاک شامل پتاسیم و فسفر قابل دسترس، نیتروژن کل، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب از اطلاعات ۸۵۸ نقطه نمونه‌برداری شده خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر توسط بخش آب و خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان در سال ۱۳۸۸ استفاده شد. این نمونه‌برداری‌ها در محدوده اراضی کشاورزی استان و از اواخر تابستان و تا قبل از کشت گندم پاییزه انجام شده است. توزیع نرمال بودن داده‌ها با استفاده از شاخص‌های میانه، میانگین، چولگی و کشیدگی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد بررسی قرار گرفت و در صورت نیاز از تبدیل لگاریتمی استفاده شد. سپس فرآیند میان‌یابی عناصر خاک با استفاده از کریجینگ معمولی انجام گرفت. این روش با کمک مدل‌های مختلف در محیط ArcGIS 10.4 مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی دقت مدل‌های به‌کار رفته، از روش ارزیابی متقابل استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت مکانی اراضی زراعی و نمونه‌های خاک در حوضه‌های مورد مطالعه در استان گلستان.

Figure 1. The geographical location of agricultural lands and soil samples used in the study basins in Golestan province.

تعداد گام و نوع شکل تخمین با آزمون و خطا و بر اساس کم‌ترین ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) تعیین گردید. برای تعیین مناسب‌ترین مدل از شاخص‌های آماری مختلف استفاده شد و پس از انتخاب بهترین مدل میان‌یابی برای هر عنصر، لایه رستری آن تولید گردید و در نهایت لایه رستری هر عنصر در محدوده اراضی زراعی (جهت به‌روزرسانی اراضی از تصاویر گوگل ارث در اسفندماه ۱۳۹٤ استفاده شد؛ به طوری که ابتدا محدوده کاربری اراضی کشاورزی جدا شد و سپس با تولید لایه سایر کاربری‌ها از جمله مناطق مسکونی و صنعتی، آب، باغ و جنگل اخذ شده از گوگل ارث، کاربری کشاورزی به کمک افزونه Analysis Tools و تابع Update در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) نسخه ۱۰,٤ به‌روزرسانی گردید و در نهایت با جداسازی اراضی زراعی از لایه به روزرسانی شده کشاورزی، لایه کاربری زراعی تولید شد) برش داده شد. جهت طبقه‌بندی لایه‌های رستری تهیه شده عناصر خاک براساس نیاز تغذیه‌ای گیاه ذرت، نیازهای تغذیه‌ای این گیاه با استفاده از منابع علمی تعیین و درجه‌بندی شد (جدول ۱).

جدول ۱- جدول حد بحرانی و مطلوب تغذیه‌ای برای کشت ذرت.

Table 1- Critical and Optimal level of soil nutrients for maize production.

عنصر Element*	واحد Uint	a	b	c	d
پتاسیم قابل دسترس AK	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/Kg	150	300	-	-
فسفر قابل دسترس AP	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/Kg	5	16	-	-
نیتروژن کل TN	درصد %	0.1	0.2	-	-
کلسیم قابل جذب ACa	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/Kg	5	15	25	50
منیزیم قابل جذب AMg	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/Kg	0.85	5	-	-
آهن قابل جذب (AFe)	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/Kg	4.5	10	-	-
روی قابل جذب AZn	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/Kg	0.6	1.2	-	-
مس قابل جذب ACu	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/Kg	0.4	3	-	-
منگنز قابل جذب AMn	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/Kg	1	4	-	-

منبع: (۹، ۱۳، ۱۷، ۲۰، ۲۳، ۲۹، ۳۸ و ٤۳)

*AK :available K; AP: available P; TN: total N; ACa: absorbable Ca; AMg: absorbable Mg; AFe: absorbable Fe; AZn: absorbable Zn; ACu: absorbable Cu; AMn: absorbable Mn

جهت تهیه نقشه فازی، تمام لایه‌ها بایستی پیکسل به پیکسل فازی شوند و برای آن‌ها درجه عضویت در یک تابع ریاضی تعریف گردد. در فازی‌سازی ارزش پیکسل‌ها براساس احتمال تعلق آن‌ها به مجموعه تعریف شده در بازه صفر و یک تغییر می‌کند. نوع تابعی که جهت استانداردسازی فازی هر عامل به کار می‌رود به ماهیت و میزان آن در منطقه مورد مطالعه و تأثیرش بر گیاه مورد نظر، بستگی دارد. برای

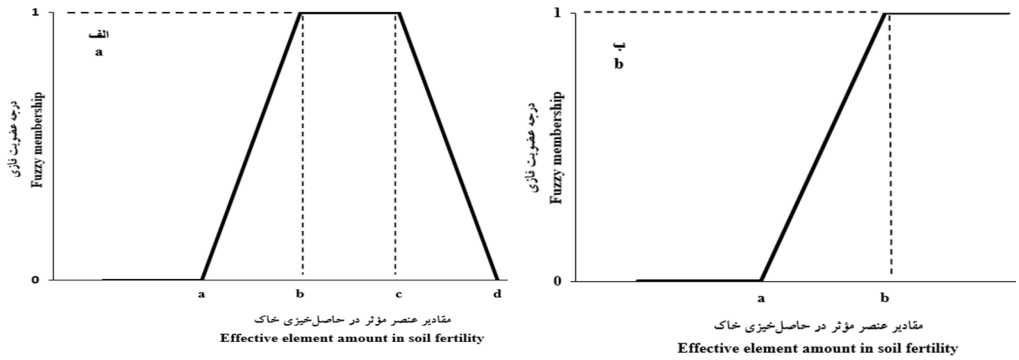
استانداردسازی لایه عنصر کلسیم خاک از تابع عضویت سهمی (معادله ۱ و شکل ۲ الف) استفاده شد که در آن a کم‌ترین حد، b پایین‌ترین حد مطلوب، c بالاترین حد مطلوب و d بالاترین حد محدودیت می‌باشند و برای استانداردسازی فازی لایه سایر عناصر از تابع عضویت خطی افزایشی (معادله ۲ و شکل ۲ ب) استفاده شد که در آن‌ها a و b به‌ترتیب حد بحرانی و حد مطلوب برای هر یک از عناصر مورد مطالعه می‌باشند (۲۱، ٤۳) (شکل ۲).

معادله ۱:

$$\mu a(X) = \begin{cases} 1 & b \le x \le c \\ x - a/b - a & a < x < b \\ x - d/d - c & c < x < d \\ 0 & x \le a, x \ge d \end{cases}$$

معادله ۲:

$$\mu a(X) = \begin{cases} 0 & x \le a \\ x - a/b - a & a < x < b \\ 1 & x \ge b \end{cases}$$



شکل ۲- تابع عضویت مورد استفاده: الف. تابع سهمی برای کلسیم قابل حذب و ب. خطی افزایشی برای سایر عناصر.

Figure 2- Used membership function: a. parabolic for available Ca and b. increasing linearly for orther elements.

جدول ۲- ترجیحات کمّی و کیفی برای مقایسه‌های زوجی (۳۰).

Table 2- Quantitative and qualitative preferences for comparing couples (30).

درجه اهمیت Degree of preferences	اهمیت نسبی Relative importance
فوق‌العاده قوی Extremely	9
خیلی قوی Very strongly	7
قوی Strongly	5
متوسط Moderately	3
یکسان Equally	1
بین فواصل فوق Intermediate	2, 4, 6, 8

با توجه به عدم تأثیر یکنواخت عناصر خاک در تغذیه گیاه ذرت، لازم است ارزیابی دقیق‌تر صورت گیرد تا اهمیت نسبی هر عامل مشخص گردد. بنابراین از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شد. بدین منظور از طریق تکمیل پرسش‌نامه ANP و نظر کارشناسی بر اساس طیف ۹ قسمتی (جدول ۲) اهمیت هر عنصر مشخص شد (جدول۳). سپس به‌کمک نرم‌افزار SuperDecisions 2.2.6 وزن هر عنصر

تعیین گردید. در نهایت با روی هم‌گذاری لایه‌های فازی شده عناصر و اعمال وزن‌هی به‌کمک حساب‌گر شبکه‌ای در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) لایه نهایی حاصل‌خیزی منطقه مورد مطالعه تولید گردید. در پایان لایه نهایی به پنج طبقه تقسیم شد: حاصل‌خیزی خیلی زیاد (ارزش فازی بین ۰/۹۰ تا ۱)، حاصل‌خیزی زیاد (ارزش فازی بین ۰/۷۵تا ۰/۹۰)، حاصل‌خیزی متوسط (ارزش فازی ۰/۵۰تا ۰/۷۵)، حاصل‌خیزی کم (ارزش فازی ۰/۲۵ تا ۰/۵۰) و حاصل‌خیزی خیلی کم (ارزش فازی ۰ تا ۰/۲۵) (۳٤). مراحل انجام پژوهش در شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- ماتریس مقایسه دو به دویی عناصر.

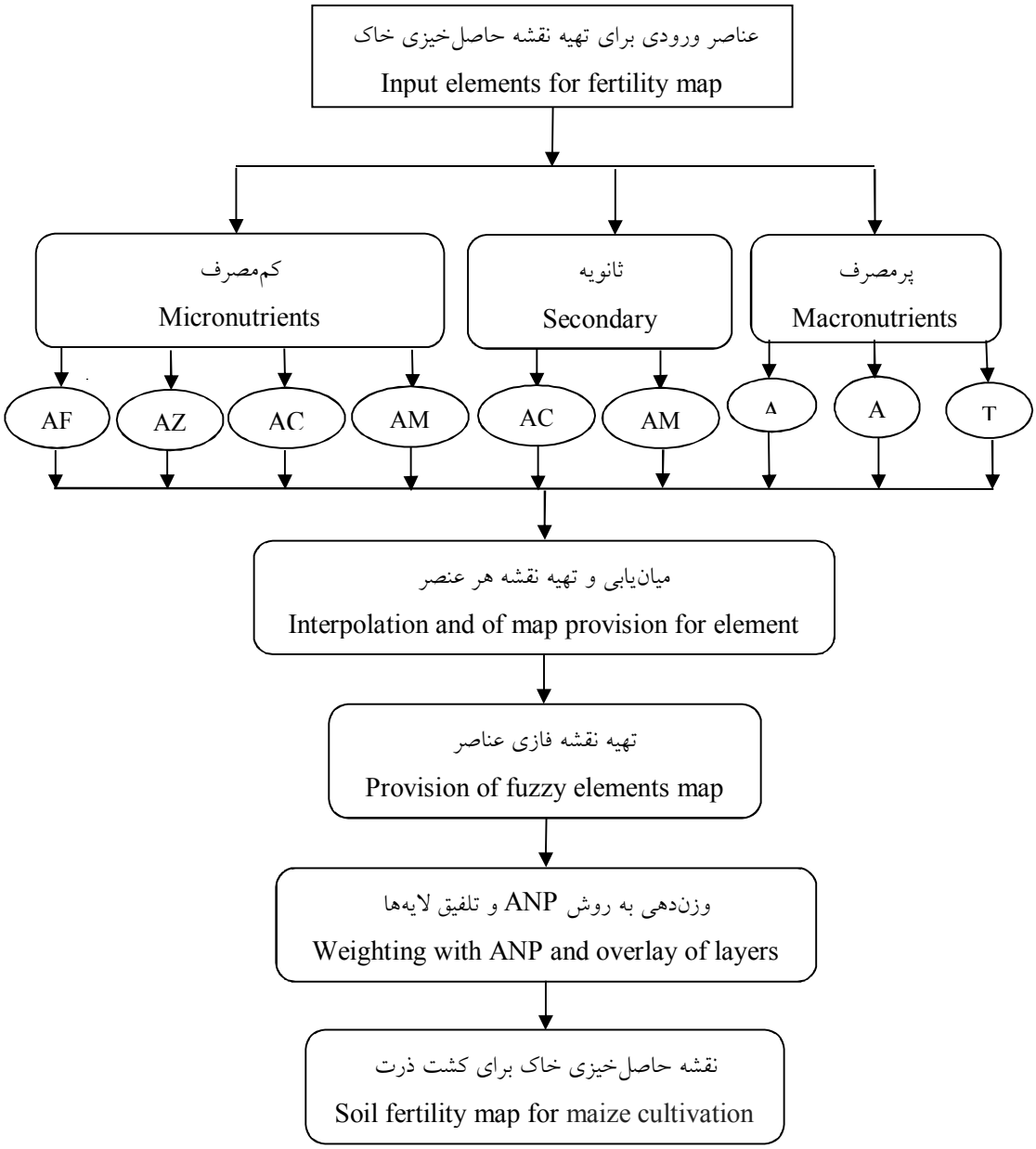
Table 3- Pair-wise comparison matrix elements.

عنصر Element	نیتروژن کل TN	پتاسیم قابل دسترس AK	فسفر قابل دسترس AP	منیزیم قابل جذب AMg	کلسیم قابل جذب ACa	روی قابل جذب AZn	آهن قابل حذب AFe	منگنز قابل جذب AMn	مس قابل جذب ACu
نیتروژن کل TN	1	5	7	5	6	7	7	7	8
پتاسیم قابل دسترس AK		1	3	4	5	5	6	6	8
فسفر قابل دسترس AP			1	3	3	4	5	5	6
منیزیم قابل جذب AMg				1	3	3	4	4	5
کلسیم قابل جذب ACa					1	3	4	4	5
روی قابل جذب AZn						1	2	2	4
آهن قابل حذب AFe							1	1	2
منگنز قابل جذب AMn								1	2
مس قابل جذب ACu									1

نتایج و بحث

با توجه به این که تغییرات عناصر خاک فاقد روند فضایی بودند برای تهیه نقشه میان‌یابی آن‌ها از کریجینگ معمولی استفاده شد. مدل تهیه نقشه هر عنصر خاک با توجه به میزان کم‌تر ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و نزدیک‌تر بودن ریشه دوم میانگین مربعات خطای استاندارد (RMSS)[1] به یک انتخاب شد و نقشه هر عنصر به کمک برترین مدل تهیه گردید. نتایج ارزیابی صحت برترین مدل‌ها در میان یابی عناصر پتاسیم و فسفر قابل دسترس و نیتروژن کل و کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب نشان داد به‌ترتیب مدل J- Bessel، کروی پنج‌وجهی، سینوسی، Stable، J- Bessel، Stable، سینوسی، دایره‌ای و گوسی بهترین مدل بودند (جدول ٤).

1. Root Mean Square Standardized



شکل ۳- روندنمای آنالیز حاصل‌خیزی خاک جهت کشت ذرت.

Figure 3- Flowchart of analyzing soil fertility for maize.

جدول ٤- نتایج ارزیابی بهترین مدل‌های روش کریجینگ معمولی در میان‌یابی عناصر خاک در محدوده مورد مطالعه بر اساس مقادیر ریشه دوم میانگین مربعات خطا (**RMSE**) و ریشه دوم میانگین مربعات خطای استاندارد (**RMSS**).

Table 4- The results of evaluation of the best models of ordinary Kriging method for interpolation of soil elements in the study area based on root mean square error (RMSE) and root mean square standardized (RMSS).

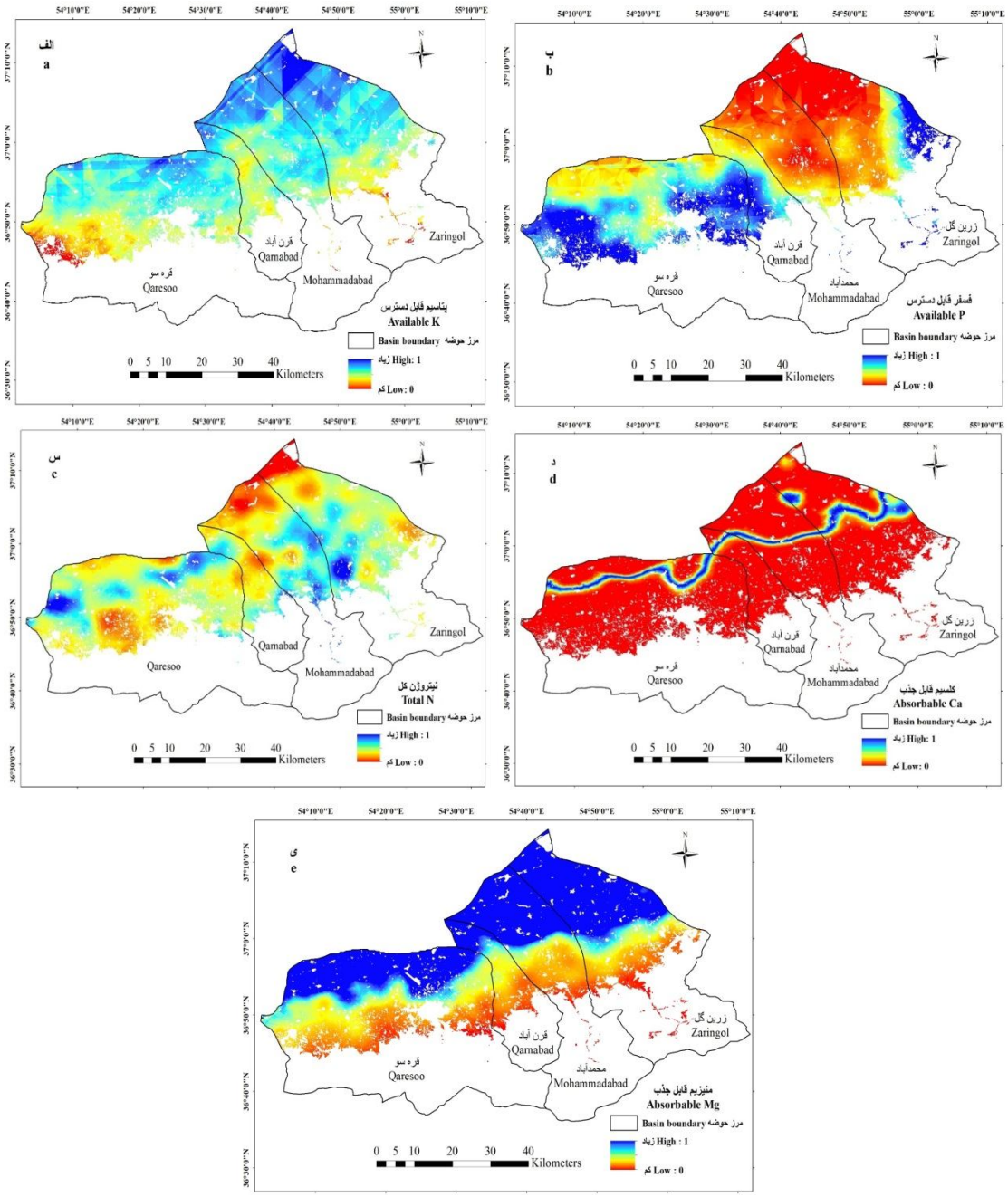
عنصر Element	مدل Model / خطا Error	Stable	J-Bessel	K-Bessel	سینوسی Hole Effect	درجه دو منطقی Rational Quadratic	گوسی Gaussian	نمایی Exponential	کروی پنج‌وجهی Pentaspherical	کروی چهار وجهی Tetraspherical	کروی Spherical	دایره‌ای Circular
پتاسیم قابل دسترس AK	RMSE	67.39	**66.69**	67.35	67.57	67.08	67.61	67.34	67.52	67.54	67.55	67.54
	RMSS	0.89	**0.89**	0.89	0.90	0.89	0.90	0.89	0.90	0.90	0.89	0.89
فسفر قابل دسترس AP	RMSE	10.03	10.14	10.04	10.12	10.05	10.03	10.03	**10.00**	10.01	10.02	10.04
	RMSS	1.04	1.01	1.05	1.02	1.04	1.04	1.03	**1.03**	1.03	1.03	1.03
نیتروژن کل TN	RMSE	0.03	0.03	0.03	**0.03**	0.03	.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	RMSS	1.06	1.06	1.06	**1.05**	1.06	1.06	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06
کلسیم قابل جذب ACa	RMSE	**12.18**	12.31	12.22	12.22	13.71	12.18	12.26	1248	12.20	12.19	12.20
	RMSS	**0.96**	0.83	0.94	0.94	2.06	0.91	0.92	0.83	0.91۰/	0.91	0.90
منیزیم قابل جذب AMg	RMSE	12.85	**12.72**	12.82	12.76	12.80	12.85	12.74	12.75	12.76	12.78	12.83
	RMSS	0.90	**0.90**	0.90	0.90	0.92	0.90	0.91	0.90	0.89	0.89	0.89
آهن قابل جذب AFe	RMSE	**8.81**	8.84	8.81	8.86	8.85	8.81	8.83	9.04	8.82	8.81	8.81
	RMSS	**1.14**	1.18	1.16	1.16	1.22	1.15	1.20	2.28	1.17	116.	1.16
روی قابل جذب AZn	RMSE	0.73	0.73	0.73	**0.72**	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
	RMSS	1.48	1.52	1.53	**1.40**	1.49	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
مس فابل جذب ACu	RMSE	0.96	0.94	0.94	0.94	0.94	0.96	0.93	0.94	0.93	0.95	**0.93**
	RMSS	1.05	1.05	10.3	1.06	1.06	1.03	1.04	1.03	1.03	1.05	**1.02**
منگنز قابل جذب AMn	RMSE	4.16	2.24	4.16	4.37	4.95	**4.15**	4.23	4.22	4.20	4.19	4.16
	RMSS	1.13	1.20	1.14	1.20	2.25	**1.12**	1.09	1.09	1.10	1.15	1.11

پتاسیم قابل دسترس: دامنه تغییرات میزان پتاسیم قابل دسترس در سطح اراضی زراعی چهار حوضه بین مقادیر ۱۳۹/۷۱ تا ۳۲۱/۰٤ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۵). درجه عضویت فازی پتاسیم قابل دسترس خاک بین ۰ تا ۱ با میانگین ۰/٦۸ بود (شکل ٤، الف). ارزش فازی پتاسیم قابل دسترس از جنوب به شمال زیاد شد که نشان دهنده کمبود میزان پتاسیم قابل دسترس در قسمت جنوب محدوده مورد مطالعه بود. از کل سطح مورد مطالعه کم‌ترین سطح به طبقه با حاصل‌خیزی خیلی‌کم از نظر میزان پتاسیم دسترس با ۱۸٤۷/٦۱ هکتار معادل ۰/۹۳ درصد و بیش‌ترین سطح با ۱۱۹۷۳۵/۸۲ هکتار معادل ٦۰/۱٤ درصد به طبقه با حاصل‌خیزی متوسط تعلق داشت (جدول ٦). توزیع طبقه حاصل‌خیزی کم و خیلی‌کم بیشتر در جنوب حوضه قره‌سو و زرین‌گل و طبقه حاصل‌خیزی زیاد و خیلی‌زیاد در شمال محدوده مورد مطالعه حاصل شد. احتمالاً این روند تغییرات ناشی از بافت سبک و آبشویی پتاسیم در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه می‌باشد (۲۸). شهبازی و بشارتی (۲۰۱۳) گزارش کردند ۹/۳، ۳۷/۲ و ۵۳/٦ درصد از اراضی استان گلستان به‌ترتیب دارای میزان پتاسیم کم (کمتر از ۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، متوسط (۱۲۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و بالا (۲۵۰ و بیشتر از ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بودند (۳٦). در مطالعه ایوبی و همکاران (۲۰۱٦)، ۲۱ درصد از دشت شمالی ارومیه از نظر پتاسیم در حد مسمومیت و حدود ٤۹ درصد از منطقه در گروه کمبود و کمبود شدید قرار گرفت (۲).

جدول ۵- برخی ویژگی‌های آماری عناصر خاک برآورد شده توسط GIS و وزن تعیین شده هر عنصر به کمک ANP.

Table 5- Some of parameters statistical properties of soil elements estimated by GIS and weight determinated of each element by ANP.

عنصر Element	واحد Unit	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Dev.	وزن Weight
پتاسیم قابل دسترس AK	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/kg	139.71	321.04	221.96	142.66	0.126
فسفر قابل دسترس AP	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/kg	3.03	33.59	9.88	10.13	0.114
نیتروژن کل TN	درصد %	0.06	0.22	0.14	0.04	0.156
کلسیم قابل جذب ACa	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/kg	0.62	53.33	11.32	15.91	0.104
منیزیم قابل جذب AMg	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/kg	0.22	53.07	7.61	16.47	0.108
آهن قابل جذب AFe	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/kg	2.22	28.52	8.86	10.56	0.098
روی قابل جذب AZn	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/kg	0.37	1.74	0.72	1.67	0.100
مس قابل جذب ACu	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/kg	1.03	6.33	2.21	2.47	0.097
منگنز قابل جذب AMn	کیلوگرم/میلی‌گرم mg/kg	1.36	24.27	5.39	6.16	0.098



شکل ٤- نقشه‌های فازی پتاسیم قابل دسترس (الف)، فسفر قابل دسترس (ب)، نیتروژن کل (س)، کلسیم قابل جذب (د) و منیزیم قابل جذب (ی) در محدوده مورد مطالعه.

Figure 4- Fuzzy maps of available K (a), available P (b), total N (c), available Ca (d) and available Mg (e) in the study area.

جدول ٦- مساحت پهنه‌های عناصر خاک جهت کشت ذرت در محدوده مورد مطالعه.

Table 6- Area of soil elements suitability classes for the cultivation of maize at the study area.

عنصر Element	حاصل‌خیزی خیلی کم (هکتار) (درصد) Very low fertility (ha) (%)	حاصل‌خیزی کم (هکتار) (درصد) Low fertility (ha) (%)	حاصل‌خیزی متوسط (هکتار) (درصد) Medium fertility (ha)(%)	حاصل‌خیزی زیاد (هکتار) (درصد) high fertility (ha) (%)	حاصل‌خیزی خیلی زیاد (هکتار) (درصد) Very high fertility (ha) (%)
پتاسیم قابل دسترس AK	1847.61 0.93	16554.78 8.32	119730.96 60.14	53417.88 26.83	7531.38 3.78
فسفر قابل دسترس AP	78102.63 39.23	42776.91 21.48	30455.19 7.88	15684.03 7.88	32063.85 16.11
نیتروژن کل TN	25958.07 13.04	104073.66 52.28	59688.9 29.99	6808.86 3.42	2553.12 1.28
کلسیم قابل جذب ACa	175130.1 87.97	7286.76 3.66	6073.38 3.05	4377.24 2.20	6215.13 3.12
منیزیم قابل جذب AMg	38120.22 19.147941	40571.28 20.379118	16485.12 8.280542	7462.53 3.748459	96443.46 48.44
آهن قابل جذب AFe	34680.96 17.42	28138.59 14.13	34919.1 17.54	20746.53 10.42	80597.43 40.48
روی قابل جذب AZn	117874.44 59.21	60516.72 30.40	14654.52 7.36	3221.37 1.62	2815.56 1.414
مس قابل دسترس ACu	133.65 0.07	25565.22 12.84	112798.17 56.66	36352.8 18.26	24232.77 12.17
منگنز قابل جذب AMn	2873.88 1.44	15880.86 7.98	41523.84 20.86	23942.79 12.03	114861.24 57.70

فسفر قابل دسترس: دامنه تغییرات عنصر فسفر قابل دسترس در سطح مورد مطالعه بین مقادیر ۳/۰۳ تا ۳۳/۵۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود (جدول ۵). درجه عضویت فازی فسفر قابل دسترس بین ۰ تا ۱ با میانگین ۰/٤۳ بود (شکل ٤، ب). قشه فازی نشان داد ارزش فازی فسفر قابل دسترس از جنوب به شمال کم شد که نشان‌دهنده کمبود میزان فسفر قابل استفاده در قسمت شمال محدوده مورد مطالعه بود. از کل سطح مورد مطالعه کم‌ترین سطح به طبقه با حاصل‌خیزی متوسط از نظر فسفر قابل دسترس با ۱۵٦۸٤/۰۳ هکتار معادل ۷/۸۸ درصد و بیش‌ترین سطح به طبقه با حاصل‌خیزی خیلی‌کم با ۷۸۱۰۲/٦۳ هکتار معادل ۳۹/۲۳ درصد اختصاص یافت (جدول ٦).

توزیع طبقه مکانی حاصل‌خیز خیلی‌کم، بیشتر در حوضه زرین‌گل و محمدآباد و طبقه حاصل‌خیزی خیلی‌زیاد، بیشتر در حوضه قره‌سو حاصل شد. میزان فسفر قابل استفاده در خاک وابستگی زیادی به اسیدیته خاک دارد و بهترین شرایط برای دسترسی به فسفر ٦ تا ٦/۵ می‌باشد. چون اسیدیته خاک در این محدوده مورد مطالعه بین ۷/۲۰ تا ۸/۳۰ می‌باشد (داده های منتشر نشده). بنابراین، مقدار فسفر قابل دسترس کم بود. نتایج شهبازی و بشارتی (۲۰۱۳) نشان داد ۵۱/۳ درصد خاک‌های کشاورزی در گروه فسفر کم، ۳۰/۵ درصد در گروه فسفر متوسط و ۱۸/۲ درصد در گروه فسفر بالا قرار گرفتند و ۷۱/۸ درصد خاک‌های کشور فسفر آن‌ها کمتر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود (۳٦). در مطالعه کاظمی و همکاران (۲۰۱۲) نقشه پهنه‌بندی این عنصر نشان داد مقدار این عنصر در مناطق شمالی و شرقی استان گلستان کم‌تر از حد بحرانی و در قسمت جنوبی و غربی بیشتر از حد بحرانی بود (۱۵). ایوبی و همکاران (۲۰۱٦) با بررسی

میزان فسفر در دشت شمالی ارومیه دریافتند که سطح وسیعی از منطقه (حدود ٤٧ درصد) از نظر فسفر دارای کمبود شدید و ١٤ درصد دارای مقدار متوسط است و بقیه منطقه، یا در حد مسمومیت بوده و یا با کمبود مواجه است (٢). هایلو و همکاران (٢٠١٥) گزارش کردند ٨٠ درصد از نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شده مرکز اتیوپی برای کشت گندم دچار کمبود فسفر هستند (١٠).

نیتروژن کل: دامنه تغییرات نیتروژن کل در سطح مورد مطالعه بین مقادیر ٠/٠٦ تا ٠/٢٢ درصد بود (جدول ٥). ارزش فازی این عامل بین ٠ تا ١ با میانگین ٠/٤٤ بود (شکل ٤، س). کم‌ترین سطح از محدوده مورد مطالعه به طبقه حاصل‌خیزی خیلی‌زیاد از نظر نیتروژن کل با ٢٥٥٣/١٢ هکتار معادل ١/٢٨ درصد و بیش‌ترین سطح به طبقه حاصل‌خیزی کم با ١٠٤٠٧٣/٦٦ هکتار معادل ٥٢/٢٨ درصد تعلق داشت (جدول ٦). نقشه فازی نیتروژن کل نشان داد به جز بخش کوچکی از قسمت میانی محدوده مورد مطالعه (٩٣٦١/٩٨ هکتار معادل ٤/٧٠ درصد) و بقیه سطوح توانایی تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه ذرت را بدون استفاده کود شیمیایی و حیوانی را ندارند. روند تغییرات میزان نیتروژن کل بر توزیع مواد آلی خاک منطبق بود (داده‌های منتشر نشده). کیهارا و همکاران (٢٠١٦) با بررسی ٢٥٣٧ نمونه خاک در آفریقا دریافتند ٦٧ درصد این خاک‌ها با کمبود نیتروژن برای کشت ذرت مواجه بودند (١٨). مصطفی و همکاران (٢٠١١) با پهنه‌بندی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه خرگرا تسل[1] دریافتند کمبود نیتروژن قابل دسترس یکی از عوامل اصلی محدودکنندگی کشت گیاهان زیادی از جمله گندم، ذرت و چغندرقند می‌باشد (٢٢). سرمدیان و کشاورزی (٢٠١٤) با مطالعه میزان نیتروژن در منطقه کوهین واقع در شمال غربی استان قزوین دریافتند ارزش فازی نیتروژن بین ٠/٠٣ تا ١ بود و بخش زیادی از این منطقه با کمبود نیتروژن برای کشت گندم مواجه گردید (٣٢). کاظمی و همکاران (٢٠١٢) با پهنه‌بندی نیتروژن در استان گلستان گزارش کردند که مقدار این عنصر در بخش‌های شمالی کمتر از مناطق جنوبی است (١٥).

کلسیم قابل جذب: دامنه تغییرات عنصر کلسیم قابل جذب (Ca^{2+}) در منطقه مورد بین مقادیر ٠/٦٢ تا ٥٢/٣٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ٥). ارزش فازی این عامل بین ٠ تا ١ با میانگین ٠/٠٩ بود (شکل ٤ د). نتایج نشان داد کم‌ترین سطح از محدوده مورد مطالعه به طبقه با حاصل‌خیزی زیاد از نظر کلسیم قابل جذب با ٤٣٧٧/٢٤ هکتار معادل ٢/٢٠ درصد و بیش‌ترین سطح به طبقه حاصل‌خیزی خیلی‌کم با ١٧٥١٣٠/١٠ هکتار معادل ٨٧/٩٧ درصد تعلق داشت و تنها بخش کمی از محدوده مورد مطالعه (٣٧/١٠٥٩٢ هکتار معادل ٣٢/٥ درصد) از نظر کمبود و زیادبود کلسیم قابل جذب فاقد مشکل بود (جدول ٦). نقشه فازی نشان داد ارزش فازی کلسیم از قسمت میانی سطح مورد مطالعه به دو سمت شمال به دلیل زیاد بود کلسیم ناشی از شرایط خشک و نیمه‌خشک منطقه و سمت جنوب به دلیل کمبود کلسیم ناشی بارندگی بالا کاهش یافت. چون بارندگی بالا موجب آبشویی و شرایط خشک و نیمه‌خشک باعث تجمع کلسیم در اراضی می‌گردد (١٣، ١٥). نصرالهی و همکاران (٢٠١٧) گزارش کردند مقدار کلسیم در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلای استان گلستان از شمال به جنوب افزایش یافت و این روند با میزان بارش نسبت عکس داشت؛ به‌طوری که در قسمت جنوب با کاهش بارش مقدار کلسیم افزایش یافت و موجب محدودیت برای کشت گندم دیم گردید (٢٣). چنین نتیجه‌ای نیز توسط کاظمی و همکاران (٢٠١٢)

1. Kheragarah tehsil

در کل اراضی استان گلستان برای کشت کلزا گزارش شد (۱٤).

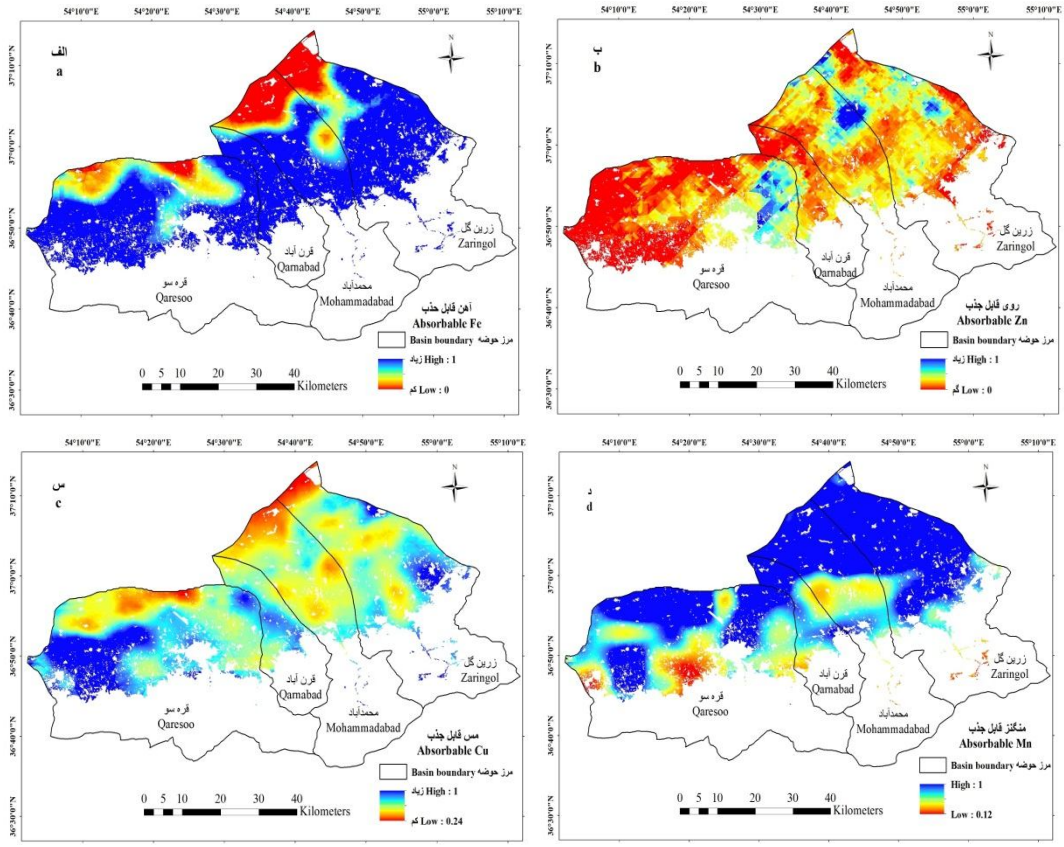
منیزیم قابل جذب: دامنه تغییرات منیزیم قابل جذب (Mg^{2+}) در منطقه مورد بین مقادیر ۰/۲۲ تا ۵۳/۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۵). ارزش فازی این عامل بین ۰ تا ۱ با میانگین ۰/٦۷ بود و از سمت جنوب محدوده مورد مطالعه به سمت شمال ارزش فازی افزایش یافت که نشان از افزایش مقدار این عنصر به سمت شمال داشت (شکل ٤، ی). کم‌ترین سطح از محدوده مورد مطالعه به طبقه حاصل‌خیزی زیاد از نظر منیزیم قابل جذب با ۷٤٦۲/۵۳ هکتار معادل ۳/۷۵ درصد و بیش‌ترین سطح به طبقه حاصل‌خیزی خیلی‌زیاد با ۹٦٤٤۳/٤٦ هکتار معادل ٤۸/٤٤درصد تعلق داشت (جدول ٦). این روند احتمالاً ناشی از بارندگی بیشتر در قسمت جنوب محدوده مورد مطالعه نسبت به شمال آن می‌باشد. چرا که کمبود منیزیم معمولاً در خاک‌های اسیدی به‌شدت هوادیده و در خاک‌های درشت بافت نواحی مرطوب با ظرفیت‌های تبادل کاتیونی کم اتفاق می‌افتد (۱۳). باقرزاده چهارجوبی و قلی‌زاده نوقابی (۲۰۱۵) با پهنه‌بندی میزان عنصر منیزیم در دشت فریمان برای کشت چغندرقند نشان دادند این عنصر در تمام پهنه مورد مطالعه کمتر از حد بحرانی بود (۳). محمد و احمد (۲۰۱٦) با تناسب‌بندی عنصر منیزیم برای کشت ارزن مروارید در پنج روستای منطقه موساوا کشور نیجریه دریافتند در همه روستاها به جز یکی، میزان منیزیم در طبقه نامناسب قرار گرفت (۱۹). مطالعات انجام شده در کشور غنا (۲٤) و اتیوپی (٤۰) نشان دادند که کمبود عنصر منیزیم در مزارع ذرت جزئی است.

آهن قابل جذب: دامنه تغییرات آهن قابل جذب (Fe^{2+}) در سطح مورد مطالعه بین مقادیر ۲/۲۲ تا ۲۸/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۵). ارزش فازی این عامل بین ۰ تا ۱ با میانگین ۰/٦٦ بود (شکل ۵، الف). کم‌ترین سطح از منطقه مورد مطالعه به طبقه حاصل‌خیزی زیاد از نظر آهن قابل جذب با ۲۰۷٤٦/۵۳ هکتار معادل ۱۰/٤۲درصد و بیش‌ترین سطح به طبقه حاصل‌خیزی خیلی‌زیاد با ۸۰۵۹۷/٤۳ هکتار معادل ٤۰/٤۸ درصد تعلق گرفت (جدول ٦). نقشه فازی نشان داد ارزش فازی آهن قابل جذب از شمال به جنوب افزایش یافت. به‌طوری که بیش‌ترین ارزش در قسمت جنوبی و کم‌ترین ارزش در قسمت شمال منطقه مورد مطالعه واقع شد. افزایش شرایط از مرطوب به خشک و نیمه خشک، افزایش میزان کلسیم و اسیدیته خاک از جنوب به شمال منطقه مورد مطالعه موجب روند فوق گردید. صادقی و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند اراضی کشاورزی شمال و شمال شرقی استان گلستان به‌دلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک، تجمع عنصر آهن در خاک کم‌تر است اما مناطق جنوبی و میانی اراضی استان از وضعیت مطلوبی برخوردار می باشند (۳۱). شهبازی و بشارتی (۲۰۱۳) با بررسی میزان آهن دریافتند میزان ٤۰ درصد از اراضی کشاورزی ایران و ۱/۱۳ درصد اراضی کشاورزی استان گلستان با کمبود آهن مواجه هستند (۳٦). در مطالعه نصرت‌پور و همکاران (۲۰۱۰) کمبود آهن برای کشت گندم در ۲۷/۵ درصد اراضی شهرستان مراغه مشاهده شد (۲۵).

روی قابل جذب: دامنه تغییرات روی قابل جذب (Zn^{2+}) در سطح مورد مطالعه بین مقادیر ۰/۳۷ تا ۱/۷٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۵). ارزش فازی این عامل بین ۰ تا ۱ با میانگین ۰/۲۳ بود (شکل ۵، ب). کم‌ترین سطح از محدوده مورد مطالعه به طبقه با حاصل‌خیزی خیلی‌زیاد از نظر روی قابل جذب با ۲۸۱۵/۵٦ هکتار معادل ۱/٤۱درصد و بیش‌ترین سطح

به طبقه با حاصل‌خیزی خیلی‌کم با ۱۱۷۸۷٤/٤٤ هکتار معادل ۵۹/۲۱ درصد تعلق داشت (جدول ٦). نقشه فازی این عنصر نشان داد تنها ٦۰۳٦/۹۳ هکتار معادل ۳/۰۳ درصد از محدوده مورد مطالعه (بخشی از شرق حوضه قره‌سو و محمدآباد و بخشی از جنوب غرب و شمال حوضه زرین‌گل) از نظر میزان عنصر روی قابل جذب برای تغذیه ذرت کفایت می کند و بقیه سطح پهنه مورد مطالعه با مشکل کمبود عنصر روی مواجه است. نتایج صادقی و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که محدوده وسیعی از اراضی استان گلستان دارای مقدار ناچیزی از عنصر روی می باشند. کم‌ترین مقدار روی قابل جذب در اراضی شمال و شمال شرقی مشاهده شد. دلیل اصلی این کمبود روی وجود خاک های آهکی با اسیدیته بالا، کاربرد بالای کودهای فسفاتی، مقادیر بالای بی‌کربنات‌ها در آب آبیاری و کمبود ذاتی عنصر روی در خاک می‌باشد (۳۱). انجروج و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی میزان عنصر در ٤٤ مزرعه ذرت در غرب کشور غنا دریافتند حدود ٤۸ درصد از مزارع با کمبود عنصر روی مواجه بودند (۲٤). گزارش شده ۵٦/۳ درصد از خاک‌های ایران میزان روی قابل استفاده کم‌تر از ۰/۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم و تنها ۳۱ درصد از خاک‌ها بیشتر از ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی قابل استفاده دارند (۳٦). همچنین، کمبود عنصر باعث محدودیت در ۸۵ درصد از اراضی شهرستان مراغه برای کشت گندم شد (۲۵).

مس قابل جذب: دامنه تغییرات عنصر مس قابل جذب (Cu^{2+}) در سطح مورد مطالعه بین مقادیر ۱/۰۳ تا ٦/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۵). نقشه فازی مس قابل جذب نشان داد ارزش فازی این عنصر بین ۰ تا ۱ با میانگین ۰/٦۷ بود (شکل ۵، س). کم‌ترین سطح به طبقه حاصل‌خیزی خیلی‌کم از نظر مس قابل جذب با ۱۳۳/٦۵ هکتار معادل ۰/۰۷ درصد و بیش‌ترین سطح به طبقه با حاصل‌خیزی متوسط با ۱۱۲۷۹۸/۱۷ هکتار معادل ۵٦/٦٦ درصد تعلق داشت و تنها ٦۰۵۸۵/۵۷ هکتار معادل ۳۰/٤۳ درصد از اراضی فاقد کمبود مس بودند (جدول ٦). نقشه فازی مس قابل جذب نشان داد حوضه قره‌سو و قرن‌آباد دارای بیش‌ترین سطح با ارزش فازی بالا و محمدآباد دارای کم‌ترین ارزش فازی بودند و در کل ارزش فازی پایین در شمال محدوده مورد مطالعه واقع شد. کشت فشرده، طبیعت خاک منطقه از نظر کلسیم و اسیدیته بالا، کمبود مواد آلی خاک و کاربرد زیاد کود شیمیایی نیتروژن و فسفر از دلایل اصلی ایجادکننده محدودیت کمی و کیفی عنصر مس می‌باشند (۱٤، ۳۱). در مطالعه تنا و بین (۲۰۱۱) در حوضه دلبو آتوارو در جنوب کشور اتیوپی میزان عنصر مس در تمام سطح مورد مطالعه کمتر از حد بحرانی برای کشت ذرت بود (٤۰). صادقی و همکاران (۲۰۱٤) قسمت عمده‌ای از اراضی کشاورزی استان گلستان در محدوده مقدار ۰/۵ تا ۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مقدار مس قرار گرفتند. بالاترین مقدار این عنصر در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان مشاهده شد و مناطق شمالی و شرقی استان دارای کم‌ترین مقدار مس بودند (۳۱) .شهبازی و بشارتی (۲۰۱۳) گزارش کردند در خاک‌های ایران نمی‌توان کمبود شدید مس را انتظار داشت. تنها ۲۰ درصد اراضی کمتر از ۰/۷۵ میلی‌گرم مس قابل استفاده دارند (۳٦).



شکل ۵- نقشه‌های فازی آهن قابل جذب (الف)، روی قابل جذب (ب)، مس قابل جذب (س) و منگنز قابل جذب (د) در محدوده مورد مطالعه.

Figure 5- Fuzzy maps of available Fe (a), available Zn (b), available Cu (c) and available Mn (d) in the study area.

منگنز قابل جذب: دامنه تغییرات عنصر منگنز قابل جذب (Mn^{2+}) در سطح مورد مطالعه بین مقادیر ۱/۳۶ تا ۲۴/۲۷ میلی‌گرم برکیلوگرم بود (جدول ۵). ارزش فازی این عامل بین ۰/۱۲ تا ۱ با میانگین ۰/۸۴ بود (شکل ۵، د). کم‌ترین سطح از نظر منگنز قابل جذب به طبقه با حاصل‌خیزی خیلی‌کم با ۲۸۷۳/۲۸ هکتار معادل ۱/۴۴ درصد و بیش‌ترین مقدار به طبقه مطلوب با ۱۱۴۸۶۱/۲۴ هکتار معادل ۵۷/۷۰ درصد تعلق داشت (جدول ۶). نقشه فازی منگنز قابل جذب نشان داد حوضه زرین‌گل بیش‌ترین سطح با ارزش فازی بالا و قره‌سو دارای کم‌ترین ارزش فازی بودند و در کل بخش وسیعی از سطح مورد مطالعه دارای ارزش فازی بالای داشت و از جنوب به شمال ارزش فازی افزایش یافت. این روند با نتایج صادقی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت داشت (۳۱). گزارش شده مکان‌های با مواد آلی بالا، خاک‌های آهکی، خاک‌های با اسیدیته بالا و خاک‌های با تهویه ضعیف به‌طور عمده با مشکل کمبود منگنز مواجه هستند (۱۴، ۳۱). در مطالعه شهبازی و بشارتی (۲۰۱۳) حدود ۸۲ درصد اراضی کشاورزی ایران بیشتر از ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز داشته و تنها ۲/۲ درصد اراضی دارای منگنز قابل استفاده کم‌تر از یک میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشند. در این مطالعه گزارش شد ۷ درصد اراضی استان گلستان دارای ۰/۲۵ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۹۳ درصد دارای دارای منگنزی بالای ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بودند (۳۶). نتایج نصرت‌پور و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد به‌لحاظ منگنز ۹۷/۹۴ درصد اراضی شهرستان مراغه در محدوده کمبود قرار دارد (۲۵).

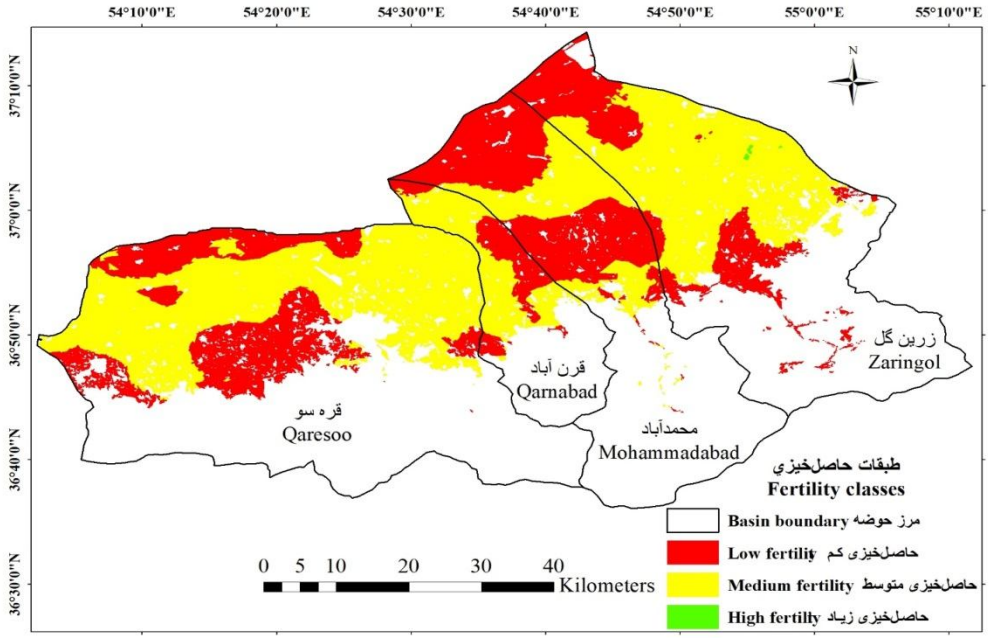
تناسب حاصل‌خیزی خاک برای کشت ذرت: ارزش فازی حاصل‌خیزی اراضی زراعی برای کشت ذرت در

محدوده مورد مطالعه بین ۰/۳۰ تا ۰/۷۸ با میانگین ۰/۵۲ بود. بیش‌ترین سطح این منطقه به طبقه با حاصل‌خیزی متوسط (با ارزش فازی بین ۰/۵۰ تا ۰/۷۵) با ۱۱۹۷۷۱/٤۷ هکتار معادل ۵۹/۸۷ درصد و کم‌ترین سطح به طبقه با حاصل‌خیزی زیاد (با ارزش فازی ۰/۷۵ تا ۰/۷۸) با ۸٤/۲٤ هکتار معادل ۰/۰٤ درصد تعلق داشت و طبقات با حاصل‌خیزی خیلی‌کم و خیلی‌زیاد فاقد سهم از حاصل‌خیزی اراضی زراعی محدوده مورد مطالعه بودند (جدول ۷). نتایج نشان داد که ۸۰۲۱۲/٦۵ هکتار معادل ٤۰/۰۹ درصد از اراضی منطقه مورد مطالعه با ارزش فازی ۰/۳۰ تا ۰/۵۰ دارای شرایط حاصل‌خیزی کم برای کشت ذرت بودند (جدول ۷)، این طبقه حاصل خیزی بیشتر در قسمت شمالی و جنوبی منطقه مورد مطالعه مشاهده شد (شکل ٦). حاصل‌خیزی کم در قسمت جنوبی به‌ترتیب بیشتر ناشی از کمبود کلسیم، منیزیم و آهن قابل جذب، نیتروژن کل، پتاسیم قابل دسترس، روی و منگنز قابل جذب بود. اما در قسمت شمالی بیشتر به ترتیب ناشی از زیاد بود کلسیم قابل جذب، کمبود فسفر قابل دسترس، روی قابل جذب، نیتروژن کل و مس قابل جذب بود. طبقه حاصل‌خیزی متوسط ۱۱۹۷۷۱/٤۷ هکتار معادل ۵۹/۸۷ درصد از اراضی زراعی چهار حوضه قره‌سو، قرن‌آباد، محمدآباد و زرین گل به خود اختصاص داد (جدول ۷). این طبقه حاصل خیزی بیشتر در قسمت میانی محدوده مورد مطالعه واقع شد (شکل ٦) و بیش‌تر به‌ترتیب ناشی کمبود و پایین تر از حد بحرانی بودن عناصر نیتروژن کل، روی، فسفر، کلسیم، مس، پتاسیم و آهن قابل جذب بود. اعمی‌ازغدی و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده منطق فازی و سلسله مراتبی AHP و عوامل خاک شامل مواد آلی، پتاسیم و فسفر خاک گزارش کردند ۵۱ درصد منطقه از نظر حاصل‌خیزی در رتبه خیلی ضعیف، ۲٦ درصد در گروه ضعیف، ۱۲ درصد در گروه متوسط و ۱۱ درصد در گروه خوب برای کشت گندم قرار گرفت (۱). آن‌ها دریافتند که مواد آلی، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب باعث کاهش حاصل‌خیزی خاک شدند (۱). نتایج مطالعه انجام شده دیگری (سیدمحمدی و همکاران، ۲۰۱٦) در اراضی کشاورزی نواحی مرکزی استان گیلان برای کشت برنج به کمک همین عوامل خاک و روش ها نشان داد که ۲۲/۹۰، ۲۷/۷۰، ۳۵/۵۳، ۱۰/٤۸ و ۳/۳۹ درصد از اراضی مورد مطالعه به‌ترتیب دارای شرایط حاصل‌خیزی خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی‌کم بودند و عنصر فسفر بیش ترین محدودیت را نسبت به دو عامل پتاسیم و مواد آلی ایجاد کرد (۳٤). مکرم و بردیده (۲۰۱۲) نشان دادند حدود ۱۳/۲۸ درصد از منطقه زرقان فارس دارای خاک با حاصل خیزی خیلی‌کم، ۱۹/۵۲ درصد دارای خاک با حاصل‌خیزی کم، ۲۳/۳۱ درصد دارای خاک با حاصل خیزی نسبتاً متوسط، ۲۷/۸۸ درصد دارای خاک با حاصل‌خیزی زیاد و ۱۷/٦٤ درصد دارای خاک با حاصل خیزی خیلی زیاد بودند (۲۱). آن‌ها گزارش کردند با توجه به وضعیت میزان عناصر (آهن، مس، منگنز، روی، مواد آلی، فسفر و پتاسیم) موجود در منطقه، خاک منطقه دارای پتانسیل بالایی برای کشت گندم نبوده و مصرف کودهای شیمیایی برای رشد این محصول ضروری است (۲۱). دبرمن و ابرتور (۱۹۹۷) با مطالعه حاصل‌خیزی منطقه نواوا اشیا کشور فیلیپین برای کشت گیاه برنج گزارش کردند که ۹۷ درصد از اراضی به علت کمبود یک یا چند ماده تغذیه ای، دارای محدودیت می باشند و کمبود پتاسیم، فسفر و روی به ترتیب در ٥٤، ٦٤ و ٦۳ درصد از اراضی رخ داد (٦).

جدول ۷- مساحت پهنه‌های حاصل‌خیزی برای کشت ذرت در سطح مورد مطالعه براساس روش فازی.

Table 7- Area of classified zones for the maize production in the study area based on fuzzy logic.

گروه حاصل‌خیزی Fertility group	مساحت (هکتار) Area (ha)	سهم از کل (درصد) Total share (%)	مقدار فازی Fuzzy number
حاصل‌خیزی خیلی‌کم Very low fertility	0	0	0-0.25
حاصل‌خیزی کم Low fertility	80212.65	40.09	0.25-0.50
حاصل‌خیزی متوسط Medium fertility	119771.47	59.87	0.50-0.75
حاصل‌خیزی زیاد High fertility	84.24	0.042	0.75-0.90
حاصل‌خیزی خیلی‌زیاد Very high fertility	0	0	0.90-1



شکل ٦- نقشه حاصل‌خیزی خاک به روش فازی.

Figure 6- Soil fertility map with Fuzzy method.

محققین زیادی (۷، ١٦، ۳۸، ۳۹) گزارش کردند روش فازی در مقایسه با دیگر روش‌ها توانایی بیشتری در برآورد تناسب‌بندی اراضی و حاصل‌خیزی خاک دارد. تانگ و همکاران (۱۹۹۲) با مقایسه سه روش فازی، پارامتریک و محدودیت حداکثر برای تناسب بندی اراضی جهت کشت ذرت دریافتند که شاخص‌های تناسب‌بندی روش فازی بیشترین همبستگی (r = ۰/۹۸) را با عملکرد مشاهده شده داشت (۳۹). در مطالعه دیگری (کشاورزی و همکاران، ۲۰۱۰) شاخص‌های تناسب‌بندی روش فازی همبستگی بالایی (r = ۰/۹۱) با عملکرد مشاهده شده گندم داشت (١٦). اعمی ازغدی و همکاران (۲۰۱) با تناسب‌بندی حاصل‌خیزی خاک برای کشت گندم و نمونه‌گیری تصادفی مجدد از خاک پهنه‌ها دریافتند روش فازی دارای توانایی خوبی در تعیین حاصل‌خیزی خاک می‌باشد (۱). شریفی‌فر و همکاران (۲۰۱٦) تناسب اراضی منطقه بسطام استان سمنان را برای سه گیاه سیب زمینی، گندم و گوجه فرنگی به

کمک روش‌های استوری، ریشه دوم، محدودیت حداکثر و فازی انجام دادند و با بررسی همبستگی بین شاخص‌های اراضی تعیین شده توسط این روش‌ها و عملکرد گیاهان مورد مطالعه دریافتند که روش فازی بیش‌ترین همبستگی را داشت (۳۸). با توجه به نتایج این تحقیق و دیگر پژوهش‌ها آگاه بودن از اطلاعات دقیق خاک کمک شایانی به تصمیم‌گیرندگان و کشاورزان در استفاده بهینه خاک و کود می‌کند و شرایط را برای تأمین نیاز هر گیاه و اعمال شیوه های مدیریت کشاورزی برای دست‌یابی به‌بهره‌وری بیشتر خاک و استفاده پایدار آن را فراهم می کند. این مهم به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و منطق فازی قابل فراهم شدن است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد اراضی زراعی محدوده مورد مطالعه توانایی تأمین کامل نیازهای تغذیه‌ای گیاه ذرت را ندارند و بخش‌های مختلفی از عرصه مورد مطالعه از نظر یک یا چند یا همه عناصر با مشکل مواجه هستند. نتیجه نهایی تناسب‌بندی حاصل‌خیزی نشان داد حدود ۹۹/۹۶ درصد از اراضی زراعی در دو طبقه با حاصل‌خیزی متوسط و کم قرار گرفتند و تنها ۰/۰٤ درصد توانایی تأمین نیاز تغذیه‌ای ذرت را دارا بودند. در بین حوضه‌ها؛ حوضه زرین‌گل با قرار گرفتن ٦٨/٣٤ درصد از اراضی آن در دو طبقه با حاصل‌خیزی متوسط و زیاد حاصل‌خیزترین حوضه بود و حوضه‌های قره‌سو، قرن‌آباد و محمدآباد به‌ترتیب با قرار گرفتن ٦٥/٩٦، ٦٤/٨٢ و ٣٣/٦٠ درصد از اراضی آن‌ها در طبقه با حاصل‌خیزی متوسط در رتبه‌های بعدی حاصل‌خیزی برای کشت ذرت بودند. بنابراین، بایستی از کودهای شیمیایی و یا کودهای آلی جهت دست‌یابی به عملکرد مطلوب ذرت براساس میزان عنصر هر طبقه حاصل‌خیزی استفاده کرد.

منابع

1. Aama Azghad, A., Khorassani, R., Mokarram, M., and Moezi, A. 2010. Soil fertility evaluation based on soil K, P and organic matter factors for wheat by using fuzzy logic-AHP and GIS techniques. J. Water Soil. 24: 5. 973-984. (In Persian)
2. Ayoubi, M., Sokouti, R., and Malakouti, M.J. 2016. Study and prediction of the spatial variation of soil organic matter, phosphorus and potassium, case study: north part of Urmia plain. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water Soil Sci. 20: 76. 177-187. (In Persian)
3. Bagherzadeh Chahojoyi, A., and Gholizadeh Noghabi, A. 2015. The zoning of soil fertility status based on the content of absorbable nutrients (macros and micro-nutrients) for sugar beet cultivation in Freiman plain using model FAPH and GIS. The First National Conference on Novel Finding in Biosciences and Agriculture. Zabol University, Tehran, 21 May. (In Persian)
4. Bijanzadeh, E., and Mokarram, M. 2017. Assessment the soil fertility classes for common bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) production using fuzzy-analytic hierarchy process (AHP) method. Austr. J. Crop Sci. 11: 4. 464-473.
5. Braimoh, A.K., Vlek, P.G., and Stein, A. 2004. Land evaluation for maize based on fuzzy set and interpolation. Environ. Manag. 33: 226-238.
6. Dobermann, A., and Oberthur, T. 1997. Fuzzy mapping of soil fertility- a case study on irrigated riceland in the Philippines. Geoderma. 77: 317-339.
7. Elaalem, M. 2012. Land suitability evaluation for sorghum based on Boolean and fuzzy-multi-criteria decision analysis methods. Int. J. Environ. Sci. Develop. 3: 4. 357-361.

8. Garcia-Melon, M., Onate J.F., Aznar-Bellver, J., Aragones-Beltran, P., and Poveda-Bautista, R. 2008. Farmland appraisal based on the analytic network Process. J. Glob. Optim. 42: 143-155.
9. Ghibi, M.N., Asadi, F., and Tehrani, M.M. 2014. Guidance integrated management soil fertility and maize nutrient. Soil and Water Research Institute, Iran. 55 p. (In Persian)
10. Hailu, H., Mamo, T., Keskinen, R., Erik Karltun, E., Gebrekidan, H., and Bekele, T. 2015. Soil fertility status and wheat nutrient content in vertisol cropping systems of central highlands of Ethiopia. Agric. Food Secur. 4: 19. 1-10.
11. Hamzeh, S., Mokarram, M., and Alavipanah, S.K. 2014. Combination of fuzzy and AHP methods to assess land suitability for barley: case study of semi-arid lands in the southwest of Iran. Desert. 19: 2. 173-181.
12. Information and Communication Technology Center. 2016. Agricultural statistics, crop year 2014-2015, volume 1: crops. assistance of planning and economic. Ministry of Agriculture-Jahad, Iran. 174 p. (In Persian)
13. Kamkar, B., Safahani Langroudi, A.R., and Mohammadi, R. 2011. The use of nutrients in crop plants. Jihad Daneshgahi of Mashhad. 500 p. (Translated in Persian)
14. Kazemi Poshtmasari, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, Sh., and Sadeghi, S. 2012. Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province for canola cultivation by Geographic Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP). J. Crop Prod. 5: 1. 123-139. (In Persian)
15. Kazemi Poshtmasari, H., Tahmasebi, Z., Kamkar, B., Shataei, Sh., and Sadeghi, S. 2012. Evaluation of geostatistical methods for estimating and zoning of macronutrients in agricultural lands of Golestan province. Water Soil Sci. 22: 1. 201-220. (In Persian)
16. Keshavarzi, A. 2010. Land suitability evaluation using fuzzy continuous classification (a case study: Ziaran region). Mod. Appl. Sci. 4: 10. 72-81.
17. Khajehpour, M.R. 2013. Cereal crops. Jihad Daneshgahi of Isfahan Industrial university Press, Isfahan, Iran. 763 p. (In Persian)
18. Kihara, J., Huising, J., Nziguheba, G., Waswa, B.S., Njoroge, S., Kabambe, V., Iwuafor, E., Kibunja, C., Esilaba, O.A., and Coulibaly, A. 2016. Maize response to macronutrients and potential for profitability in sub-Saharan Africa. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 105: 3. 171-181.
19. Mohammed, S., and Ahmed, M.M. 2016. Soil suitability assessment for Pearl Millet cropping in Musawa area, Katsina State, Nigeria. J. Plant Agric. Res. 2: 1. 37-43.
20. Mokarram, M., and Hojati, M. 2017. Using ordered weight averaging (OWA) aggregation for multi-criteria soil fertility evaluation by GIS (case study: southeast Iran). Comput. Electron. Agric. 132: 1-13.
21. Mokarram, M., and Bardideh, M. 2012. Soil fertility evaluation for wheat cultivation by fuzzy theory approache and compared with boolean method and soil test method in GIS area. Agron. J. (Pajouhesh and Sazandegi). 96: 111-123. (In Persian)
22. Mustafa, A.A., Singh, M., Sahoo, R.N., Ahmed, N., Khanna, M., Sarangi, A., and Mishra, A.K. 2011. Land suitability analysis for different crops: a multi criteria decision making approach using remote sensing and GIS. Researcher. 3: 12. 61-84.
23. Nasrollahi, N., Kazemi, H., and Kamkar, B. 2017. Feasibility of ley-farming system performance in a semi-arid region using spatial analysis. Ecol. Indic. 72: 239-248.
24. Njoroge, R., Otinga, A.N., Okalebo, J.R., Pepela, M., and Merckx, R. 2017. Occurrence of poorly responsive soils in western Kenya and associated nutrient imbalances in maize (*Zea mays* L.). Field Crops Res. 210: 162-174.
25. Nosratpour, S., Ardalan, M., Farajnia, A., and Esmali, A. 2010. Investigation of spatial distribution of soil fertility factors in Maraghe farms by means of geographic information systems.

Watershed Manag. Res. J. (Pajouhesh & Sazandegi). 87: 2-7. (In Persian)
26. Rodríguez, E., Peche, R., Garbisu, C., Gorostiza, I., Epelde, L., Artetxe, U., Irizar, A., Soto, M., Becerril, J.M., and Etxebarria, J. 2016. Dynamic quality index for agricultural soils based on fuzzy logic. Ecol. Indic. 60: 678-692.
27. Romano, G., Dal Sasso, P., Trisorio Liuzzia, G., and Gentile, F. 2015. Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of southern Italy. Land Use Policy. 48: 131-143.
28. Roshani, G., and Gharanjiki, A. 2015. Digital mapping of soil fertility for agricultural service centers of Golestan province using Kriging method. J. Agri. Engine. 37: 2. 87-99. (In Persian)
29. Roy, R.N., Finck, A., Blair, G.J., and Tandon, H.L.S. 2006. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. FAO fertilizer and plant nutrition bulletin. 16: 368 p.
30. Saaty, T.L. 1999. Fundamentals of the Analytic Network Process. Proceedings of ISAHP, Kobe, Japan, August. 12-14.
31. Sadeghi, S., Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., and Shataei, Sh. 2014. Evaluation of different interpolation methods for determination of spatial variability of micronutrients in agricultural lands of Golestan province some. J. Soil Manag. Sustain. Prod. 4: 3. 323-334. (In Persian)
32. Sarmadian, F., and Keshavarzi, A. 2014. The use of a hybrid fuzzy-AHP system on the evaluation and mapping of soil fertility. J. Water Soil Resur. Conser. 3: 2. 45-56. (In Persian)
33. Sehhat, S., and Parizadi, E. 2010. Applying analytical network process in SWOT (case study in Iran insurance company). J. Ind Manang. 1: 2. 105-120. (In Persian)
34. Seyedmohammadi, J., Esmaeelnejad, L., and Ramezanpour, H. 2016. Increasing efficiency of soil fertility map for rice cultivation using fuzzy logic, AHP and GIS. J. Water Soil. 30: 4. 1114-1129. (In Persian)
35. Shad, R., Ebadi, H., Mesgari, M., and Vafaeinezhad, A. 2009. Design and implementation of an applied GIS for industrial estates site selection using fuzzy, weight of evidence and genetic methods. J. College Engin. 43: 4. 417-429. (In Persian)
36. Shahbazi, K., and Besharati, H. 2013. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. Land Manag. 1: 1. 1-15. (In Persian)
37. Sharififar, A., Ghorbani, H., and Sarmadian, F. 2016. Soil suitability evaluation for crop selection using fuzzy sets methodology. Acta Agric. Slov. 107: 1. 159-174.
38. Sikora, F.J., and Moore, K.P. 2014. Soil test methods from the southeastern United States. Southern cooperative series bulletin. 419: 219 p. (Available on-line at http://www.clemson.edu/sera6/.)
39. Tang, H.J., and Van Ranst, E. 1992. Testing of fuzzy set theory in land suitability assessment for rainfed grain maize production. Pedologie. 42: 129-147.
40. Tena, W. and Beyene. 2011. Identification of growth limiting nutrient(s) in Alfisols: soil physio-chemial properties, nutrient concentrations and biomass yield maize. Am. J. Plant Nutr. Fert. Technol. 1: 1. 23-35.
41. Tuan, N.T., Jian-Jun, Q., Verdoodt, A., Hu, L., and Van Ranst, E. 2011. Temperature and precipitation suitability evaluation for the winter wheat and summer maize cropping system in the Huang-Hai plain of China. Agric. Sci. in China. 10: 2. 275-288.
42. Zhang, B., Zhang, Y., Chen, D., White, R.E., and Li, Y. 2004. A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. Geoderma. 123: 319-331.
43. Zhang, J., Su, Y., Wu, J., and Liang, H. 2015. GIS based land suitability assessment for tobacco production and fuzzy set in Shandong province of China. Comput. Electron. Agric. 114: 202-211.