

پهنه‌بندی وضعیت حاصلخیزی اراضی دشت مغان بر مبنای تحلیل سلسله مراتبی در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی

وحید سروی مغانلو و حمیدرضا متین‌فر^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲)

چکیده

افزایش سریع جمعیت کشور، نیاز به تولید بیشتر مواد غذایی را می‌طلبد، یکی از روش‌ها برای نیل به این مهم افزایش تولید در واحد سطح است. در کشاورزی مدرن امروزه، تهیه نقشه حاصلخیزی خاک برای برنامه‌ریزی بهتر به‌منظور استفاده از کودهای شیمیایی و بهره‌برداری از خاک ضروری است. هدف از این تحقیق ارزیابی حاصلخیزی خاک بر اساس ویژگی‌های شیمیایی در دشت مغان با ۱۹۱ نقطه مطالعاتی است. بدین‌منظور در محیط نرم‌افزار ArcGIS درون‌یابی با مدل کریجینگ بین نقاط صورت گرفت و پس از تهیه نقشه اولیه پارامترها شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کربن آلی، منگنز، روی، آهن و شوری خاک تهیه و طبقه‌بندی شد. سپس از تکنیک سلسله مراتبی (AHP) برای وزن دهی پارامترها استفاده شد و با استفاده از ترکیب نقشه عناصر به‌عنوان لایه‌ها نقشه حاصلخیزی منطقه تهیه شد. بر اساس نتایج نقشه حاصلخیزی مشخص شد که ۲۳/۷ درصد اراضی زراعی دارای وضعیت حاصلخیزی ضعیف، ۲۸/۳ درصد اراضی دارای وضعیت حاصلخیزی متوسط، ۲۵/۴ درصد اراضی وضعیت حاصلخیزی خوب و ۲۲/۶ اراضی وضعیت حاصلخیزی خیلی خوب هستند.

واژه‌های کلیدی: حاصلخیزی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سلسله مراتبی

۱. گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: matinfar.h@lu.ac.ir

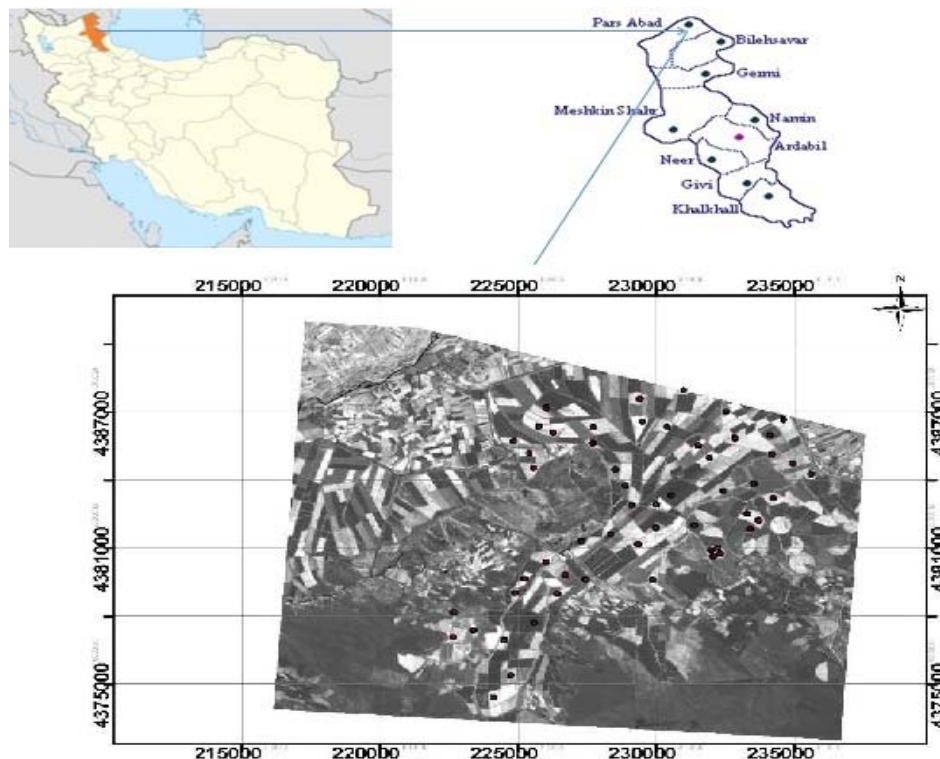
مقدمه

یکنواخت مدیریت شود. ولی تجربیات گذشته حاکی از این نکته هست که عکس‌العمل گیاه به کود و نیز مقدار موجود در خاک یک مزرعه ممکن هست متفاوت باشد. بر این اساس توصیه کودی بر اساس منحنی‌های عکس‌العمل در یک سیستم کشاورزی پایدار دقیق ممکن است ساده‌انگاری تلقی شود، بنابراین لازمه یک سیستم کشاورزی پایدار ایجاد بانک اطلاعاتی دقیق از وضعیت خاک منطقه است. با توجه به گران بودن و سرسام‌آور بودن هزینه‌ها، توسعه و استفاده از تکنیک‌های مدرن نظیر زمین‌آمار، این مشکل را تا حد زیادی حل کرده و می‌توان با جمع‌آوری داده‌های کمتر، نقشه‌هایی با دقت منطقی تهیه کرد (۶).

به دلیل اینکه عناصر موجود در خاک دارای تأثیر متفاوتی بر روی رشد گیاه هستند، ضروری است هر عنصر بر اساس درجه اهمیتش، وزن‌دهی شود. با توجه به اینکه عناصر دارای تأثیر متفاوتی بر عملکرد و کیفیت محصول زراعی هستند، به منظور تبیین تأثیر عوامل مختلف خاکی از روش سلسله مراتبی برای این امر استفاده شد. این سیستم یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیاردهی چندگانه است (۴). GIS به عنوان یک فناوری رایانه محور توجه بسیاری از متخصصان رشته‌های مختلف را به خود معطوف ساخته است، تا آنجا که در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی را در زمینه حاصلخیزی خاک از طریق فناوری مذکور در نقاط مختلف جهان شاهد بوده‌ایم که از آن جمله می‌توان به ارزیابی کمی برای حاصلخیزی خاک در گایو چین با استفاده از تکنیک فازی و AHP در محیط GIS (۱۵) و مطالعه حاصلخیزی خاک برای کشت برنج در فیلیپین را (۲ و ۷) اشاره کرد. تمامی عناصر غذایی ماکرو و میکرو دارای تأثیر بسزایی در تولید کمی و کیفی محصول زراعی مناسب هستند، اما وارد کردن تمامی عناصر در سیستم تصمیم‌گیری هم از لحاظ منطقی صحیح نیست هم باعث بالا رفتن خطا می‌شود. به طوری که محققان اعلام کردند وارد کردن بیش از ۹ فاکتور در سیستم تصمیم‌گیری باعث افزایش خطا و باعث شکل‌گیری نرخ سازگاری بالای ۱/۰ می‌شود که در این حالت وزن‌دهی برای تصمیم‌گیری صحیح نیست (۱۳).

افزایش عملکرد گیاهان زراعی متأثر از عوامل مختلف خاکی هست، بنابراین تعیین درجه حاصلخیزی خاک برای مشخص کردن نیاز غذایی گیاه زراعی کشت شده و تعیین نیاز کودی بسیار مهم است، بدون توجه به میزان حاصلخیزی خاک، با مصرف نادرست کودهای شیمیایی نه تنها عملکرد کیفی و کمی محصولات بالا نمی‌رود بلکه باعث می‌شود تعادل عناصر غذایی در خاک بهم خورده و مسائل زیست‌محیطی نیز مطرح می‌شود (۷ و ۸). در همین رابطه، تعیین درجه حاصلخیزی خاک برای مشخص کردن میزان کوددهی بسیار مهم است (۹). خاک‌ها پهنه‌های طبیعی چهاربعدی هستند که با تشکیل یک لایه پیوسته روی سیمای اراضی، در مکان و زمان تغییرپذیر هستند. تغییرپذیری خاک در فواصل کوتاه موجب می‌شود که نقاط مختلف آن از نیازهای تغذیه‌ای متفاوت برخوردار باشد. یکی از کاستی‌های روش‌های سنتی مدیریت مزرعه، عدم توجه به این مهم است که خود باعث می‌شود نهاده‌های مصرفی مزارع عمدتاً به صورت نامتعادل و بیش از نیاز مزرعه مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، نیاز به مدیریت خاص بر پایه تغییرات مکانی خاک ضروری به نظر می‌رسد. از اشکالات توصیه کودی بر مبنای آزمون خاک، نداشتن نقشه منابع و استعداد خاک‌های کشور است. بنابراین لازم است تا با تهیه نقشه‌های تفصیلی خاک‌ها نسبت به انجام توصیه‌های کودی اقدام کرد (۸). تهیه نقشه‌های حاصلخیزی در کشورهای پیشرفته پایه و اساس کشاورزی دقیق است. امروزه با برخورداری از امکانات رایانه‌ای و به‌کارگیری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با ایجاد بانک‌های اطلاعاتی می‌توان اطلاعات زمینی را جمع‌آوری، طبقه‌بندی و به روز کرده و با انجام تحلیل‌های مکانی به اطلاعات سودمندی از وضعیت مکانی عناصر غذایی و روند تغییرات آنها دست یافت و وضعیت این عوامل را به صورت نقشه ارائه کرد (۳).

به طور سنتی توصیه کودی بر اساس منحنی‌های عکس‌العمل که برای یک منطقه خاص تهیه شده‌اند، انجام می‌پذیرد. توصیه کودی بر این اساس زمانی کاربرد دارد که مزرعه به صورت مدیریت



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل نمونه‌برداری خاک کشت و صنعت مغان

آذربایجان و از جنوب و جنوب غربی به شهرستان‌های بیله‌سوار و گرمی محدود می‌شود. از لحاظ خاکشناسی بافت غالب خاک‌های منطقه لومی رسی و جز خاک‌های قلیایی طبقه‌بندی می‌شود. مساحت اراضی کشاورزی دشت مغان (حوضه پارس‌آباد) بالغ بر ۴۰ هزار هکتار اراضی آبی و ۲۰ هزار هکتار اراضی دیم است. محصول غالب منطقه گندم، کلزا، ذرت و پنبه است.

برای نمونه‌برداری از روش شبکه‌بندی منظم استفاده شد و در فواصل منظم ۵۰۰ متری طولی و ۳۰۰ متری عرضی نمونه‌برداری از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری انجام شد که در مجموع شامل ۱۹۱ نمونه شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه در هوای تازه خشک شده و سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها با استفاده از روش‌های استاندارد مورد آنالیز قرار گرفت که شامل موارد زیر است. (فسفر قابل استفاده خاک به روش اولسن، نیتروژن کل خاک به روش کج‌لدال، پتاسیم در عصاره استات آمونیوم، کربن آلی خاک به روش والکلی بلاک، میزان عناصر

هدف از این پروژه تهیه پراکنش عناصر غذایی و نقشه حاصل‌خیزی تلفیقی به منظور تصمیم‌گیری مناسب و مدیریت بهینه برای اراضی زراعی کشت و صنعت مغان است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پروژه کشت و صنعت مغان واقع در شهرستان پارس‌آباد در شمال استان اردبیل است، شهرستان پارس‌آباد در قسمت شمالی جلگه مغان قرار گرفته و با مساحت ۱۵۵۴ کیلومترمربع، شمالی‌ترین شهرستان استان است (شکل ۱). که از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین ۳۹ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده و از سطح دریا به‌طور متوسط ۴۵ متر ارتفاع دارد. این شهرستان از شمال به رودخانه ارس و جمهوری آذربایجان، از غرب به شهرستان کلبر در استان آذربایجان شرقی، از شرق به جمهوری

میکرو شامل آهن؛ روی؛ منگنز جذب استفاده به روش لیندسی و نورول (DTPA) (۱۳).

برای انجام پیش‌پردازش، با استفاده از نرم‌افزار SIGMAPlot نرمال بودن توزیع آماری مقادیر فاکتورها مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین در وهله اول با استفاده از آزمون ناپارامتری نرمالیتیه (کولموگروف-اسمیرنوف) داده‌ها آزمون شدند و پس از حذف داده‌های نمونه‌های پرت که تعداد آنها چهار عدد بود، نرمال بودن داده‌ها تأیید شد.

روش درون‌یابی

برای آگاهی برآورد صحیح نقشه‌های پهنه‌بندی عامل مورد نظر ابتدا با استفاده از شیوه‌های مناسب و صحیح مدل مناسب را انتخاب و برآورد کرد.

پس از برآورد مدل واریوگرام با نرم‌افزار GS+، مدلی را که کمترین نسبت C_0/C_1 ، کمترین RMSE و بیشترین R^2 دارد به عنوان مدل مناسب انتخاب می‌کنیم چرا که هر چه این نسبت کوچک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که همبستگی بین داده‌ها بیشتر است، در نتیجه واریوگرام مناسب‌تر است. برای بررسی دقت روش‌های درون‌یابی و انتخاب بهترین روش از تکنیک اعتبارسنجی حذفی استفاده شد، این تکنیک بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای به‌طور موقت حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور، مقداری برآورد می‌شود. سپس مقدار حذف شده به‌جای خود برگردانده شده و برای بقیه نقاط شبکه به‌صورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد. با در دست داشتن این دو مقدار می‌توان در نهایت با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده انحراف (MBE) و دقت (MAE) را با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)|$$

$$MBE = 1/n \sum_{i=1}^n Z^*(x_i) - Z(x_i)$$

MAE: میانگین مطلق خطا (دقت)، MBE: میانگین خطای انحراف، $Z^*(x_i)$: مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر، $Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر و n : تعداد داده‌ها

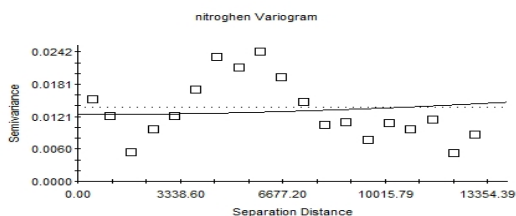
پس از انتخاب بهترین روش درون‌یابی، با توجه به در دست داشتن مختصات جغرافیایی پایگاه‌های نمونه‌برداری، نقشه پراکنش فاکتورهای مورد نظر خاک توسط نرم‌افزار GIS نسخه ۱۰ در محیط ArcMAP برای خاک‌های زراعی و باغی کشت و صنعت مغان تهیه شد.

برای آنکه وزن دهی معیارها و قضاوت‌ها با ذهن و طبیعت بشری مطابق و همراه باشد، در این خصوص از روش سلسله مراتبی استفاده شد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی با شناسایی اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل: هدف‌ها، معیارها یا مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی می‌شود که در اولویت‌بندی به‌کار گرفته می‌شوند. فرایند شناسایی عناصر و ارتباط بین آنها منجر به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می‌شود که ساختار سلسله مراتب نامیده می‌شود. سلسله مراتبی بودن ساختار به این دلیل است که عناصر تصمیم‌گیری را می‌توان در سطوح مختلف خلاصه کرد. بنابراین اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله مراتبی ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی است که در آن اهداف، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آنها نشان داده می‌شود. چهار مرحله بعدی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی محاسبه وزن معیارها، محاسبه وزن گزینه‌ها، محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌ها را شامل می‌شود. در این مطالعه به دلیل اینکه هر یک از ویژگی‌های خاک دارای تأثیر متفاوتی روی حاصلخیزی خاک هستند و پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک بیش از یک فاکتور است از روش مقایسه زوجی استفاده شد. بدین ترتیب که عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به‌صورت زوجی مقایسه شده و وزن نسبی آنها محاسبه می‌شود. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص شد، در این تحقیق برای محاسبه وزن‌های عناصر هر سطح نسبت به سطح بالاتر خود از روش بردار ویژه که مؤثرترین شیوه در یافتن عناصر هر سطح است، استفاده شد (۱۳).

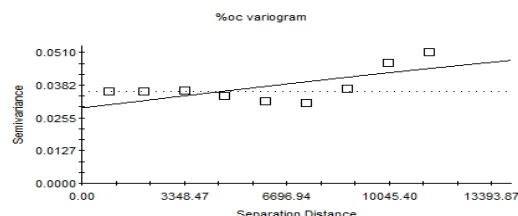
برای وزن‌دهی فاکتورها از نظرات پنج کارشناس جهاد کشاورزی و مرکز تحقیقات کشاورزی استان اردبیل (مغان) و سه

جدول ۱. وزن‌دهی فاکتورها

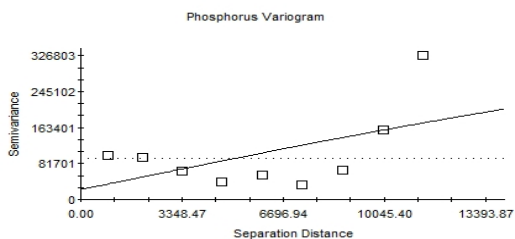
وزن	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کربن آلی	شوری	منگنز	آهن	روی	عناصر
۰/۲۹۳	۱	۸/۷	۲/۱	۸/۶	۸/۵	۴	۸/۳	۸	نیتروژن
۰/۲۰۲	۷/۸	۱	۷/۴	۷/۶	۷/۵	۴	۷/۳	۷	فسفر
۰/۱۵۲	۱/۲	۴/۷	۱	۴/۶	۴/۵	۲	۴/۳	۴	پتاسیم
۰/۰۲۲	۶/۸	۶/۷	۶/۴	۱	۶/۵	۳	۲	۶	کربن آلی
۰/۰۹	۵/۸	۵/۷	۵/۴	۵/۶	۱	۵/۲	۵/۳	۵	شوری
۰/۰۵	۱/۴	۲/۷	۲/۴	۲/۶	۲/۵	۱	۲/۳	۲	منگنز
۰/۰۴	۳/۸	۳/۷	۳/۴	۳/۶	۳/۵	۳/۲	۱	۳	آهن
۰/۰۲۸	۱/۸	۱/۷	۱/۴	۱/۶	۱/۵	۱/۲	۱/۳	۱	روی



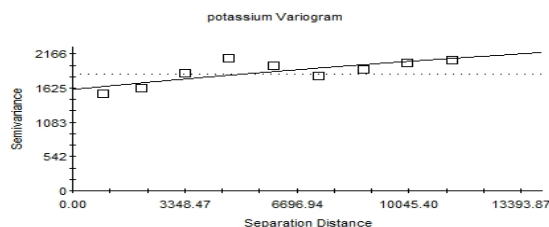
Gaussian model (Co = 0.0125; Co + C = 0.0250; Ao = 31100.00; r2 = 0.195; RSS = 6.289E-04)



Spherical model (Co = 0.0293; Co + C = 0.0587; Ao = 31100.00; r2 = 0.390; RSS = 2.263E-04)



Spherical model (Co = 22700.0000; Co + C = 312600.0000; Ao = 31100.00; r2 = 0.284; RSS = 4.820E+10)



Exponential model (Co = 1603.0000; Co + C = 3207.0000; Ao = 30970.00; r2 = 0.571; RSS = 132540.)

شکل ۲. واریوگرام مناسب برازش شده برای مشخصات خاک به ترتیب نیتروژن، کربن آلی، پتاسیم و فسفر

نتایج و بحث

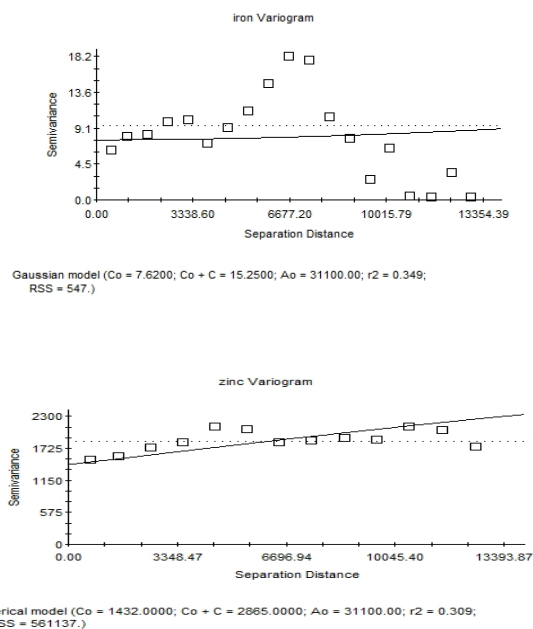
بررسی واریوگرام‌های داده‌های مربوط به مشخصات مورد نظر خاک نشان داد که مناسب‌ترین مدل واریوگرام برازش شده به ساختار فضایی داده‌های شوری خاک، آهن، ازت، کربن آلی، فسفر، روی مدل خطی و برای منگنز و پتاسیم کروی است (شکل ۲ و ۳) و این مدل‌ها کمترین نسبت C_0/C_0+C را نسبت به مدل‌های دیگر دارد. همچنین ضریب همبستگی این مدل نسبت به مدل‌های دیگر بالا است (جدول ۲). نتایج به دست آمده از ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی با استفاده از تکنیک

نفر هیئت علمی دانشگاه (محقق اردبیل) در قالب پرسشنامه نظر خواهی شد و بر اساس نظرات و حد بحرانی عناصر و میزان آنها در خاک وزنی بین ۱ تا ۹ اختصاص داده شد که نشان‌دهنده ارجحیت فاکتورها نسبت به هم است و بر اساس آن وزن هر سطر در نرم Expert Choice با نرخ سازگاری ۰/۰۸ تهیه شد، محاسبه شد (جدول ۱). در نهایت برای حصول به اولویت‌بندی، نقشه‌های تهیه شده با استفاده از عملیات همپوشی جمعی با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با یکدیگر ترکیب شده و با استاندارد، سازی آنها گزینه ارجح تعیین شد (۱، ۷).

جدول ۲. مشخصات واریوگرام مناسب برازش شده مشخصات خاک

RSS	R^2	C/C ₀ +C	R	C ₀ +C	C ₀	مدل واریوگرام	مشخصه خاک
۲/۵۴E+۱/۲	۰/۶۷۸	۰/۵۷	۶۵۲۴	۰/۰۷۶۳	۰/۰۳۲	خطی	شوری
۵/۴۲E+۳	۰/۶۲۴	۰/۵۶	۶۲۱۰	۰/۱۶	۰/۰۷	قوسی	آهن
۲۵۸	۰/۸۲۴	۰/۷۲	۵۴۸۷	۲۶/۱۸	۷/۷۹	قوسی	منگنز
۵/۵۱E-۴	۰/۵۴۲	۰/۵۲	۶۰۲۵	۸/۱۲	۴/۴۵	قوسی	نیتروژن
۳/۴۷E-۳	۰/۷۴۵	۰/۸۳	۵۹۸۷	۰/۱۱	۰/۰۲۹	کروی	کربن الی
۷/۹E-۴	۰/۶۴۰	۰/۶۸	۶۱۲۴	۲/۸۳	۰/۸۹	کروی	فسفر
۰/۰۱۵۷	۰/۶۸	۰/۵۹	۵۸۷۴	۲/۲۴	۰/۹۰۴	کروی	روی
۴/۲۲E-۶	۰/۵۸۷	۰/۵۶	۶۰۲۵	۲/۳۱	۰/۸۳	تابعی	پتاسیم

C₀: اثر قطعه‌ای، C₀+C: آستانه، R: دامنه تأثیر، R²: همبستگی و RSS: مجموع مربعات باقی مانده



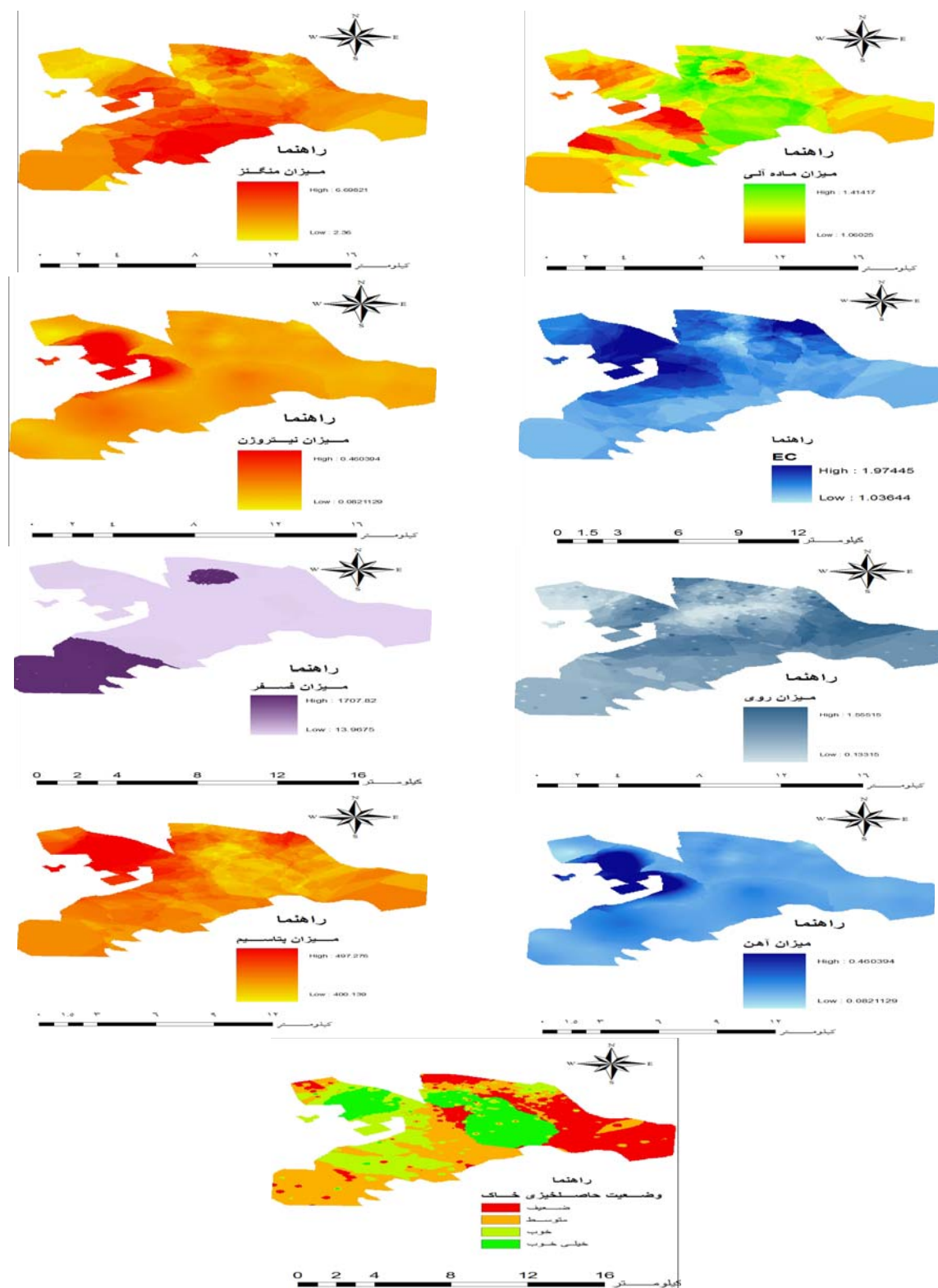
شکل ۳. واریوگرام مناسب برازش شده برای مشخصات خاک به ترتیب آهن، منگنز، روی و شوری خاک

میزان وزن‌شان با یکدیگر تلفیق شده و نقشه نهایی حاصلخیزی خاک تهیه شد (شکل ۴).

بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر ماکرو و میکرو نشان می‌دهد که در ۵۹ درصد اراضی میزان نیتروژن در سطح متوسط است، و ۲۳ درصد در سطح خوب و مابقی ضعیف است در مورد فسفر ۳۶ درصد مزارع میزان فسفر بالا و در مابقی عناصر در حد متوسط است. در مورد پتاسیم ۲۶ درصد مزارع در سطح متوسط، ۸ درصد سطح ضعیف و مابقی در سطح متوسط

اعتبارسنجی حذفی نشان داد که مدل کریجینگ به‌خاطر داشتن کمترین میانگین مطلق خطا و میانگین خطای انحراف بهترین و مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای ترسیم نقشه پهنه‌بندی مشخصات خاک و نقشه حاصلخیزی خاک است (جدول ۳).

از طریق میان‌یابی نقاط مورد مطالعه با استفاده از روش Kriging نقشه سطحی فاکتورهای فسفر، پتاسیم، نیتروژن، ماده آلی، EC، آهن، منگنز و روی به‌طور مجزا تهیه شد که در شکل (۴) نشان داده شده است. در نهایت لایه‌ها با در نظر گرفتن



شکل ۴. نقشه کلاسیه‌بندی پارامترها و حاصل‌خیزی خاک منطقه مورد مطالعه

جدول ۳. مقادیر MAE و MBE روش درون‌یابی کریجینگ برای مشخصات خاک

MAE	MBE	میانگین تخمینی	میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای	مشخصه خاک
۱۸/۱۷	۷/۸۴	۱/۳۸	۱/۴۲	شوری
۹/۸۴	۳/۲۱	۱/۲۴	۱/۱۱	آهن
۵/۴	۲/۱۲	۳/۹۴	۳/۸۶	منگنز
۳/۲۱	۰/۴۷	۰/۱۵	۰/۱۳	نیتروژن
۶/۴۷	۲/۴۵	۱/۰۹	۱/۱۷	کربن آلی
۳۲/۳۲	۱۰/۱۲	۲۲/۲	۲۱/۵	فسفر
۳/۸۷	۰/۸۷	۰/۵۱	۰/۴۵	روی
۸۴/۷۸	۱۵/۴۵	۴۴۱	۴۳۶	پتاسیم

مختلفی می‌توان کرد برای مثال نتایج تحقیقات ساین و همکاران (۲۰۱۰) به‌منظور تعیین محصول مناسب با توجه به وضعیت عناصر خاک در ایالت اودیشا هند نشان داد که با توجه به میزان عناصر غذایی موجود در خاک و وضعیت عناصر غذایی در خاک کشت برنج و سبزیجات بهترین عملکرد را می‌تواند، داشته باشد. حال با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت بخش اعظم اراضی نیازمند مدیریت مناسب کودی و تغذیه برای رسیدن به عملکرد مناسب به‌خصوص در محصولات گندم، ذرت و کلزا هستند. هدف اصلی در تهیه نقشه حاصلخیزی تصمیم‌گیری مناسب مدیریتی، تعیین محصول مناسب با توجه به وضعیت حاصلخیزی خاک و جلوگیری از تغییرات مخرب در خاک است. مطالعات مختلفی با این هدف توسط محققان مختلف انجام شد. نتایج مطالعات آرپاچائی در دشت اردبیل نشان داد که بر اساس نقشه حاصلخیزی تهیه شده ۷۵ درصد اراضی دارای وضعیت حاصلخیزی مناسب برای کشت گندم هستند (۱۱). به‌طورکلی می‌توان گفت فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده با معیارهای چندگانه است. امکانات، مزایا و ویژگی‌های AHP باعث شده تا بتوان بهترین نتیجه را از اعمال این فرایند در پدیده‌های طبیعی گرفت، زیرا بیشتر پدیده‌هایی که در طبیعت پیرامون ما اتفاق می‌افتند دارای پارامترهای مؤثر گوناگون، پیچیده و غالباً کیفی هستند که تصمیم‌گیری در مورد آنها به‌علت نقش متفاوت هر کدام از پارامترها بر پدیده مورد نظر، مقدار اثربخشی متفاوت آنها، کیفی بودن برخی و یکسان نبودن معیار سنجش در مورد بقیه عناصر

هستند. در مورد کربن آلی ۱۸ درصد مزارع میزان کربن آلی در سطح پایین، ۵۹ درصد در سطح متوسط و مابقی از لحاظ میزان کربن آلی در سطح خوبی قرار دارند. در مورد عناصر میکرو در ۶۵ درصد مزارع میزان آهن در سطح پایین و ۲۳ درصد در سطح متوسط و ۱۲ درصد در سطح خوب است. در مورد منگنز، روی و مس بیش از ۶۰ درصد مزارع در سطح متوسط به بالا قرار دارند. در مورد نقشه حاصلخیزی نتایج مطالعات نشان داد که ازت و فسفر بیشترین نقش را در حاصلخیزی خاک و تولید عملکرد مناسب با وزن ۰/۲۹۳ و ۰/۲۰۲ دارند. بررسی نقشه‌های پراکنش نشان می‌دهد که در اغلب فاکتورها در قسمت شمال منطقه مورد مطالعه میزان عناصر غذایی پایین است، همین امر سبب شده که در نقشه حاصلخیزی خاک‌های این منطقه جزء خاک‌های با حاصلخیزی ضعیف طبقه‌بندی شوند در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه سطح حاصلخیزی خوب و در مناطق میانی اغلب مزارع در سطح حاصلخیزی متوسط قرار دارد و در حالت کلی ۲۳/۷ درصد اراضی زراعی دارای وضعیت حاصلخیزی ضعیف، ۲۸/۳ درصد اراضی دارای وضعیت حاصلخیزی متوسط، ۲۵/۴ درصد اراضی وضعیت حاصلخیزی خوب و ۲۲/۶ اراضی وضعیت حاصلخیزی خیلی خوب هستند. بررسی نقشه پراکنش عناصر نشان می‌دهد که در یک محدوده مشخص تغییرات مکانی از نقطه نسبت نقاط مجاور کم است شاید دلیل این امر پایین بودن تغییرات توپوگرافی منطقه باشد. نتایج این مطالعه با نتایج مکرم و همکاران (۹) همخوانی دارد. در واقع از نتایج نقشه پراکنش و نقشه حاصلخیزی استفاده‌های

مورد بررسی خاک تعیین شد. با توجه به الگوی کشت منطقه و نیاز عناصر غذایی محصولات مختلف بر اساس نظر کارشنان مراکز علمی و اساتید دانشگاه منطقه و تعیین اولویت‌بندی عناصر غذایی و وزندهی به لایه‌های مختلف عناصر غذایی نقشه حاصلخیزی منطقه مورد بررسی تهیه شد. نتایج نشان داد که ۲۳/۷ درصد اراضی زراعی دارای وضعیت حاصلخیزی ضعیف، ۲۸/۳ درصد اراضی دارای وضعیت حاصلخیزی متوسط، ۲۵/۴ درصد اراضی وضعیت حاصلخیزی خوب و ۲۲/۶ اراضی وضعیت حاصلخیزی خیلی خوب هستند. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه مزارع دو کشته هستند برای حفظ کیفیت خاک از لحاظ تغذیه و سلامت آن استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی و مصرف عناصر غذایی بر اساس نیاز مکانی می‌تواند نقش بسزایی ایفا کند.

باعث می‌شود که نتوان به‌راحتی در مورد وقوع یا عدم وقوع آنها در مناطق مختلف اظهار نظر کرد (۱۲). از مزایای مهم روش AHP، استفاده از آن در تصمیم‌گیری گروهی است، به‌طوری که به‌گونه‌ای تصمیم‌گیری‌های تمام اعضای گروه را با همدیگر ترکیب می‌کند که تصمیم بهینه، در برگرفته آرا همه اعضا باشد (۱۶). بنابراین این فرایند تحلیل می‌تواند نقش مؤثری در بهبود کمیت و کیفیت تولید ایفا کند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به‌منظور تهیه نقشه حاصلخیزی خاک با استفاده از روش‌های درون‌یابی و معیارهای RMSE و R^2 برای تعیین بهترین روش درون‌یابی و معیارهای MAE و MBE روش کریجینگ به‌عنوان بهترین مدل برای تهیه نقشه پراکنش عناصر

منابع مورد استفاده

1. Antaryami, M., P. Truptimayee, D. Das and D. Mira. 2014. Soil fertility maps preparation using GPS and GIS in Dhenkanal District, Odisha, India. *International Journal of Plant and Soil Science* 3(8): 986-994.
2. Dobermann, A. and T. Oberthur. 1997. Fuzzy mapping of soil fertility, a case study on irrigated Riceland in the Philippines. *Geoderma* 77(2-4): 317-339.
3. Eastman, J. R., H. Jain and J. Tolendo. 1998. Multi-criteria and multi objective decision making for land allocation using GIS. *Multicriteria Analysis for Land-Use Management* 9: 227-251.
4. Ghodsipour, H. 2008. Analytical Hierarchy Process (AHP), Amir Kabir University of Technology, Tehran. (In Farsi).
5. HajMaleki, KH., J. Sufian SheikhPiri and M. Monajem. 2012. Evaluation and preparation of soil fertility map using geospatial statistics and geographic information systems for correct crop management (case study of Malekan region). In: Proceeding of the First National Conference on Sustainable Development Strategies in Agriculture, Natural Resources and the Environment, Tehran. (In Farsi).
6. Lotfi, S., K. Habibi and M. J. Koohsari. 2009. An analysis of urban land development using multi criteria decision model and geographical information system (a case study of Babolsar city). *American Journal of Environmental Sciences* 5(1): 87-93.
7. Malekoty, M. J. and M. N. Gheiby. 2000. Determination of critical limit of nutrients. *Technical Journal* No. 456 10 Page. (In Farsi).
8. Malekoty, M. J., M. Mashiri and M. N. Gheiby. 2005. Optimum concentrations of nutrient elements and some crops and gardens. Excellent policy on the development of bio-materials use and the optimal use of fertilizer and agricultural poison. *Technical Journal* NO: 181 Sana Publications. 7 page. (In Farsi).
9. Mokaram, M. and M. Bardideh. 2010. Evaluation of soil fertility for wheat cultivation using a fuzzy system and its comparison with the Bullen method and soil sample in GIS environment. *Journal of Agriculture* 3: 110-123. (In Farsi).
10. Mokaram, M., A. Azghadi and A. Saberi. 2010. Preparation of soil fertility map using geographic information system and analytical hierarchy process. 8 the Geomatics conference. National Mapping Agency. Tehran. (In Farsi).
11. Mueller, T., F. Pierce. O. schabenberger and D. D. Warncke. 2001. Barnhisel site specific soil fertility management a model map quality. *Soil Science Society of America Journal* 65(5):1547-1558 .

12. Ougene, M., H. Jalilian and GH. Rostamizad. 2008. Approach to comprehensive management of watersheds. *In: Proceeding of the Third Conference on Water Resources Management, Tabriz University.* (In Farsi).
13. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeny. 1982. Methods of Soil Nalysis. part 2: chemical and biological properties. second edition. American Society of Agronomy, USA.
14. Pang, S., T. X. Li, X. F. Zhang, Y. D. Wang and H. Y. Yu. 2011. Spatial variability of cropland lead and its influencing factors: A case study in Shuangliu county, Sichuan province, China. *Geoderma* 162: 223–230.
15. Pulakeshi, H. B. P., P. L. Patil, G. S. Dasog, B. M. Radder, B. I. Bidari and C. P. Mansur. 2012. Mapping of nutrients status by geographic information system (GIS) in Mattagami village under northern transition zone of Karnataka. *Karnataka Journal of Agricultrul Science* 25(3): 332-335.
16. Sarmandian, F. and A. Keshavarz. 2012. Use of fuzzy hybrid system-Hierarchical analysis in evaluating and preparing soil fertility map. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 3(2): 45-56. (In Farsi).
17. Singh, K. N., R. Abhishek, A. K. Tripathi and A. Subba. 2010. Soil fertility mapping and its validation using spatial prediction techniques. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics* 64(3): 359-365 .
18. Under Pereira, P., X. Úbeda and E. Baltrėnaitė. 2010. Mapping total nitrogen in ash after a wildland fire: a microplot analysis. *Ekologija* 56(3): 144- 152.
19. Walke, N., G. P. Reddy, A. K. Maji and S. Thayalan. 2012. GIS-based multi criteria overl ayanalysisin soil-suitability evaluation for cotton (*Gossypium* spp.): A case study in the black soil region of Central India. *Computers and Geosciences* 41: 108–118.
20. Zhang, B., Y. Zhang, D. Chen, R. E. Whit and Y. Li. 2004. A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. *Geoderma* 123: 319– 331.

Survey Fertility Mapping of the Maghan Area Using Global Information System (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP)

V. Sarvi and H. R. Matinfar^{1*}

(Received: October 25-2016 ; Accepted: July 24-2018)

Abstract

In the face of rapid growth of the population and the need for food production sectors, one of the ways to achieve this is to increase the production per unit area. In modern agriculture, the preparation of soil fertility map seems to be necessary to plan for appropriate use of fertilizers for crops. This study was conducted to prepare a distinct map for evaluating the soil fertility according to soil chemical properties in 191 soil samples of Ardabil Plain in Ardabil Province. To achieve this goal, the available N and P, K, EC, Fe, Zn, Mn and the organic matter of soil were mapped using geostatistical Kriging estimator into the Geographic Information System (GIS) by the ArcGIS software. The Analytical Hierarchy Process (AHP) was used for weighting the soil fertility factors as the input data. Then, a membership functions was defined for each factor by factorial scoring and the map of soil fertility was prepared and classified by using the AHP technique into the GIS program. The results showed that most of nitrogen and phosphorus with the weight of 0.293, 0.202 had the mostly infraction on the soil fertility and production. Survey map of the distribution showed that most of the factors were studied in the northern region with the low nutrients. The results also showed that 23.7 percent of cultivated land fertility maps had a poor fertility status, 28.3 percent of the land had a moderate fertility status, 25.4 percent of the land was good and the fertile land with 22.6 percent had a very good fertility status.

Keywords: Fertility, Geographic Information Systems (GIS), AHP

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, Lorestan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: matinfar.h@lu.ac.ir