نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال سوم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۲

ISSN 2251-7480

استفاده از سامانه هیبرید فازی- تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی و تهیه نقشه حاصلخیزی خاک

فریدون سرمدیان[1]* و علی کشاورزی[2]

۱) استاد؛ گروه مهندسی علوم خاک؛ دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی؛ دانشگاه تهران؛ کرج؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: fsarmad@ut.ac.ir

۲) دانشجوی دکتری؛ گروه مهندسی علوم خاک؛ دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی؛ دانشگاه تهران؛ کرج؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۰۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳

چکیده

تعیین حاصلخیزی خاک برای مشخص کردن میزان کود دهی بسیار مهم است. بدون توجه به میزان حاصلخیزی خاک، با مصرف نادرست کودهای شیمیایی، نه تنها عملکرد کیفی و کمی محصولات کشاورزی بالا نمی‌رود، بلکه باعث می‌شود ضمن تحمیل هزینه‌های اضافی، تعادل عناصر غذایی در خاک به هم خورده و مسائل زیست محیطی نیز مطرح شود. بنابراین ارزیابی و تهیه نقشه حاصلخیزی خاک، ضروری است. در این پژوهش، نقشه حاصلخیزی خاک با استفاده از سامانه هیبرید فازی- تحلیل سلسله مراتبی، در محیط GIS تهیه گردید. داده‌های ورودی شامل مقادیر فسفر و پتاسیم قابل استفاده، ازت کل، کربن آلی، پ . هاش و ظرفیت تبادل کاتیونی از ۷۷ نقطه مطالعاتی خاک در منطقه کوهین واقع در استان قزوین بود. نقشه پیوسته این متغیرها با روش IDW (عکس وزنی فاصله) تهیه شد. سپس برای هر یک از فاکتورهای مورد مطالعه، یک تابع عضویت فازی با توجه به راهنمای سایز (Sys) تعریف گردید. در نهایت برای دستیابی به نقشه نهایی حاصلخیزی خاک در منطقه مورد مطالعه، از تکنیک AHP به منظور وزن دهی فاکتورها در نرم افزار Expert Choice با نرخ ناسازگاری ۰/۰۷ استفاده شد. نتایج نشان داد که کربن آلی خاک دارای بیشترین تأثیر و سهم در حاصلخیزی خاک در منطقه مورد مطالعه بوده (دارای وزن ۰/۲۸۹) و به لحاظ حاصلخیزی برای کشت گندم، بیشتر وسعت منطقه در کلاس متوسط حاصلخیزی قرار دارد.

کلید واژه‌ها: خصوصیات شیمیایی خاک؛ سامانه هیبرید؛ سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ گندم

مقدمه

کاربرد صحیح و علمی کودهای شیمیایی برای حصول شرایط بهینه در بهره‌وری از منابع آب و خاک، منوط به شناخت کامل حاصلخیزی خاک و تعیین نیاز گیاه به عناصر کودی در شرایط مختلف اقلیمی به منظور برداشت حداکثر محصول است (نصرت پور و همکاران، ۱۳۸۹). سطح اراضی قابل کشت روی زمین محدود بوده و شرایط اکولوژیکی هم، اجازهٔ کاشت هر نوع محصولی را در همه جا نمی‌دهد (لطفی آرپاچائی و همکاران، ۱۳۹۲). از سوی دیگر، با عنایت به روند رو به افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی، ضرورت دارد در جهت بهره‌گیری دائمی از این سرمایه خدادادی، به حفظ و بهره‌برداری صحیح از آن اهمیت بسیار قائل شده و به منظور حفظ و حراست از خاک‌های کشور، از اجرای پروژه‌های مطالعاتی و تحقیقاتی جهت یافتن راه حل‌های مناسب و بهینه، بهره گیریم. یکی از مهم‌ترین اهداف

کشاورزی پیشرفته، مصرف صحیح کودهای شیمیایی است. میزان مصرف این کودها بستگی به میزان حاصلخیزی خاک دارد. بدون توجه بـه میـزان حاصـلخیزی خـاک، مصـرف کودهای شیمیایی باعث به هم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک شده و مسائل زیست محیطی را به بـار مـی‌آورد. بنابراین، تهیه نقشه حاصلخیزی خاک جهت اداره و برنامـه ریزی بهتر برای استفاده از کودهای شـیمیایی ضـروری بـه نظر می‌رسد (مکرم و بردیده، ۱۳۹۱).

در تجزیه و تحلیل خاک به منظـور تولیـد محصـولات زراعی، حاصلخیزی خاک معمولاً بـیش‌تـرین توجـه را بـه خود معطوف می‌دارد. در طول سال‌های متمادی، در مناطق مختلف کشور، نمونه‌های متعددی از خاک‌هـای زراعـی و غیر زراعی تهیه شده و تجزیـه‌هـای فیزیکـی، شـیمیایی و مکانیکی بر روی آن‌ها صورت گرفته است (اعمی ازغـدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ لطفـی آرپاچـائی و همکـاران، ۱۳۹۲). این اطلاعات عملاً پس از یکبار استفاده، به بوته فراموشـی سپرده می‌شـوند، در حـالی کـه امـروزه بـا برخـورداری از امکانات رایانه ای و نیز با به‌کارگیری فناوری سیسـتم‌هـای اطلاعات جغرافیایی، با ایجاد بانک‌های اطلاعاتی مـی‌تـوان اطلاعـات و داده‌هـا را بـه صـورت زمینـی و میـدانی، جمع‌آوری، طبقه بندی و به روز رسانی نموده و بـا انجـام تحلیل‌های مکانی، اطلاعات سودمندی از وضعیت و توزیع مکانی عوامل خاکی و روند تغییـرات آنهـا بدسـت آورد و وضعیت این عوامل را به صورت نقشه ارائه نمود (نصـرت پور و همکاران، ۱۳۸۹).

برخی از این عوامل و عناصر مانند فسفر و پتاسـیم بـه دلیل نیاز مبرم گیاه و همچنین کمبود ایـن عناصـر در اکثـر خاک‌ها بیشتر از بقیه عناصر جهـت ارزیـابی حاصـلخیزی خاک مورد توجه قرار می‌گیرند (اعمی ازغدی و همکاران، ۱۳۸۹). از طرفی مقدار مواد آلی خاک بـه عنـوان یکـی از فاکتورهای موثر در حاصلخیزی خاک محسوب می‌شود. با توجه به سطح زیر کشت وسیع کشت گندم در ایـران ایـن محصول بـه عنـوان یـک محصـول اسـتراتژیک در کشـور محسوب شده و شاید بیشتر از محصولات دیگر احتیاج به ارزیابی توان تولید برای دست یابی بـه عملکـرد بـالا دارد. تأثیر مثبت پتاسیم و فسفر بر روی عملکرد محصول گنـدم توسط محققین مختلف مـورد بررسـی قـرار گرفتـه اسـت (اعمـی ازغـدی و همکـاران، ۱۳۸۹؛ لطفـی آرپاچـائی و همکاران، ۱۳۹۲). مقدار ماده آلی بـه ویـژه در خـاک‌هـای مناطق خشک و نیمه خشک، تاثیر بسزایی بر روی باروری خاک و عملکرد محصول دارد. علاوه بر اثـر آشـکار مـواد آلی بر خصوصیات فیزیکی خاک که باعث افزایش عملکرد محصـول گنـدم مـی‌شـود (Erhart *et al.,* 2005)، اثـرات مستقیم آن بر روی تامین عناصـر غـذایی مثـل نیتـروژن و فسفر نیز گزارش شده اسـت (Sing and Sherma, 2000). به دلیل اینکه عناصر موجود در خاک دارای تأثیر متفـاوتی بر روی رشد گیاه و عملکرد محصول می‌باشند، نیاز اسـت هر عنصر بر اساس درجه اهمیتش، وزن دهی شود، کـه بـه منظور تعیین این اوزان، می‌توان از فرآینـد تحلیـل سلسـله مراتبی AHP بهره جست که در سال ۱۹۸۰ توسط تومـاس ال. ساعتی پایه گذاری شده و دربرگیرنـدۀ مجموعـه ای از قضاوت‌ها و ارزش گذاری به یک شیوۀ منطقی می‌باشد، به طوری که می‌توان گفت این تکنیک از یک طـرف وابسـته به تصورات شخصی و طـرح ریـزی سلسـله مراتبـی یـک مسئله بوده و از طرف دیگر با منطق، درک و تجزیه، جهت تصمیم گیری و قضاوت نهایی مرتبط می‌شود (قدسی پور، ۱۳۹۱).

به طور سنتی، توصیه کـودی بـر اسـاس منحنـی‌هـای عکس العمل گیاه که برای یک منطقه خاص تهیه شده‌انـد، انجام می‌گیرد. توصیه کودی بر مبنای چنـین منحنـی‌هـایی زمانی کارایی دارد کـه هـر مزرعـه بـه عنـوان یـک واحـد مـدیریتی محسـوب گشـته و خـدمات مـدیریتی درآن بـه صورت یکنواخت اعمال گردد، ولـی تجربیـات نشـان داده است که عکس العمل گیاه بـه کـود و نیـز مقـدار موجـود عناصر غذایی در خاک یک مزرعه ممکـن اسـت متفـاوت باشـد. بنـابراین، توصـیه کـودی بـر اسـاس منحنـی‌هـای

عکس‌العمل در یک سیستم کشاورزی دقیق ممکن است ساده انگاری تلقی شود، درحالیکه لازمه یک سیستم کشاورزی پایدار، ایجاد یک بانک اطلاعاتی دقیق از وضعیت خاک‌های منطقه است. جمع آوری داده برای تهیه نقشه‌های مورد نیاز کشاورزی دقیق، بسیار گران تمام می‌شود، چون تهیه داده‌ها، پر هزینه و زمان بر است. توسعه تکنیک های مدرن نظیر زمین آمار، این مشکل را تا حد زیادی حل نموده و می‌توان با جمع آوری داده‌های کمتر، نقشه‌هایی با دقت منطقی تهیه نمود (Burgess and Webster, 2006). بنابراین، زمین آمار در ترکیب با GIS می‌تواند ابزاری مناسب برای تهیه نقشه‌های حاصلخیزی خاک باشد که توسط برخی محققین در بحث ارزیابی حاصلخیزی خاک، مورد استفاده قرار گرفته است (Liu et al., 2004; Mueller *et al.,* 2004; Chunfa *et al.,* 2009).

از سوی دیگر، با توجه به ماهیت ابهامی پدیده‌های مرتبط با خاک یا تقریبی بودن مقادیر اندازه گیری شده خصوصیات مختلف خاک و عدم قطعیت موجود در داده‌ها، استفاده از سامانه‌های مبتنی بر قوانین فازی رو به گسترش بوده بطوریکه محققین مختلفی قابلیت منطق فازی را در علوم خاک مانند نقشه برداری، ارزیابی و مدل کردن فرآیندهای فیزیکی به خوبی نشان دادند (McBratney *et al.,* 2000; Metternicht and Gonzalez, 2004). همچنین در زمینه حاصلخیزی خاک، می‌توان به مطالعه حاصلخیزی خاک برای کشت برنج در فیلیپین (Dobermann and Oberthur, 1998)، ارزیابی حاصلخیزی خاک در منطقه گایو چین با استفاده از تکنیک فازی و AHP در محیط GIS (Zhang *et al.,* 2004) و تعیین توابع عضویت مناسب جهت پیش بینی نقشه حاصلخیزی خاک بر اساس منطق فازی (Zhu *et al.,* 2010) اشاره کرد.

نقشه‌های حاصلخیزی خاک، امکان توصیه مقدار کودهای شیمیایی مورد نیاز را بر پایه تغییرات ساختار مکانی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه برای آن منطقه فراهم می‌آورد. امروزه نمونه برداری مرتب از خاک، بررسی میزان تغییر پذیری عناصر و به‌کارگیری نقشه‌های حاصلخیزی، در مدیریت حاصلخیزی خاک نقش مهمی دارد؛ لذا هدف از این مطالعه، ارزیابی و تهیه نقشه حاصلخیزی خاک بر اساس برخی فاکتورهای شیمیایی خاک، جهت کشت گندم با استفاده از سامانه هیبرید فازی- تحلیل سلسله مراتبی است.

مواد و روش‌ها

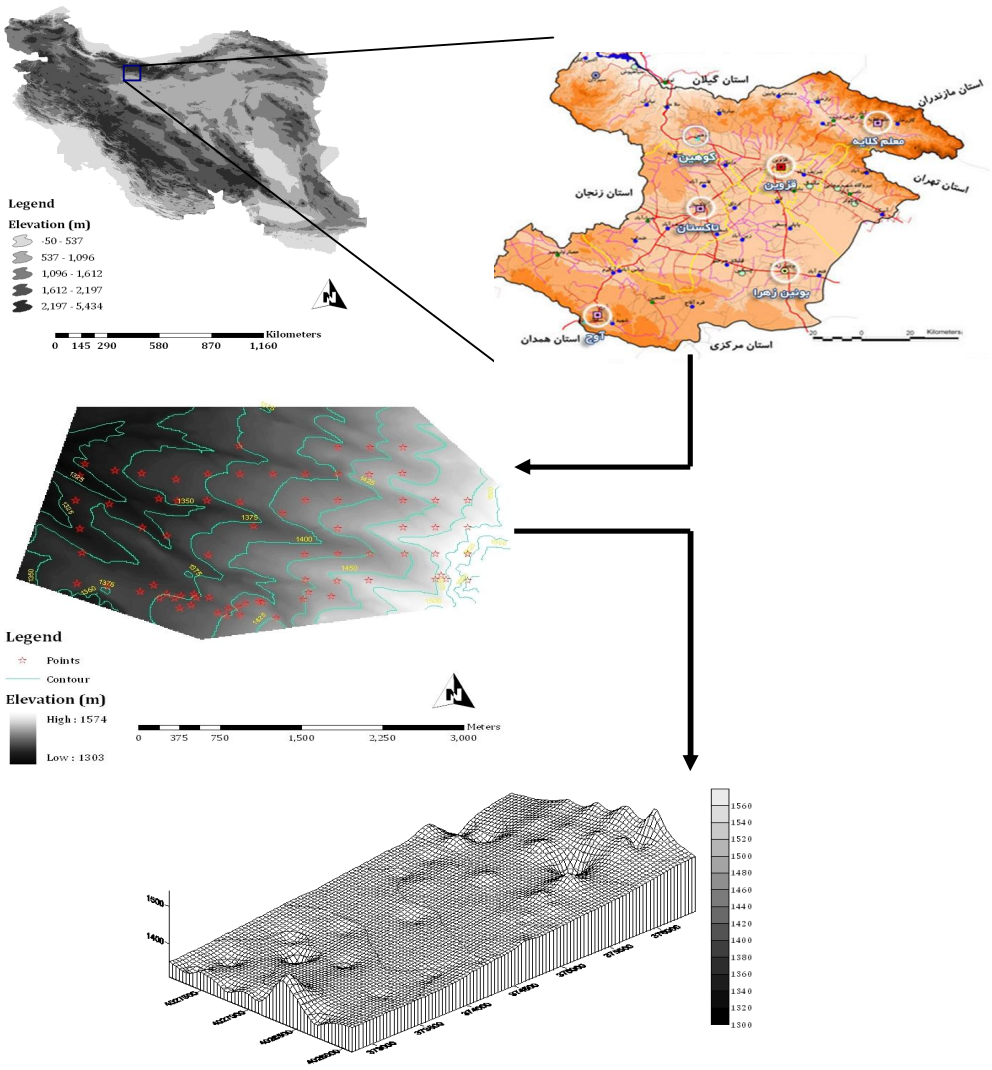
منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در منطقه کوهین واقع در شمال غربی استان قزوین انجام پذیرفت. وسعت منطقه حدود ۱۰۰۰ هکتار است و در حد فاصل عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی قرار گرفته است. دامنه تغییرات ارتفاع منطقه از ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ متر از سطح دریای آزاد متغیر است. دامنه تغییرات شیب نیز از حدود ۱ تا ۶ درصد می‌باشد. موقعیت جغرافیایی این منطقه در شکل ۱ ارائه شده است. میانگین بارندگی سالیانه ۳۲۷ میلی متر و میانگین دمای سالیانه ۱۱/۲ درجه‌سانتیگراد است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک بوده و رژیم حرارتی خاک، مزیک و رژیم رطوبتی خاک، زریک می‌باشد. خاک‌های این منطقه، بر روی رسوبات آبرفتی و مواد مادری آهکی و مارنی به وجود آمده‌اند و در رده‌های انتی‌سول و اینسپتی‌سول قرار دارند. این منطقه اغلب تحت کاربری کشت دیم می‌باشد و بیشتر اراضی منطقه مورد مطالعه، در فیزیوگرافی فلات و تراسهای فوقانی قرار گرفته‌اند.

نمونه‌برداری و جمع آوری داده‌ها

نمونه‌برداری بر اساس یک شبکه نمونه‌برداری صورت گرفت. ابعاد شبکه نمونه برداری حدود ۳۰۰ متر در ۳۰۰ متر انتخاب گردید. چند نمونه هم خارج از شبکه نمونه‌برداری برداشته شد تا نمونه‌ها موقعیت‌های مختلف فیزیوگرافی را نیز پوشش دهند. در نهایت ۷۷ نمونه خاک سطحی به شکل نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری برداشت شد؛ چرا که این عمق، عمق موثر زراعی

می‌باشد (محمودی و حکیمیان، ۱۳۸۵). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌های خاک، هوا خشک شده و پس از کوبیدن، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. خصوصیات اندازه گیری شده خاک در این مطالعه شامل مقادیر فسفر و پتاسیم قابل استفاده، ازت کل، کربن آلی، پ-هاش و ظرفیت تبادل کاتیونی بود. کربن آلی خاک به روش والکلی و بلاک (Black, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌های خاک (CEC) به روش باور (Bower *et al.*, 1952)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954)، اندازه‌گیری شدند. pH در گل اشباع تعیین شد (Gupta, 2004) و برای اندازه گیری پتاسیم قابل جذب از روش استات آمونیوم نرمال و ازت کل از روش کجلدال استفاده گردید (Jones, 2001). دامنه مقادیر خصوصیات اندازه‌گیری شده در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان قزوین و ایران (سیستم مختصات UTM)

فازی نمودن فاکتورها و انتخاب تابع عضویت فازی

تابع عضویت، مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند و در واقع تابعی که میزان درجه عضویت اعضای مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد، تابع عضویت نامیده می‌شود (اعمی ازغدی و همکاران، ۱۳۸۹). تابع عضویت در مدل فازی برای اکثر فاکتورهای خاک خطی بوده و به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود (Oberthür *et al.*, 2000):

$$\mu_A(X)=f(x)=\begin{cases}0 & x\le a\\ x-a/b-a & a<x<b\\ 1 & x\ge b\end{cases} \qquad (۱)$$

تابع بکار رفته، تابع خطی نامتقارن است که در آن b و a حدود ارزش‌های بکار رفته برای هر یک از فاکتورهای مورد مطالعه است. برای تعیین این حدود می‌توان حد بحرانی این فاکتورها را به عنوان معیار انتخاب کرد (اعمی ازغدی و همکاران، ۱۳۸۹).

حد بحرانی عنصر غذائی در خاک عبارتست از مقدار قابل جذب از آن عنصر به ترتیبی که در کمتر از آن حد احتمال پاسخ گیاه به مصرف کود زیاد می‌باشد. در ادامه با توجه به اینکه ویژگی‌های موثر در تعیین حاصلخیزی خاک در طبیعت به طور پیوسته تغییر می‌کنند، بنابراین از تابع عضویت فازی خطی نامتقارن (رابطه ۱) برای هر یک از فاکتورهای شیمیایی موثر در حاصلخیزی گندم با توجه به حد بحرانی آن‌ها استفاده شد (شکل ۲). انتخاب حدود بحرانی این توابع، با استفاده از راهنمای Sys و همکاران (۱۹۹۱) برای کشت گندم و مطابق خصوصیات منطقه در نظر گرفته شد (جدول ۲).

جدول ۱. مقادیر خصوصیات اندازه گیری شده خاک در منطقه مورد مطالعه

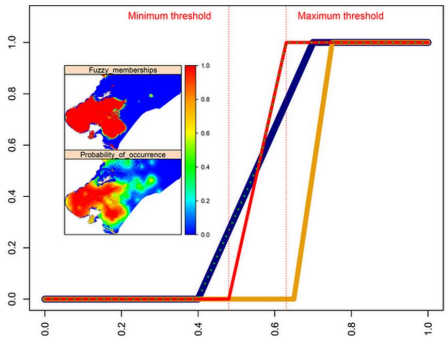
خصوصیت	واحد	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
کربن آلی	درصد	۱/۳۳	۰/۱۳	۰/٦۸	۰/۲۹	٤۲/٦٤
ازت کل	درصد	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۳	۳۷/۵
فسفر قابل جذب	Mg/kg	۲٤/۱۰	٤/۵۰	۱۱/٤۹	۵/۹٦	۵۱/۸۷
پتاسیم قابل جذب	Mg/kg	٤۱٦	٦۳/۳۰	۲۳۸/۸۵	۹۰/۵۸	۳۷/۹۲
ظرفیت تبادل کاتیونی	$Cmol^+/kg$	۲۹/٤۳	۱۷/۰۳	۲۳/۰۳	۲/۸۵	۱۲/۳۷
پ-هاش	$-Log[H^+]$	۸/۱۸	۷/٤۲	۷/۸٦	۰/۱٦	۲/۰۳

جدول ۲. مقادیر a و b تعیین شده برای فاکتورهای مورد مطالعه (Sys *et al.*, 1991)

خصوصیت	واحد	a	b
کربن آلی	درصد	۰/٤	۱
ازت کل	درصد	۰/۰۱	۰/۱
فسفر قابل جذب	Mg/kg	۵	۱۰
پتاسیم قابل جذب	Mg/kg	۱۵۰	۳۰۰
ظرفیت تبادل کاتیونی	$Cmol^+/kg$	۱٦	۲٤
پ-هاش	$-Log[H^+]$	٦	۸/۲

پیش پردازش داده‌ها و میان یابی

مدل رقومی ارتفاع منطقه، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده از سازمان نقشه برداری با فاصله خطوط تراز برابر با ۱۰ متر در محیط نرم افزار ArcGIS 10 تهیه شد. برای انجام پیش‌پردازش داده‌ها، از نرم‌افزار SigmaPlot 12.0 استفاده شد. از آنجایی که نرمال بودن توزیع آماری مقادیر فاکتورهای مورد بررسی، شرط اساسی برای استفاده از بسیاری از تخمینگرهای زمین آماری است، بنابراین نخست همه داده‌ها تحت آزمون ناپارامتری نرمالیته (کولموگروف–اسمیرنوف) و جستجوی داده‌های پرت قرار گرفتند و پس از حذف داده‌های پرت، نرمال بودن داده‌ها تایید شد و تعداد داده‌ها به ۷۷ داده کاهش یافت (محمودی و همکاران، ۱۳۹۱؛ سکوتی اسکویی، ۱۳۹۱). در این مرحله از تحقیق، ساختار فضایی عناصر و عوامل مورد بررسی با استفاده از آنالیزهای زمین آماری مطالعه شد. بدین منظور، ابتدا نیم تغییرنمای تجربی هر یک از فاکتورهای مورد بررسی، تهیه و ترسیم شده و سپس به مطالعه ویژگی‌های ساختاری عناصر و چگونگی تغییرات آن‌ها پرداخته شد. در مرحله بعد، نقشه توزیع مکانی هر یک از پارامترها با استفاده از مدل IDW[1] (عکس وزنی فاصله) جهت میان‌یابی نقاط قرار گرفته بین نقاط نمونه برداری شده و ایجاد یک سطح پیوسته، برای هر یک از پارامترهای فوق الذکر در محیط نرم افزار ArcGIS 10 تهیه شد.



شکل ۲. تابع عضویت فازی خطی نامتقارن و تعیین حدود آستانه برای فاکتورهای مورد بررسی

وزن دهی فاکتورهای مورد مطالعه با استفاده از روش AHP

برای آنکه وزن دهی معیارها و قضاوت‌ها با ذهن و طبیعت بشری مطابق و همراه باشد، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. این روش وزن دهی بر دانش کارشناسی استوار است. در این روش، ارجحیت فاکتورها نسبت به هم با روش مقایسه زوجی سنجیده می‌شود. در روش مقایسه زوجی، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر تعیین می‌گردد. سپس یک ماتریس ایجاد می‌شود که ورودی آن همان وزن‌های تعیین شده در مقایسه زوجی و خروجی آن وزن‌های نسبی مربوط به معیارها است (Malczewski, 1999). هر یک از فاکتورها بر اساس اهمیت و رجحانی که نسبت به یکدیگر دارند در محدوده ای بین ۱ تا ۹ قرار می‌گیرند (Saaty and Vargas, 2001). ماتریس مقایسات زوجی، معکوس و متقابل است. برای مقایسه زوجی پارامترها از جدول شماره ۳ که توسط ساعتی بیان شده است استفاده گردید (قدسی پور، ۱۳۹۱). تعیین این مقادیر بر اساس اهمیت آن‌ها بر روی عملکرد محصول گندم در منطقه انجام شده است. البته باید خاطر نشان نمود که تعیین این محدوده‌ها یک امر قطعی بر طبق استانداردهای تعیین شده نمی‌باشد و صرفاً نظر کارشناسی در خصوص نقش خصوصیات منتخب بر روی تولید گندم در منطقه می‌باشد. در روش AHP، از انتخاب تصادفی افراد باید پرهیز کرد (محمدیان و همکاران، ۱۳۸۸). به منظور تعیین مقادیر اوزان، از ابزار طراحی پرسشنامه استفاده گردید و در مجموع، از نظرات و دانش ۱۲ فرد خبره (۷ نفر کشاورز، ۳ نفر کارشناس جهاد کشاورزی و ۲ نفر عضو هیئت علمی) در انتساب اوزان به معیارهای مورد بررسی استفاده شد. جدول ٤ بر اساس ارجحیت ٦ فاکتور فسفر و پتاسیم قابل استفاده، ازت کل، کربن آلی، پ–هاش و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در تولید محصول گندم با توجه به مقیاس ساعتی (جدول ۳) تنظیم شده است. به عنوان مثال، با توجه به نقش و اهمیت مواد آلی در تولید محصولات کشاورزی

[1] Inverse Distance Weighting

از جمله گندم در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک، کربن آلی خاک نسبت به فسفر و پتاسیم قابل جذب، امتیاز ۲ دارد. همچنین در مقام مقایسه فسفر و پتاسیم می‌توان گفت که فسفر نسبت به پتاسیم از ارجحیت ۳ برخوردار است (جدول ٤). وزن دهی به هر یک از فاکتورهای موثر در حاصلخیزی خاک در نرم افزار Expert Choice (EC) با نرخ ناسازگاری ۰/۰۷ تعیین گردید.

جدول ۳- مقایسات زوجی معیارها بر اساس دانش کارشناس (Saaty and Vargas, 2001)

وضعیت مقایسه‌ها	مقدار عددی
کاملا ارجح	۹
ارجحیت خیلی قوی	۷
ارجحیت قوی	۵
ارجحیت کم	۳
ارجحیت یکسان	۱
ارجحیت بین فواصل فوق	۸،٦،٤،۲

جدول ٤. ماتریس مقایسات زوجی معیارهای موثر در حاصلخیزی خاک برای کشت گندم

معیارها	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	pH	N	CEC	وزن
کربن آلی	۱	۲	۲	٤	۲	۲	۰/۲۸۹
فسفر		۱	۳	٤	۱	۳	۰/۲٤۲
پتاسیم			۱	۳	۲	۲	۰/۱٦٦
pH				۱	۲	۲	۰/۰۷٦
N					۱	۳	۰/۱٥٤
CEC						۱	۰/۰۷۳

بعد از تهیه نقشه فازی برای هر یک از پارامترها، وزن‌های تهیه شده با استفاده از تکنیک AHP و از طریق رابطه ۲، در این لایه‌ها (فاکتورها) ضرب و از حاصل جمع آن‌ها، نقشه نهایی حاصلخیزی خاک تهیه شد (مکرم و بردیده، ۱۳۹۱). در این رابطه، μ تابع عضویت مربوط به هر یک از پارامترها و W وزن اختصاص داده شده به هر یک از پارامترها می‌باشد.

$$\mu_A = W_1 \times \mu_{A1} + ... + W_k \times \mu_{Ak}$$
$$\mu_A = \sum_{j=1}^{k} W_j \times \mu_{Aj(x)} \qquad x \in X \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{k} W_j = 1 \qquad W_j > 0$$

نتایج و بحث

بررسی تغییرات داده‌ها در منطقه مورد مطالعه و توصیف آماری آن‌ها

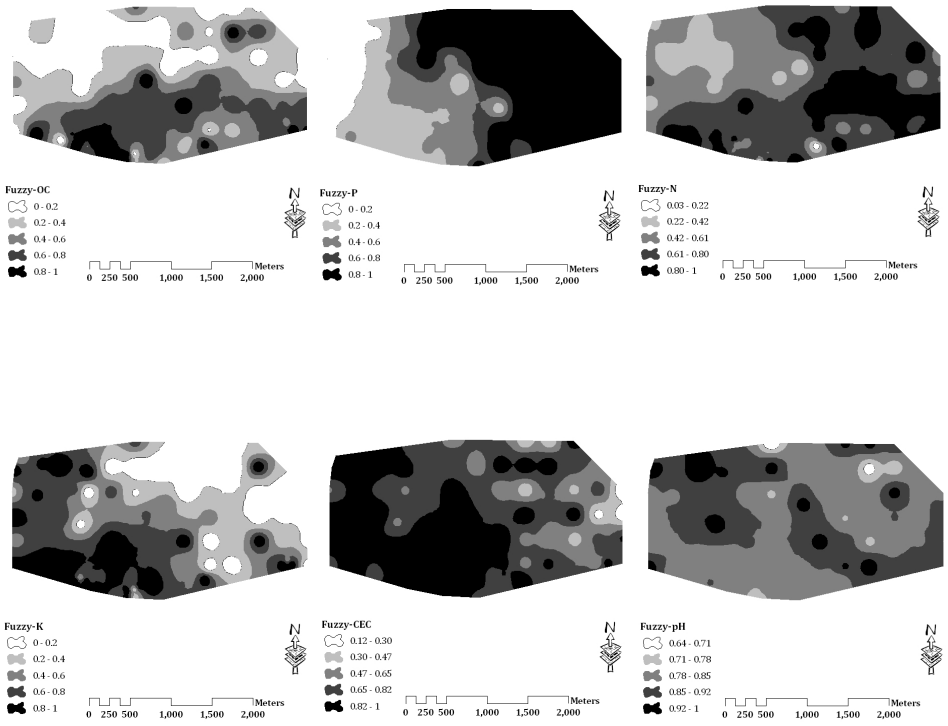
همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، برخی خصوصیات مورد مطالعه، دامنه به نسبت گسترده‌ای از تغییرات را نشان می‌دهند. دامنه تغییرات پ-هاش خاک از ۷/٤۲ تا ۸/۱۸ در ناحیه مورد مطالعه متغیر می‌باشد. میانگین کربن آلی خاک در این منطقه، کمتر از ۱ درصد است که نشان دهنده پایین بودن میزان کربن آلی خاک است. مقدار

کربن آلی خاک نیز بین ۰/۱۳ تا ۱/۳۳ درصد با میانگین ۰/٦۸ در ناحیه مورد مطالعه متغیر است. با توجه به اینکه این منطقه اغلب تحت کاربری کشت دیم می‌باشد، ضریب تغییرات کربن آلی خاک بالا بوده که می‌تواند در اثر کاربرد کود و اصلاح خاک در ناحیه مورد مطالعه باشد. معماریان فرد و بیگی هرچگانی (۱۳۸۸) نیز در نتایجی مشابه، بالا بودن ضریب تغییرات ماده آلی خاک‌ها را در نتیجه استفاده از کود و مواد اصلاحی خاک گزارش نمودند.

در عین حال بالا بودن ضریب تغییرات، بیانگر وجود تغییرات مکانی زیاد برخی خصوصیات مورد مطالعه در این ناحیه می‌باشد. ضریب تغییرات برای کربن آلی و فسفر قابل جذب بالا بوده که نشان دهنده تغییر پذیری زیاد این خصوصیات است. در مقابل فاکتورهای ازت کل و پتاسیم قابل جذب دارای ضریب تغییرات متوسطی بوده و ضریب تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی نیز نسبت به فاکتورهای دیگر، پایین می‌باشد. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل اصلی در تفاوت میزان ضریب تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک در ناحیه مورد مطالعه، هندسه نمونه برداری، فیزیوگرافی فلات و تغییرات شیب در این ناحیه باشد. تأثیر پستی و بلندی در توزیع ذرات خاک، مواد آلی و مواد غذایی به وسیله فرسایش و رسوب می‌باشد که در نتیجه آن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بالای شیب و پایین شیب تغییر می‌کنند (Pennock and Jong, 1990). از طرف دیگر، اجزای مختلف خاک که در جذب سطحی فسفر نقش دارند، شامل اکسیدهای آهن و آلومینیوم، مواد آلی، کربنات کلسیم و کانی‌های سیلیکاته خاک می‌باشند (Olsen and Khasawneh, 1980). در اکثر خاک‌های آهکی ایران که در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک تحول پیدا کرده‌اند، فسفر به مقدار زیادی به وسیله واکنش‌های جذب و رسوب در سطوح کانی‌های کربناته ابقا می‌شود (موسوی و سپهر، ۱۳۹۲). شیمی فسفر در خاک‌ها پیچیده است، چرا که فسفر معدنی می‌تواند با عناصری مانند کلسیم، آهن و آلومنیم واکنش نموده و به فسفات‌های با قابلیت انفصال مجدد تبدیل گردد. همچنین فسفر آلی می‌تواند به شکل‌های مختلف با مقاومت‌های متفاوت به تجزیه میکروبی در خاک یافت شود (محمود سلطانی و همکاران، ۱۳۹۰). لذا تغییرات به وجود آمده خصوصاً در میزان مواد آلی و آهک خاک‌های منطقه مورد مطالعه، می‌تواند باعث تفاوت در میزان فسفر قابل جذب خاک و به تبع آن، افزایش ضریب تغییرات آن باشد.

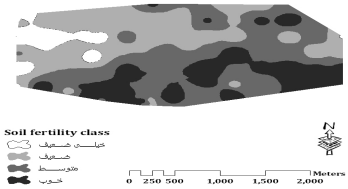
فازی سازی فاکتورهای مورد مطالعه و تهیه نقشه میان یابی آن‌ها

شکل‌های ۳ و ٤، به ترتیب نقشه‌های فازی فاکتورهای مورد بررسی و نقشه تفکیکی حاصلخیزی خاک در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. این نقشه‌ها بیانگر تغییرات پیوسته این فاکتورها در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. میزان نرخ ناسازگاری روش تصمیم گیری AHP در این مطالعه که از شش فاکتور استفاده شده، برابر با ۰/۰۷ بدست آمد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که ٦/۳۳، ۳٦، ٤۳ و ۱٦/٦۷ درصد از منطقه مورد مطالعه، به لحاظ حاصلخیزی برای کشت گندم، به ترتیب در کلاس‌های خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط و خوب قرار گرفته‌اند. در مطالعه ای که توسط لطفی آرپاچائی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور ارزیابی حاصلخیزی خاک دشت اردبیل برای کشت گندم و سیب زمینی انجام پذیرفت، نزدیک به ۷۵ درصد اراضی برای گندم و حدود ٤۰ درصد اراضی برای سیب زمینی، در کلاس حاصلخیزی خوب قرار گرفتند. همانطور که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، سطح وسیعی از خاک منطقه به لحاظ حاصلخیزی، دارای پتانسیل متوسطی برای کشت گندم می‌باشد، که در نقشه حاصلخیزی نهایی (شکل ٤) این مناطق از مناطق مناسب و خوب برای کشت گندم تفکیک شده‌اند.



شکل ۳. نقشه‌های فازی متغیرهای شیمیایی خاک

لذا می‌توان بیان کرد که استفاده از روش تلفیقی فازی و AHP در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند وضعیت حاصلخیزی این منطقه را برای کشت گندم به صورت کمی در قالب گروه‌های مختلف طبقه بندی کند که با نتایج Mueller و همکاران (۲۰۰٤)، Chunfa و همکاران (۲۰۰۹) و اعمی ازغدی و همکاران (۱۳۸۹) همخوانی دارد. در این تحقیق برای ارزیابی حاصلخیزی خاک صرفاً از پارامترهای شیمیایی خاک استفاده شده است، در صورتی که با ترکیب پارامترهای فیزیکی خاک نیز می‌توان به نتایج ملموس تر و تحلیل دقیق تر در این ارتباط دست یافت.



شکل ٤. نقشه نهایی حاصلخیزی خاک در منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به منظور ارزیابی و تعیین حاصلخیزی خاک به منظور کشت گندم، از سامانه هیبرید فازی- تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که کربن آلی خاک دارای بیش‌ترین تاثیر و سهم در میزان حاصلخیزی خاک در منطقه مورد مطالعه بوده (دارای وزن ۰/۲۸۹) و به لحاظ حاصلخیزی، بیشتر وسعت منطقه برای کشت گندم در کلاس متوسط حاصلخیزی قرار دارد. در مجموع می‌توان بیان نمود تهیه نقشه طبقه بندی (کلاس بندی) حاصلخیزی خاک می‌تواند به عنوان گام موثری در مطالعات حاصلخیزی خاک، مدیریت کودها و اراضی تحت کشت در نقاط مختلف کشور مطرح شود. این نقشه‌ها می‌توانند به وسیله کارشناسان جهت تعیین مکان‌های ویژه توزیع عناصر غذایی و تغییرات آن‌ها در موقعیت‌های مختلف اراضی مورد استفاده قرار گیرد. نتایج حاصل از روش فازی برای تعیین حاصلخیزی خاک با واقعیت نزدیک‌تر است و

پیشنهاد می‌شود که از این روش برای تعیین سایر ویژگی‌های خاک نیز استفاده گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد در سایر مطالعات حاصلخیزی خاک، نقش عامل شوری و تغییرات آن در منطقه مورد مطالعه نیز به عنوان یک عامل اصلی به همراه سایر فاکتورهای تاثیرگذار در حاصلخیزی خاک مدنظر قرار گیرد.

فهرست منابع

اعمی ازغدی، ع.، خراسانی، ر.، مکرم، م. و معزی، ع. ۱۳۸۹. ارزیابی حاصلخیزی خاک بر اساس فاکتورهای فسفر، پتاسیم و مواد آلی برای گندم با استفاده از تکنیک فازی - AHP و GIS. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲٤ (٥):۹۷۳-۹۸٤.

سکوتی اسکویی، ر. ۱۳۹۱. تغییرات زمانی و مکانی شوری آب زیرزمینی دشت ارومیه. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (٤): ۱۹-۲٦.

شهرام محمود سلطانی، ش.، دواتگر ، ن.،کاوسی، م. و دریغ گفتار، ف. ۱۳۹۰. شکل های مختلف فسفر در خاک های شالیزاری و روابط آن ها با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مورد مطالعه: خاک های شالیزاری شهرستان صومعه سرا استان گیلان). مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۱۸ (۲): ۱۵۹-۱۷٦.

قدسی پور، ح. ۱۳۹۱. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ویرایش اول، چاپ دهم، ۲۳۰ صفحه.

لطفی آرپاچائی، ز.، اسمعلی عوری، ا.، هاشمی مجد، ک. و نجفی، ن. ۱۳۹۲. ارزیابی حاصلخیزی خاک دشت اردبیل برای گندم و سیب زمینی بر اساس برخی ویژگی های شیمیایی خاک با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۱):٤٥-٥۳.

محمودی، ش. و حکیمیان، م. ۱۳۸٥. مبانی خاکشناسی. انتشارات دانشگاه تهران، ۷۰٤ صفحه.

محمودی، ج.، زارعیان، ف.، جوادی، م. ر. و خرسندی، ن. ۱۳۹۱. مقایسه کارایی چند روش زمین آماری برای تخمین برخی ویژگی های فیزیکی خاک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (٤): ٦۷-۷٦.

معماریان فرد، م. و بیگی هرچگانی، ح. ۱۳۸۸. مقایسه مدل های شبکه عصبی مصنوعی و توابع انتقالی رگرسیونی برای پیش بینی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک های استان چهارمحال و بختیاری. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(٤):۹۰-۹۹.

مکرم، م. و بردیده، م. ۱۳۹۱. ارزیابی حاصلخیزی خاک به منظور کشت گندم با استفاده از سامانه فازی و مقایسه آن با روش بولین و آزمون خاک در محیط GIS. زراعت (پژوهش و سازندگی)، ۲٥(۳ (پیاپی ۹٦)):۱۱۱-۱۲۳.

موسوی، ر. و سپهر، ا. ۱۳۹۲. بررسی کارایی فسفر ارقام مختلف جو در حضور ریزجانداران حل کننده سنگ فسفات. مجله علوم و فنون کشت های گلخانه ای، ٤ (۱٦): ۲۷-٤۰.

نصرت پور، س.، اردلان، م.، فرج نیا، ا. و اسمعلی عوری، ا. ۱۳۸۹. بررسی توزیع مکانی برخی عناصر غذایی و عوامل موثر بر حاصلخیزی خاک در اراضی شهرستان مراغه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. پژوهش های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۲۳(۲ (پیاپی ۸۷)):۱-۱۰.

Black, C.A. 1982. Method of soil analysis, Chemical and microbiological properties, American Society of Agronomy, INC, 2: 1965.

Bower, C.A., Reitmeir, R.F. and Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Science, 73: 251-261.

Burgess, T.M. and Webster, R. 2006. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: I the semi-variogram and punctual kriging. European Journal of Soil Science, 31(2): 315- 331.

Chunfa,W., Jiaping, W., Yongming, L., Limin, Z. and Stephen, D. DeGloria. 2009. Spatial Prediction of Soil Organic Matter Content Using Cokriging with Remotely Sensed Data. Soil Science Society of America Journal, 73(4): 1202-1208.

Dobermann, A. and Oberthur, T. 1998. Fuzzy mapping of soil fertility - a case study on irrigated Riceland in the Philippines. Geoderma, 77: 317-339.

Erhart, E., Hartl, W. and Putz, B. 2005. Biowaste compost affects yield, nitrogen supply during the vegetation period and crop quality of agricultural crops. European Journal of Agronomy, 23(3): 305-314.

soil quality. International Journal of Geographical Information Science, 14 (5): 431- 454.

Olsen, S.R. and Khasawneh, F.E. 1980. Use and limitation of physical-chemical criteria for assessing the state of phosphorus in soils. P 361-404, In: The Role of Phosphorus in Agriculture. (eds.), Khasawneh, F.E., Sample, E.C., and Kamprath, E.J. 361-404. Pub SSSA. Madison, WI.

Pennock, D.J. and de Jong, E. 1990. Spatial pattern of soil redistribution in Boroll landscapes, southern Saskathewan, Canada. Soil Science, 150 (6): 867- 873.

Saaty, T.H. and Vargas, L.G. 2001. Models, Methods, Concepts, and applications of the analytic hierarchy process, Kluwer Academic, 160pp.

Sing, M. and Sherma, S.N. 2000. Effect of wheat residue management practices and nitrogen rate on productivity and nutrient uptake of rice (Oryza sativa)-wheat (Triticum aestivum) cropping system. The Indian Journal of Agricultural Sciences, 70: 835-839.

Sys, C., Van Ranst, E. and Debaveye, J. 1991. Land evaluation. Part II: Methods in land evaluation. General Administration for Development Cooperation. Agri. Publ. No: 7, Brussels, Belgium, 247 pp.

Zhang, B., Zhang, Y., Chen, D., Whit, R.E. and Li, Y. 2004. A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. Geoderma, 123: 319-331.

Zhu, A.X., Yang, L., Li, B., Qin, C., Pei, T. and Liu, B. 2010. Construction of membership functions for predictive soil mapping under fuzzy logic. Geoderma, 155: 164-174.

Gupta, P.K. 2004. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios (India), 350pp.

Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC press, 384 pp.

Liu, X.M., Xu, J.M., Zhang, M.K., Huang, J.H., Shi, J.C. and Yu, X.F. 2004. Application of geostatistics and GIS technique to characterize spatial variabilities of bioavailable micronutrients in paddy soils. Environmental Geology, 46(2): 189-194.

Malczewski, J. 1999. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, 392pp.

McBratney, A.B., Odeh, I.O.A., Bishop, T.F.A., Dunbar, M.S. and Shatar, T.M. 2000. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. Geoderma, 97: 293-327.

Metternicht, G. and Gonzalez, S. 2004. Foundations of a fuzzy exploratory model for soil erosion hazard prediction. Environmental Modelling & Software, 20 (6): 715-728.

Mueller, T.G, Pusuluri, N.B., Mathias, K.K., Cornelius, P.L. and Barnhisel, R.I. 2004. Site-Specific Soil Fertility Management. Soil Science Society of America Journal, 68: 2031-2041.

Oberthür, T., Dobermann, A. and Aylward, M. 2000. Using auxiliary information to adjust fuzzy membership functions for improved mapping of soil quality. International Journal of Geographical Information Science, 14 (5): 431- 454.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ. 939. U.S. GOV. Print Office, Washington, DC.

Oberthür, T., Dobermann, A. and Aylward, M. 2000. Using auxiliary information to adjust fuzzy membership functions for improved mapping of

ISSN 2251-7480

The use of a hybrid fuzzy-AHP system on the evaluation and mapping of soil fertility

Fereydoon Sarmadian[1*] and Ali Keshavarzi[2]

1[*]) Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran, Corresponding author email: fsarmad@ut.ac.ir
2) Ph.D. student, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 04-10-2013 Accepted: 02-02-2014

Abstract

Determination of soil fertility is very important to measure fertilization. Regardless of the level of soil fertility, the improper use of chemical fertilizers, not only the quantity and quality of agricultural products would not rise up, but also it makes imposed additional costs, disturb the balance of nutrients in the soil and environmental issues are also raised. Therefore, the assessment and mapping of soil fertility is essential. In this research, the fuzzy technique and the Analytic Hierarchy Process (AHP) were used for mapping soil fertility into Geographic Information System (GIS). The amount of available soil phosphorus and potassium, total nitrogen, soil organic carbon, pH and cation exchange capacity (CEC) obtained form 77 surface soil samples were used as the input data. In the first stage, the interpolation of data was done by Inverse Distance Weighting (IDW) model into GIS. Then a fuzzy membership function was defined for each factor according to Sys guideline. Finally, the map of soil fertility was prepared by using AHP technique into Expert Choice software with an inconsistency ratio of 0.07. The results showed that soil organic carbon has the greatest impact on the soil fertility in the study area and for wheat cultivation, most area were classified into group of moderate suitable.

Keywords: GIS; hybrid system; soil chemical properties; wheat