نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۵، ص. ۱۱۲۹-۱۱۱۴

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 4, Sept.-Oct. 2016, p. 1114-1129

افزایش کارایی نقشه حاصلخیزی خاک برای کشت برنج با استفاده از منطق فازی، AHP و GIS

جواد سیدمحمدی[1*]- لیلا اسماعیل‌نژاد[2]- حسن رمضانپور[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۲۰

چکیده

افزایش عملکرد گیاهان زراعی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ویژگی‌های خاک همچون عناصر غذایی موجود در آن است. تعیین درجه حاصلخیزی خاک برای مشخص کردن میزان کوددهی بسیار مهم بوده و بدون توجه به این موضوع، مصرف کودهای شیمیایی، نه تنها باعث افزایش عملکرد محصولات کشاورزی نمی‌شود، بلکه باعث تحمیل هزینه‌های اضافی، به هم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک و مسائل زیست محیطی می‌گردد. بنابراین تهیه نقشه حاصلخیزی و تعیین درجه آن ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی منطق فازی برای تهیه نقشه‌ها در علوم مختلف به‌ویژه علوم خاک به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا انتظار می‌رود باعث افزایش کارایی نقشه‌های حاصلخیزی خاک برای محصولات کشاورزی مختلف گردد. در این مطالعه تلاش شده است تا با تهیه نقشه حاصلخیزی خاک در نواحی مرکزی استان گیلان، با استفاده از منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم‌افزار ArcGIS وضعیت منطقه از نظر حاصلخیزی برای گیاه برنج ارزیابی شده و دقت نقشه مربوطه با استفاده از این روش‌ها نسبت به روش‌های سنتی افزایش یابد. جهت نیل به اهداف، مقادیر کربن آلی، فسفر و پتاسیم خاک که از ۱۱۷ نقطه مورد مطالعه اخذ شده بود، وارد مدل شدند. ابتدا درون‌یابی این نقاط برای هر سه پارامتر با استفاده از روش کریجینگ در محیط GIS[4] انجام شد. سپس برای هر یک از پارامترهای مورد مطالعه با تعریف تابع عضویت S شکل، نقشه فازی تهیه گردید. پس از تعیین تابع عضویت، نقشه‌های مربوط به هر سه پارامتر با استفاده از AHP[5] وزن‌دار شده و از روی هم اندازی لایه‌ها، نقشه حاصلخیزی خاک تهیه شد. مقایسه نقشه فازی و نقشه تهیه شده به روش بولین با استفاده از مقادیر پارامترها در نقاط نمونه‌برداری مجدد برای کنترل دقت نقشه‌ها نشان داد که منطق فازی با AHP می‌تواند با افزایش دقت و کارایی نقشه، در استفاده بهینه از کودها مؤثر باشد. همچنین مقادیر معیارهای واریانس نسبی و ضریب توجیه‌پذیری نشان داد که نقشه فازی، تغییرات پارامترها را به خوبی تفکیک کرده است.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی، فازی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، نقشه حاصلخیزی

مقدمه

با توجه به افزایش سریع جمعیت کشور، نیاز به تولید بیشتر مواد غذایی احساس می‌گردد. مناسب‌ترین روش برای تحقق این موضوع مهم افزایش تولید در واحد سطح است. تأمین بیشتر غذا و سایر منابع محیطی با حفظ منابع زیستی برای آیندگان تنها در سایه بهینه‌سازی بهره‌برداری از خاک امکان‌پذیر خواهد بود. در بین فاکتورهای مؤثر در کشاورزی، اضافه کردن متعادل کودها بیشتر از فاکتورهای دیگر در افزایش تولید محصولات کشاورزی مؤثر است. با توجه به این مسأله، تعیین درجه حاصلخیزی خاک برای برنامه‌ریزی بهتر جهت استفاده از کودها و بهره‌برداری از خاک ضروری است (۱ و ۱۰). در تجزیه و تحلیل خاک به منظور تولید محصولات زراعی، حاصلخیزی خاک معمولاً بیشترین توجه را به خود معطوف می‌دارد. در طول سال‌های متمادی، در مناطق مختلف کشور، نمونه‌های متعددی از خاک‌های زراعی و غیر زراعی تهیه شده و تجزیه‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی بر روی آنها صورت گرفته است. این اطلاعات در عمل پس از یکبار استفاده، به بوته فراموشی سپرده می‌شوند، در حالی‌که امروزه با برخورداری از امکانات رایانه‌ای و نیز با به کارگیری فناوری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، با ایجاد بانک‌های اطلاعاتی می‌توان

۱- دانشجوی دکترای مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: Seyedmohammadi.javad@gmail.com)
۲- دانشجوی دکترای مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
۳- دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان
4- Geographic Information System
5- Analytic Hierarchy Process

اطلاعات و داده‌ها را به صورت زمینی و میدانی، جمع‌آوری، طبقه‌بندی و به روز رسانی نموده و با انجام تحلیل‌های مکانی، اطلاعات سودمندی از وضعیت و توزیع مکانی عوامل خاکی و روند تغییرات آنها بدست آورد و وضعیت این عوامل را به صورت نقشه ارائه نمود (۱۰ و ۱۶).

عناصری مانند ازت، فسفر و پتاسیم به دلیل نیاز مبرم گیاه و همچنین کمبود این عناصر در اکثر خاک‌ها بیشتر از بقیه عناصر جهت ارزیابی حاصلخیزی خاک مورد توجه قرار می‌گیرند. از طرفی مقدار ماده آلی خاک به عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر در حاصلخیزی خاک محسوب می‌شود (۱۶). با توجه به این که سطح وسیعی از مناطق شمال کشور زیر کشت برنج می‌باشد، گیاه برنج به عنوان یکی از محصولات استراتژیک در کشور محسوب شده و بیشتر از محصولات دیگر نیاز به ارزیابی توان تولید برای دست یافتن به عملکردهای بیشتر در مناطق شمال کشور دارد. تأثیر مثبت پتاسیم، فسفر و ماده‌آلی بر روی عملکرد محصول برنج به لحاظ تامین عناصر غذایی توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (۷ و ۹).

با توجه به عدم یکنواختی در خاک‌های یک منطقه به دلیل منشاء تشکیل آنها و استفاده غیراصولی از کودها، توان تولید آن‌ها برای یک محصول متفاوت خواهد بود. لذا برای بررسی دقیق، نیاز به تفکیک این مناطق به طرق مختلف به عنوان مثال به صورت یک نقشه می‌باشد (۱). برای بسیاری از متخصصان این نکته محرز شده است که اداره و برنامه‌ریزی کشت با استفاده از روش‌ها و ابزارهای سنّتی، اگر غیرممکن نباشد دست کم با اتلاف وقت و انرژی بسیاری همراه است. مدل فازی یکی از مدل‌های دقیقی است که جهت تهیه انواع نقشه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل نیاز به پارامترهای کمتری داشته و همچنین با توجه به کاهش هزینه و وقت، از دقت بیشتری برای تهیه نقشه برخوردار است (۸، ۹ و ۱۵). لذا می‌توان از این مدل جهت تهیه نقشه حاصلخیزی خاک استفاده کرد. با توجه به این که عوامل مؤثر در حاصلخیزی خاک دارای یک اثر پیوسته بر روی عملکرد گیاه می‌باشد بنابراین بررسی آنها با استفاده از روش‌های سنتی منجر به نتایج مبهم و غیرمنطبق با واقعیت می‌شود در نتیجه استفاده از مدل فازی به عنوان یک روش مفید برای تهیه نقشه حاصلخیزی خاک پیشنهاد می‌شود (۱۵). به دلیل اینکه پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک دارای تأثیر متفاوتی بر روی رشد گیاه می‌باشند، نیاز است هر کدام بر اساس درجه اهمیتی که دارند، وزن‌دهی شوند که برای این منظور از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده می‌شود (۱). این سیستم یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیاردهی چندگانه است. این روش، دربرگیرندهٔ مجموعه‌ای از قضاوت‌ها و ارزش‌گذاری به یک شیوهٔ منطقی می‌باشد، به‌طوری‌که می‌توان گفت این فن از یک طرف وابسته به تصورات کارشناسی و طرح‌ریزی سلسله مراتبی یک مسئله بوده و از طرف دیگر با منطق، درک و تجزیه، جهت تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی مرتبط می‌شود (۶). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ال ساعتی مطرح گردیده و توسط ساعتی و وارگز در سال ۲۰۰۱ توسعه پیدا کرده است (۱۳).

سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان یک فناوری رایانه محور و همچنین استفاده از منطق فازی، در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از متخصصان رشته‌های مختلف را به خود معطوف ساخته است. تا آنجا که در سال‌های اخیر پژوهش‌های مختلفی در زمینهٔ‌های متنوع مربوط به خاک از طریق فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به کاربرد گسترده آنها در ارزیابی تناسب اراضی اشاره نمود. همچنین مطالعات زیادی در زمینه حاصلخیزی خاک با استفاده از تکنیک فازی انجام شده است. دوبرمن و اوبرتور (۵) با دو مدل فازی و دو ارزشی، حاصلخیزی خاک برای کشت برنج در فیلیپین با استفاده از اطلاعات ۳۸۴ مزرعه در مساحت ۱۹ هکتار مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که ۹۷ درصد از خاک منطقه مورد مطالعه دارای کمبود عناصر فسفر، پتاسیم و روی است. اوبرتور و همکاران (۱۲) با بکارگیری روش فازی، حاصلخیزی خاک را مورد بررسی قرار دادند. داده‌های ورودی در این مطالعه شامل مقدار ماده‌آلی و پتاسیم بود. نتایج نشان داد که استفاده از تابع عضویت فازی به منظور تعیین طبقات حاصلخیزی خاک از دقت خوبی برخوردار است. مطالعه‌ای توسط زانگ و همکاران (۱۸) در حدود ۸۱ هزار هکتار از اراضی منطقه گایو چین برای ارزیابی کمی حاصلخیزی خاک جهت کشت محصولات عمده زراعی با استفاده از روش فازی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS انجام شد و نتایج با روش سنتی وزارت کشاورزی چین مقایسه گردید. نهایتاً استفاده از مدل فازی به همراه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در تعیین حاصلخیزی خاک از دقت خوبی برخوردار بوده است. زو و همکاران (۱۹) در پژوهشی از توابع عضویت فازی برای افزایش دقت نقشه حاصلخیزی خاک استفاده کردند و به نتایج قابل توجهی رسیدند به طوری‌که کاربرد توابع فازی باعث افزایش دقت نقشه حاصلخیزی منطقه مطالعاتی شده بود. کوئن (۹) در مطالعه‌ای نقشه حاصلخیزی خاک فازی و نقشه الگوریتم خوشه‌بندی فازی را مورد مقایسه قرار داده و نقشه عملکرد محصول را نیز تهیه کرد و از همپوشانی نقشه‌ها با نقشه عملکرد به این نتیجه رسید که نقشه حاصلخیزی فازی به دلیل همپوشانی بیشتر دارای دقت زیادی است. دواتگر و همکاران (۳) از الگوریتم خوشه‌بندی فازی برای تهیه نقشه حاصلخیزی در اراضی برنج‌زار شهرستان صومعه‌سرا استفاده کردند ایشان نتیجه گرفتند که استفاده از مدل فازی در خوشه‌بندی منطقه مورد مطالعه در ارائه نقشه مناسب برای مدیریت تغذیه خاک و گیاه مؤثر بوده است. صالحی و همکاران (۱۵) نقشه حاصلخیزی خاک برای کشت برنج را در اراضی شالیزاری شهرستان

جویبار مازندران با استفاده از منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تهیه کردند آنها گزارش کردند که نقشه به دست آمده به دلیل استفاده از توابع عضویت فازی و وزن‌دهی به پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی با واقعیت تطابق بیشتری دارد.

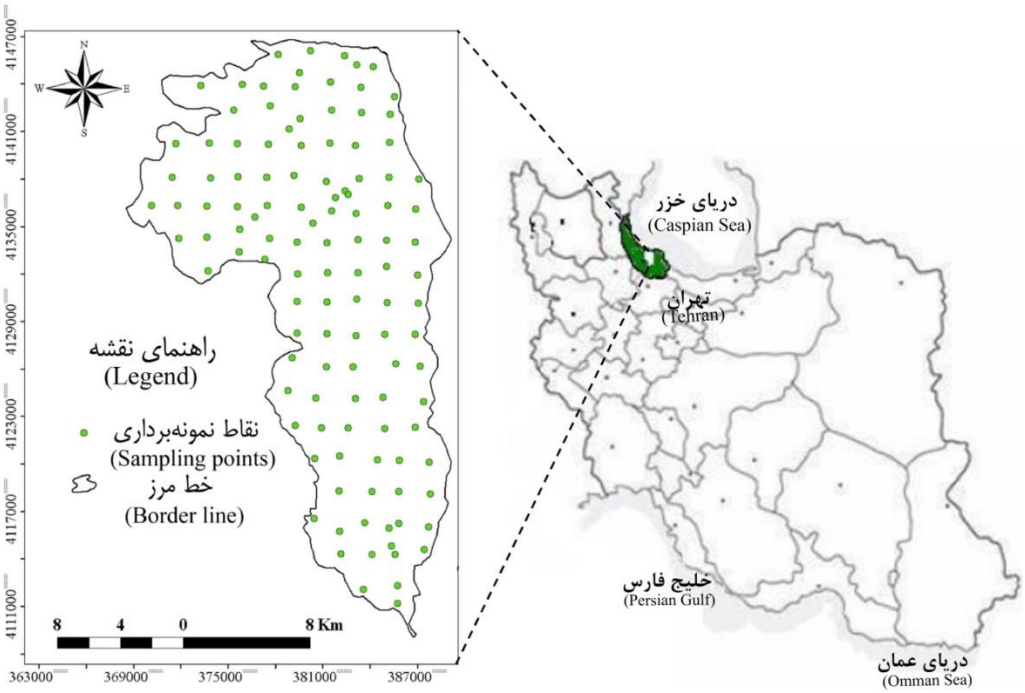
هدف از این مطالعه تهیه نقشه حاصلخیزی خاک برای کشت برنج بر اساس پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی شامل ماده آلی، فسفر و پتاسیم در نواحی مرکزی گیلان با استفاده از منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بوده و همچنین مقایسه نقشه فازی به دست آمده با نقشه تهیه شده به روش بولین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به وسعت حدود ۴۰۰۰۰ هکتار جزء اراضی کشاورزی نواحی مرکزی استان گیلان در محدوده سد سنگر رشت تا ساحل دریای خزر بوده و در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه واقع شده است (شکل ۱). مراحل پژوهش در شکل ۲ آورده شده است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، محدوده مطالعاتی استخراج شد. در این تحقیق در مجموع ۱۱۷ نقطه مطالعاتی اولیه و ۱۵ نقطه کنترل مورد بررسی قرار گرفت. طول و عرض جغرافیایی نقاط مورد مطالعه توسط دستگاه موقعیت‌یاب جهانی تعیین شد. سپس از هر نقطه یک نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد و پس از خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برای انجام آزمایش‌های مختلف آماده گردید. جهت تعیین فسفر از روش عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم، کربن آلی روش واکلی و بلک اصلاح شده و پتاسیم قابل استفاده از روش استات آمونیوم نرمال و خنثی استفاده گردید (۲).

جهت تهیه نقشه‌های فازی نیاز به توابع عضویت می‌باشد. تابع عضویت تابعی است که میزان درجه عضویت اعضای مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد. در مدل فازی برای پارامترهای مؤثر حاصلخیزی خاک شامل کربن‌آلی، فسفر و پتاسیم تابع عضویت S شکل[1] استفاده شد چون به نظر می‌رسد به دلیل تغییرات بطئی و منحنی‌وار ویژگی‌های خاک این تابع نتایج بهتری می‌تواند، ارائه نماید. تابع عضویت S شکل به صورت معادله ۱ تعریف می‌شود.

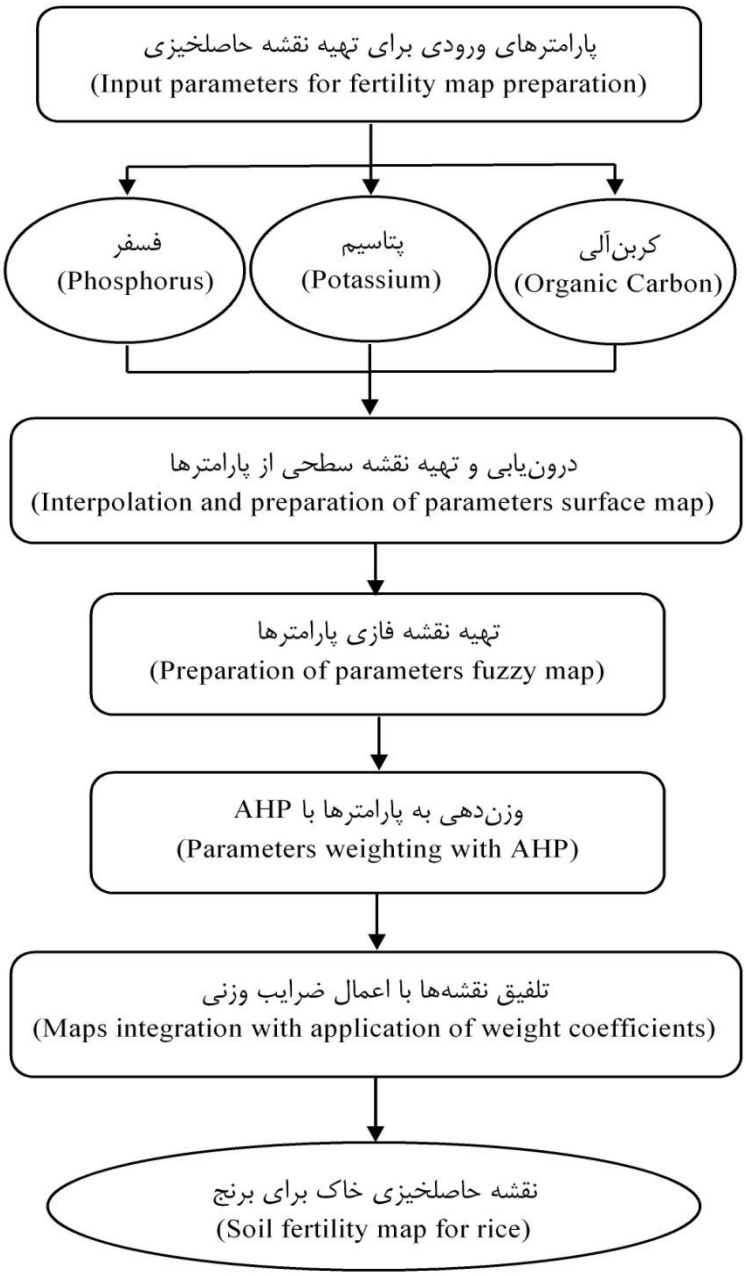
$$\mu_A(X)=f(x)=\begin{cases}0 & x\le a\\ 2\left[\frac{x-a}{b-a}\right]^2 & a<x\le\frac{a+b}{2}\\ 1-2\left[\frac{x-b}{b-a}\right]^2 & \frac{a+b}{2}\le x<b\\ 1 & x\ge b\end{cases} \quad (۱)$$



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه‌برداری

Figure 1- Location of study area and distribution of sampling points

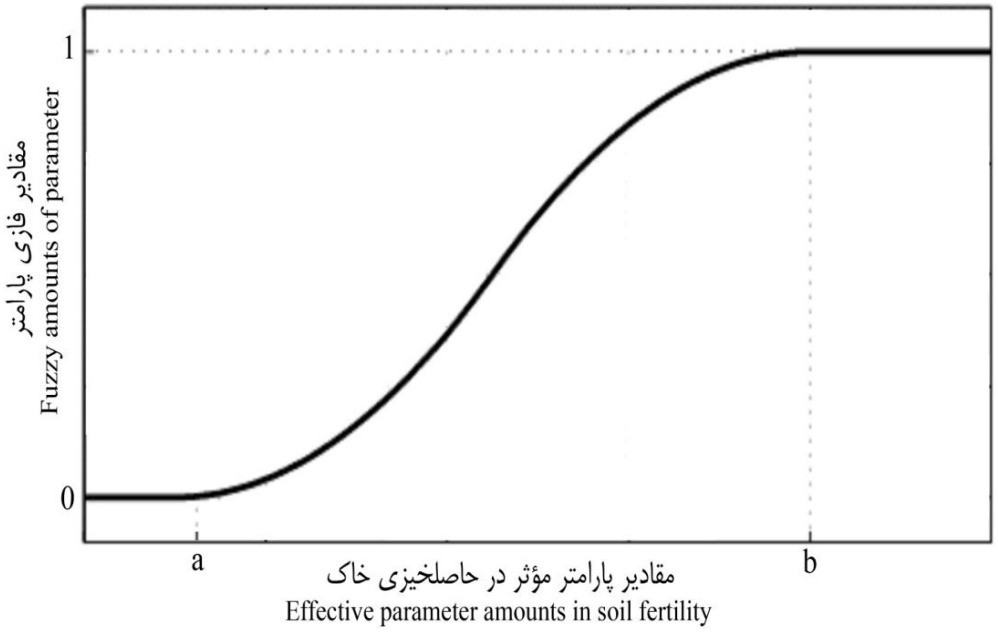
1- S-shape membership function



شکل ۲- مراحل انجام پژوهش

Figure 2- Research operation stages

حدود a و b در تابع فوق (شکل ۳) ارزش‌های بکار رفته برای هر یک از پارامترهای مورد مطالعه است. برای تعیین این حدود می‌توان حد بحرانی (a) و حد مطلوبیت (b) این پارامترها را به عنوان معیار انتخاب کرد. 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 و حد مطلوبیت حدی است که بیشتر از آن گیاه به غلظت عنصر مورد نظر واکنش افزایش عملکرد نشان نمی‌دهد یا عکس‌العمل گیاه خیلی کم است یعنی نیازی به افزایش کود در خاک نیست. در این تحقیق از مقادیر ارائه شده در جدول ۱ برای حدود a و b در تابع عضویت هر کدام از پارامترها استفاده شد (۴ و ۷).



شکل ۳- تابع عضویت مورد استفاده

Figure 3- Used membership function

جدول ۱- مقادیر a و b پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک (٤ و ۷)

Table 1- Parameters effective a and b amounts in soil fertility (4, 7)

پارامتر (Parameter)	a	b
کربن آلی (Organic carbon (%))	0.5	1.5
فسفر (Phosphorus (ppm))	10	15
پتاسیم (Potassium (ppm))	110	180

ابتدا نقشه اولیه با روش کریجینگ برای درون‌یابی نقاط قرار گرفته بین نقاط نمونه‌برداری شده و ایجاد یک سطح پیوسته، برای هر یک از پارامترهای فوق‌الذکر تهیه شده، سپس نقشه‌های فوق بر اساس تابع عضویت ذکر شده به نقشه‌های فازی تبدیل شدند. برای آنکه وزن‌دهی معیارها و قضاوت‌ها با ذهن و طبیعت بشری مطابق و همراه باشد، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. این روش وزن‌دهی بر دانش کارشناسی استوار است. در این تحقیق به دلیل اینکه هر یک از ویژگی‌های خاک دارای تأثیر متفاوتی روی حاصلخیزی خاک هستند و پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک بیش از یک مورد است برای این که ارجحیت فاکتورها نسبت به هم سنجیده شوند از مقایسه دوتایی استفاده شد. برای مقایسه دوتایی پارامترها بصورت طبقه‌بندی کمی بین ۱ تا ۹ از جدول ۲ که توسط ساعتی بیان شده است، استفاده گردید (۱۳). با توجه به اینکه هر یک از پارامترها تأثیرهای متفاوتی بر روی حاصلخیزی خاک دارند. این تفاوت در تأثیرگذاری بر اساس ارجحیت پارامترها به هم نشان داده می‌شود. با تاکید بر این نکته که تعیین این محدوده یک امر قطعی بر اساس استانداردهای تعیین شده نیست بلکه یک نظر کارشناسی است.

پس از تهیه نقشه فازی برای هر یک از پارامترها و وزن‌های به دست آمده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، وزن پارامترها در نقشه فازی به دست آمده بر اساس معادله ۲ اعمال شده و از تلفیق آنها در محیط GIS نقشه حاصلخیزی خاک برای گیاه برنج در منطقه مورد مطالعه تهیه شد.

$$\begin{cases} \mu_A(X) = f(x) = w_1.\mu_{A1} + \cdots + w_k.\mu_{Ak} \\ \mu_A(X) = \sum_{j=1}^{k} w_j.\mu_{Aj(x)} \qquad x \epsilon X \\ \sum_{j=1}^{k} w_j = 1 \qquad w_j > 0 \end{cases} \qquad (۲)$$

جدول ۲- مقیاس بنیادی برای مقایسه‌های دو به دو
Table 2- Basic scale for pairwise comparisons

شدت اهمیت (Intensity of importance)	تعریف (Definition)
1	یکسان (Equal importance)
2	یکسان تا متوسط (Equal to moderate importance)
3	متوسط (Moderate importance)
4	متوسط تا قوی (Moderate to strong importance)
5	قوی (Strong importance)
6	قوی تا خیلی قوی (Strong to very strong importance)
7	خیلی قوی (Very strong importance)
8	خیلی قوی تا فوق‌العاده قوی (Very to extremely strong)
9	فوق‌العاده یا به شدت قوی (Extreme importance)

$\mu_A(x)$ تابع عضویت مربوط به هر یک از پارامترها و w وزن اختصاص داده شده به هر کدام از پارامترها است.

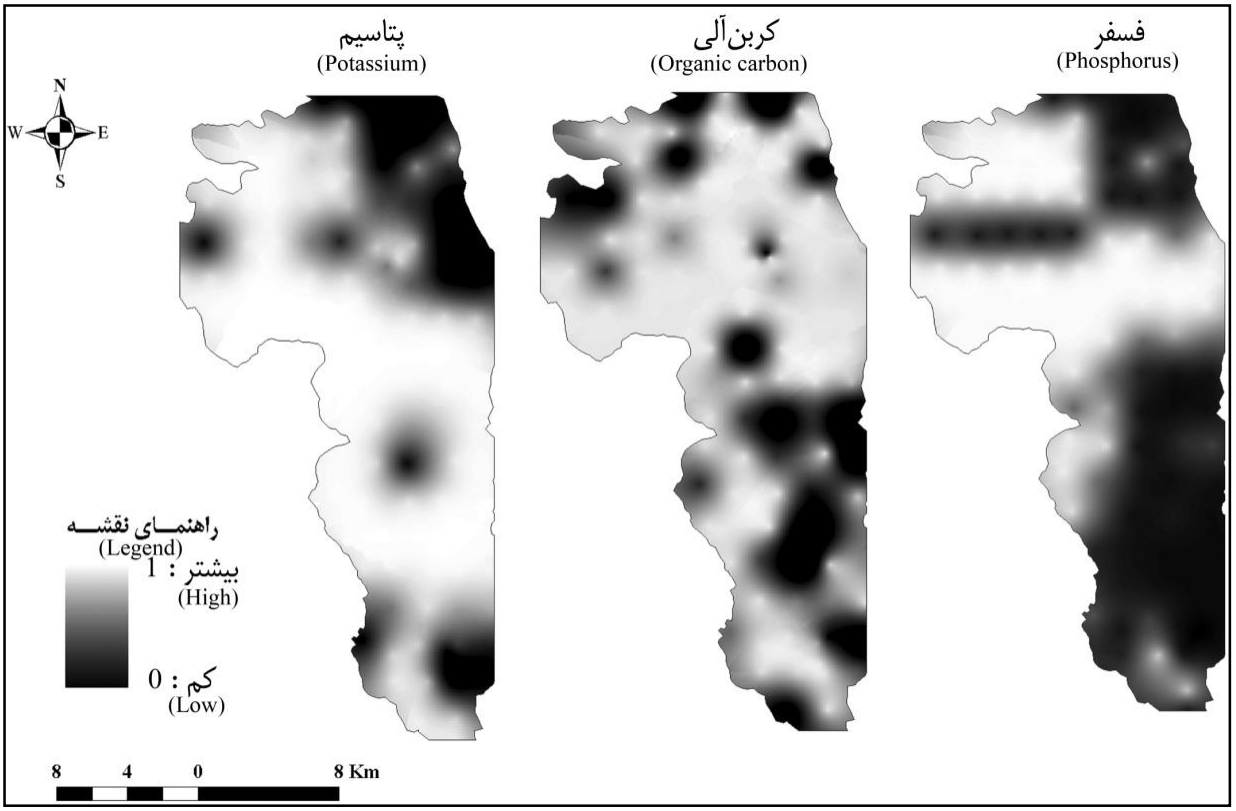
برای ارزیابی و کنترل دقت نقشه‌های حاصلخیزی تهیه شده، از نقاط نمونه‌برداری مجدد استفاده شد. همچنین برای بررسی دقت تفکیک گروه‌های حاصلخیزی در روش فازی از معیارهای واریانس نسبی و ضریب توجیه‌پذیری استفاده گردید. واریانس نسبی از تقسیم مقدار میانگین مربعات داخل گروهی به میانگین مربعات کل و ضریب توجیه‌پذیری از تقسیم مقدار میانگین مربعات بین گروهی به میانگین مربعات کل به دست می‌آید (۱۴).

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های آماری پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به مقادیر حداقل پارامترها، به نظر می‌رسد برخی اراضی منطقه مورد مطالعه از نظر حاصلخیزی خاک دچار مشکل باشد. بنابراین تهیه نقشه حاصلخیزی خاک منطقه، این نواحی را مشخص خواهد نمود و با ارائه گروه‌های حاصلخیزی مشخص، در مدیریت تغذیه گیاه و خاک مفید خواهد بود. برای این منظور داده‌های پارامترها وارد محیط GIS شدند. ابتدا با استفاده از روش کریجینگ نقشه درون‌یابی پارامترها تهیه شد که این نقشه‌ها با توجه به محدودیت حجم مقاله آورده نشده است. کریجینگ یک تخمین‌گر زمین‌آماری است که به دلیل واریانس ناریب و حداقل، در اغلب موارد به عنوان بهترین تخمین‌گر خطی ناریب شناخته شده است. بررسی‌های انجام شده نشان داده‌اند که روش کریجینگ با در نظر گرفتن ساختار و تغییرپذیری مکانی متغیرها از طریق نیم‌تغییرنما، نسبت به روش‌هایی همانند عکس فاصله وزن‌دار و اسپلین‌ها در اکثر شرایط برتری دارد. همچنین علاوه بر درون‌یابی و تخمین متغیر هدف، مقدار خطا را نیز برآورد می‌کند (۱۷). سپس با اعمال معادله ۱ (تابع عضویت) بر پارامترهای مورد مطالعه و با توجه به این نکته که مقادیر فازی پارامترها بین صفر و یک به صورت پیوسته تغییر می‌کند، نقشه فازی آنها به طور مجزا تهیه گردید (شکل ۳). همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد شکل ۳ نشانگر تغییرات پیوسته این پارامترها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. رنگ سفید حد بیشتر مقادیر پارامترها را نشان می‌دهد و در واقع نشانگر مناطقی هستند که مقدار فاکتورهای مورد مطالعه از حد مطلوبیت (b) بیشتر است و رنگ سیاه نشان‌دهنده مناطقی هستند که مقدار این پارامترها از حد بحرانی (a) کمتر می‌باشد و مناطق بین این دو حالت با رنگ خاکستری با شدت‌های متفاوت نشان داده شده است.

جدول ۳- برخی ویژگی‌های آماری پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک
Table 3- Some of effective parameters statistical properties on soil fertility

پارامتر (Parameter)	حداقل (Min)	حداکثر (Max)	میانگین (Mean)
کربن آلی (Organic carbon (%))	0.2	7.98	2.21
فسفر (Phosphorus (ppm))	1.3	56	17.29
پتاسیم (Potassium (ppm))	40	258	174.46



شکل ۳- نقشه‌های فازی پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک

Figure 3- Fuzzy maps of effective parameters on soil fertility

نقشه‌های ایجاد شده در مرحله بعد، بر اساس درجه اهمیت‌شان در حاصلخیزی با استفاده از دانش کارشناسی و اعمال نسبت بر اساس جدول ارائه شده توسط ساعتی (جدول ۲)، با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی شدند. برای به دست آوردن وزن‌های مناسب بایستی مقدار شاخص سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد (۶) که مقدار این شاخص در مقایسه پارامترهای مورد مطالعه در این تحقیق حدود ۰/۰۸ به دست آمد که نشان‌دهنده سازگاری و انتخاب مناسب نسبت‌ها در ماتریس مقایسه دوبه دو می‌باشد. مقادیر ماتریس مقایسه دودویی پارامترها و ضریب وزنی آنها در جدول ۴ ارائه شده است. در نهایت لایه‌های وزن‌دهی شده پارامترها با یکدیگر تلفیق شده و نقشه نهایی حاصلخیزی خاک تهیه شد (شکل ۴ نقشه الف). تغییرات رنگ از سفید به سیاه نشان دهنده شرایط خوب به ضعیف از نظر حاصلخیزی خاک جهت کشت برنج بر مبنای پارامترهای فسفر، پتاسیم و کربن آلی می‌باشد. نتایج حاصله نشان می‌دهد (جدول ۵) که حدود ۲۲/۹ درصد از خاک منطقه مورد مطالعه دارای حاصلخیزی خیلی زیاد، ۲۷/۷ درصد دارای حاصلخیزی زیاد، ۳۵/۵۳ درصد دارای حاصلخیزی متوسط، ۱۰/۴۸ درصد دارای حاصلخیزی کم و ۳/۳۹ درصد دارای حاصلخیزی خیلی کم برای کشت برنج هستند. بدین ترتیب یک نقشه تفکیکی جهت ارزیابی حاصلخیزی خاک برای کشت گیاه برنج در منطقه مورد مطالعه تهیه شد.

برای بررسی کارایی مدل فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در افزایش دقت نقشه حاصلخیزی خاک منطقه، نقشه حاصلخیزی خاک به روش بولین نیز تهیه شد (شکل ۴ نقشه ب). منطق بولین یک منطق دو ارزشی می‌باشد و هیچ ارزشی بین آن دو ارزش در نظر نمی‌گیرد. در هر نقطه مورد مطالعه، پارامتری که مقدار آن از حد بحرانی کمتر است طبق منطق بولین به عنوان عامل محدود کننده بوده و آن نقطه غیرحاصلخیز می‌باشد. بر این اساس خاک‌های منطقه به دو گروه حاصلخیز و غیرحاصلخیز دسته‌بندی می‌شوند. بررسی دقیق نقشه تهیه شده به روش بولین در محیط GIS نشان داد که حدود ۵۸/۸۸ درصد منطقه حاصلخیز و ۴۱/۱۲ درصد دارای خاک غیرحاصلخیز می‌باشد (جدول ۵).

مقایسه نقشه ترکیبی به دست آمده از دو روش فازی و بولین (شکل ۵) نشان داد که دو نقشه فوق همپوشانی زیادی ندارند، بنابراین بررسی دقت هر دو نقشه ضروری است. برای این منظور ۱۵ نمونه خاک مجدد از منطقه تهیه شد که در کل منطقه پراکنش داشتند (شکل ۵). پارامترهای مورد نظر در حاصلخیزی خاک در این پژوهش در نمونه‌های مجدد برداشته شده برای کنترل دقت نقشه‌ها تجزیه شدند که نتایج در جدول ۶ ارائه شده است. برای کنترل نقشه فازی،

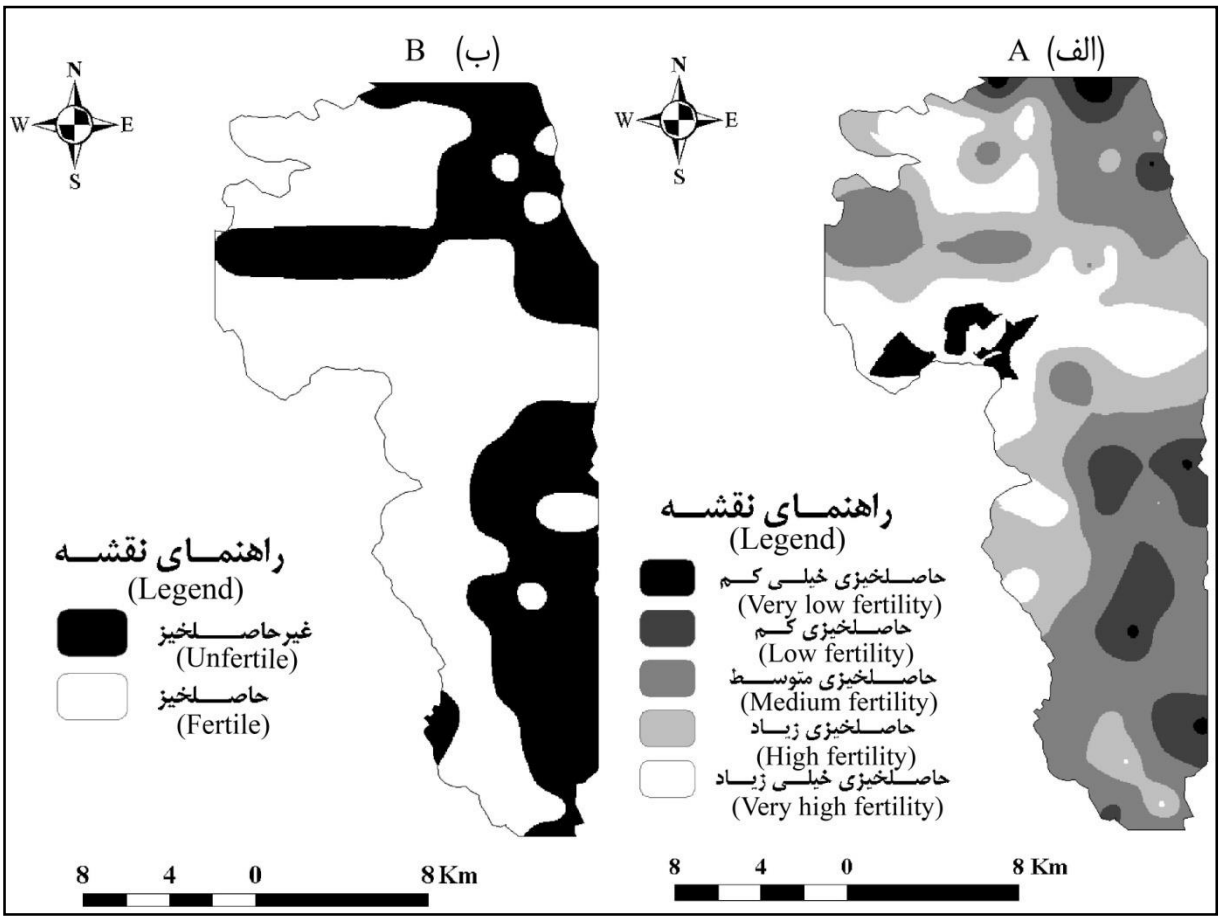
مقدار عدد فازی نمونه‌ها با توجه به رابطه ۳ برآورد شد، در این رابطه مقدار فازی هر پارامتر با استفاده از تابع عضویت (معادله ۱) تعیین و با اعمال وزن هر پارامتر به مقدار فازی آن، عدد فازی نمونه محاسبه شد (۱۱)، سپس گروه حاصلخیزی نمونه با توجه به جدول ۷ مشخص گردید و با نقشه فازی (شکل ۴ نقشه الف) مقایسه انجام گرفت. از ۱۵ نقطه کنترل فقط ۲ نقطه با نقشه فازی تطابق نداشت و ۱۳ نقطه، گروه‌های حاصلخیزی نقشه فازی را تأیید کرد با توجه به این مورد دقت نقشه حدود ۸۷ درصد می‌باشد.

برای ارزیابی نقشه بولین، در نمونه خاک هر پارامتری که مقدار آن کمتر از حد بحرانی باشد آن پارامتر محدود کننده خواهد بود و حاصلخیزی یا غیرحاصلخیزی را مشخص خواهد کرد. با توجه به این موضوع گروه حاصلخیزی نمونه‌ها در روش بولین مشخص شد (جدول ۷) همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود ۶ نمونه از ۱۵ نمونه خاک کنترلی با نقشه تهیه شده به روش بولین (شکل ۴ نقشه ب) همخوانی نداشت و دقت نقشه حدود ۶۰ درصد برآورد گردید.

جدول ٤- ماتریس مقایسه‌های دو به دویی پارامترها و وزن آن‌ها

Table 4- Pairwise comparisons matrix of parameters and their weights

پارامتر (Parameter)	کربن آلی (Organic carbon (%))	فسفر (Phosphorus (ppm))	پتاسیم (Potassium (ppm))	وزن (Weight)
کربن آلی (Organic carbon (%))	1	2	3	0.54
فسفر (Phosphorus (ppm))	0.5	1	2	0.29
پتاسیم (Potassium (ppm))	0.33	0.5	2	0.17



شکل ٤- نقشه حاصلخیزی خاک به روش فازی (الف) و روش بولین (ب)

Figure 4- Soil fertility map with Fuzzy (A) and Boolean (B) method

جدول ۵- مقایسه کلاس‌های حاصلخیزی در دو روش فازی و بولین

Table 5- Comparison of fertility classes in fuzzy and Boolean methods

روش فازی (Fuzzy method)			روش بولین (Boolean method)		
گروه حاصلخیزی (Fertility group)	هکتار (ha)	درصد (%)	گروه حاصلخیزی (Fertility group)	هکتار (ha)	درصد (%)
حاصلخیزی خیلی زیاد (Very high fertility)	8788	22.90	حاصلخیز (Fertile)	22572	58.88
حاصلخیزی زیاد (High fertility)	10619	27.70	غیرحاصلخیز (Unfertile)	15764	41.12
حاصلخیزی متوسط (Medium fertility)	13619	35.53			
حاصلخیزی کم (Low fertility)	4020	10.48			
حاصلخیزی خیلی کم (Very low fertility)	1298	3.39			

(۳) (۰/۱۷ × مقدار فازی پتاسیم) + (۰/۲۹ × مقدار فازی فسفر) + (۰/۵۴ × مقدار فازی کربن‌آلی) = عدد فازی

شکل ۵- نقشه ترکیبی دو روش فازی و بولین به همراه نقاط کنترل

Figure 5- Fuzzy and Boolean composed map with control points

جدول ٦- ارزیابی نقشه‌های دو روش فازی و بولین با استفاده از نقاط کنترل

Table 6- Evaluation of Fuzzy and Boolean maps using control points

نمونه خاک (Soil sample)	کربن آلی (Organic carbon)	فسفر (Phosphorus)	پتاسیم (Potassium)	نقشه فازی (Fuzzy map)			نقشه بولین (Boolean map)		
				عدد فازی (Fuzzy number)	گروه حاصلخیزی (Fertility group)	همخوانی با نقشه (Match with map)	پارامتر محدود کننده (Limiting parameter)	گروه حاصلخیزی (Fertility group)	همخوانی با نقشه (Match with map)
1	1.66	9.50	142.3	0.61	حاصلخیزی متوسط (Medium fertility)	دارد (Yes)	فسفر (Phosphorus)	غیرحاصلخیز (Unfertile)	ندارد (No)
2	1.77	6.30	85	0.54	حاصلخیزی متوسط (Medium fertility)	دارد (Yes)	فسفر–پتاسیم (Phosphorus-Potassium)	غیرحاصلخیز (Unfertile)	دارد (Yes)
3	1.83	6.36	109.5	0.54	حاصلخیزی متوسط (Medium fertility)	دارد (Yes)	فسفر–پتاسیم (Phosphorus-Potassium)	غیرحاصلخیز (Unfertile)	ندارد (No)
4	1.15	7.80	162.3	0.55	حاصلخیزی متوسط (Medium fertility)	دارد (Yes)	فسفر (Phosphorus)	غیرحاصلخیز (Unfertile)	دارد (Yes)
5	1.07	35.2	205	0.80	حاصلخیزی زیاد (High fertility)	دارد (Yes)	ندارد (No)	حاصلخیز (Fertile)	دارد (Yes)
6	1.08	2.30	109.3	0.35	حاصلخیزی کم (Low fertility)	دارد (Yes)	فسفر–پتاسیم (Phosphorus-Potassium)	غیرحاصلخیز (Unfertile)	دارد (Yes)
7	4.62	12.30	182	0.83	حاصلخیزی زیاد (High fertility)	دارد (Yes)	ندارد (No)	حاصلخیز (Fertile)	دارد (Yes)
8	1.59	41.73	188	1	حاصلخیزی خیلی زیاد (Very high fertility)	دارد (Yes)	ندارد (No)	حاصلخیز (Fertile)	دارد (Yes)
9	1.90	2.53	70.7	0.54	حاصلخیزی متوسط (Medium fertility)	ندارد (No)	فسفر–پتاسیم (Phosphorus-Potassium)	غیرحاصلخیز (Unfertile)	ندارد (No)
10	1.20	12.3	223.5	0.73	حاصلخیزی متوسط (Medium fertility)	دارد (Yes)	ندارد (No)	حاصلخیز (Fertile)	ندارد (No)
11	0.70	13.6	176.3	0.46	حاصلخیزی کم (Low fertility)	دارد (Yes)	ندارد (No)	حاصلخیز (Fertile)	ندارد (No)
12	2.08	13.6	171.6	0.94	حاصلخیزی خیلی زیاد (Very high fertility)	دارد (Yes)	ندارد (No)	حاصلخیز (Fertile)	دارد (Yes)
13	3.51	22.3	210.9	1	حاصلخیزی خیلی زیاد (Very high fertility)	دارد (Yes)	ندارد (No)	حاصلخیز (Fertile)	دارد (Yes)
14	1.36	14.2	185.6	0.96	حاصلخیزی خیلی زیاد (Very high fertility)	دارد (Yes)	ندارد (No)	حاصلخیز (Fertile)	دارد (Yes)
15	0.90	12.9	162.5	0.51	حاصلخیزی متوسط (Medium fertility)	ندارد (No)	ندارد (No)	حاصلخیز (Fertile)	ندارد (No)

جدول ۷- گروه‌های حاصلخیزی خاک و عدد فازی آن‌ها (۱۱)

Table 7- Soil fertility groups and their fuzzy number (11)

گروه حاصلخیزی (Fertility group)	عدد فازی (Fuzzy number)
حاصلخیزی خیلی کم (Very low fertility)	0-0.25
حاصلخیزی کم (Low fertility)	0.25-0.5
حاصلخیزی متوسط (Medium fertility)	0.5-0.75
حاصلخیزی زیاد (High fertility)	0.75-0.9
حاصلخیزی خیلی زیاد (Very high fertility)	0.9-1

با توجه به مطالب ذکر شده، نقشه تهیه شده به روش فازی با واقعیت تطابق بیشتری دارد که با نتایج دواتگر و همکاران (۳) و صالحی و همکاران (۱۵) هماهنگی دارد. بنابراین مشخص می‌شود که مدل تلفیقی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین حاصلخیزی خاک در منطقه مورد نظر نسبت به روش بولین می‌تواند از دقت و صحت زیادی برخوردار باشد. برای بررسی دقت تفکیک گروه‌ها در نقشه‌های خاص از معیارهای واریانس نسبی و ضریب توجیه‌پذیری استفاده می‌شود. هر چه مقدار واریانس نسبی به صفر و ضریب توجیه‌پذیری به یک نزدیک باشد نشان می‌دهد که نقشه، تغییرات پارامتر مورد نظر را به خوبی تفکیک کرده است (۱۴). نتایج تجزیه واریانس پارامترها در گروه‌های مختلف حاصلخیزی نقشه فازی و مقادیر معیارهای واریانس نسبی و ضریب توجیه‌پذیری به ترتیب در جدول‌های ۸ و ۹ ارائه شده است. با توجه به مقادیر معیارهای ذکر شده در این جدول‌ها مشخص می‌شود که نقشه حاصلخیزی خاک تهیه شده به روش فازی تغییرات پارامترهای کربن آلی، فسفر و پتاسیم را به خوبی تفکیک کرده است و گروه‌های تفکیک شده حاصلخیزی به خوبی کمبود و زیادی مقادیر این پارامترها را نشان می‌دهند.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد در این مطالعه در تابع عضویت مقادیر a و b به صورت کارشناسی و با توجه به منابع تعیین گردید. حال با داشتن میانگین پارامترهای مورد مطالعه در هر یک از گروه‌های حاصلخیزی تعیین شده به روش فازی و مقایسه آنها با مقادیر a و b در نظر گرفته شده برای هر پارامتر، می‌توان به صحت این مقادیر کارشناسی شده پی برد (شکل ۶). مقایسه میانگین پارامترهای مؤثر در تهیه نقشه فازی در گروه‌های حاصلخیزی نشان می‌دهد که مقادیر میانگین هر سه پارامتر در گروه‌های با حاصلخیزی زیاد و خیلی زیاد از حد مطلوبیت (b) بیشتر بوده، فقط در پارامتر پتاسیم مقدار میانگین در گروه حاصلخیزی زیاد کمی از حد مطلوبیت کمتر است (شکل ۶) بنابراین مشخص می‌شود که در این گروه‌ها دادن کود تأثیر زیادی در افزایش عملکرد محصول برنج نمی‌تواند داشته باشد.

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس مقادیر پارامترها در گروه‌های حاصلخیزی نقشه فازی

Table 8– Variance analyze of parameters amounts in fuzzy map fertility groups

پارامتر (Parameter)	منبع (Source)	مجموع مربعات (Sum of Squares)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean Square)	F
کربن‌آلی (Organic carbon)	بین گروهی (Between Groups)	51.903	4	12.976	7.950
	داخل گروهی (Within Groups)	182.811	112	1.632	
	کل (Total)	234.714	116		
فسفر (Phosphorus)	بین گروهی (Between Groups)	8817.902	4	2204.475	23.678
	داخل گروهی (Within Groups)	10427.519	112	93.103	
	کل (Total)	19245.421	116		
پتاسیم (Potassium)	بین گروهی (Between Groups)	39058.775	4	9764.694	6.314
	داخل گروهی (Within Groups)	173220.649	112	1546.613	
	کل (Total)	212279.424	116		

جدول ۹- مقادیر معیارهای واریانس نسبی و ضریب توجیه‌پذیری پارامترها

Table 9-Relative variance and correlation coefficient criteria amounts of parameters

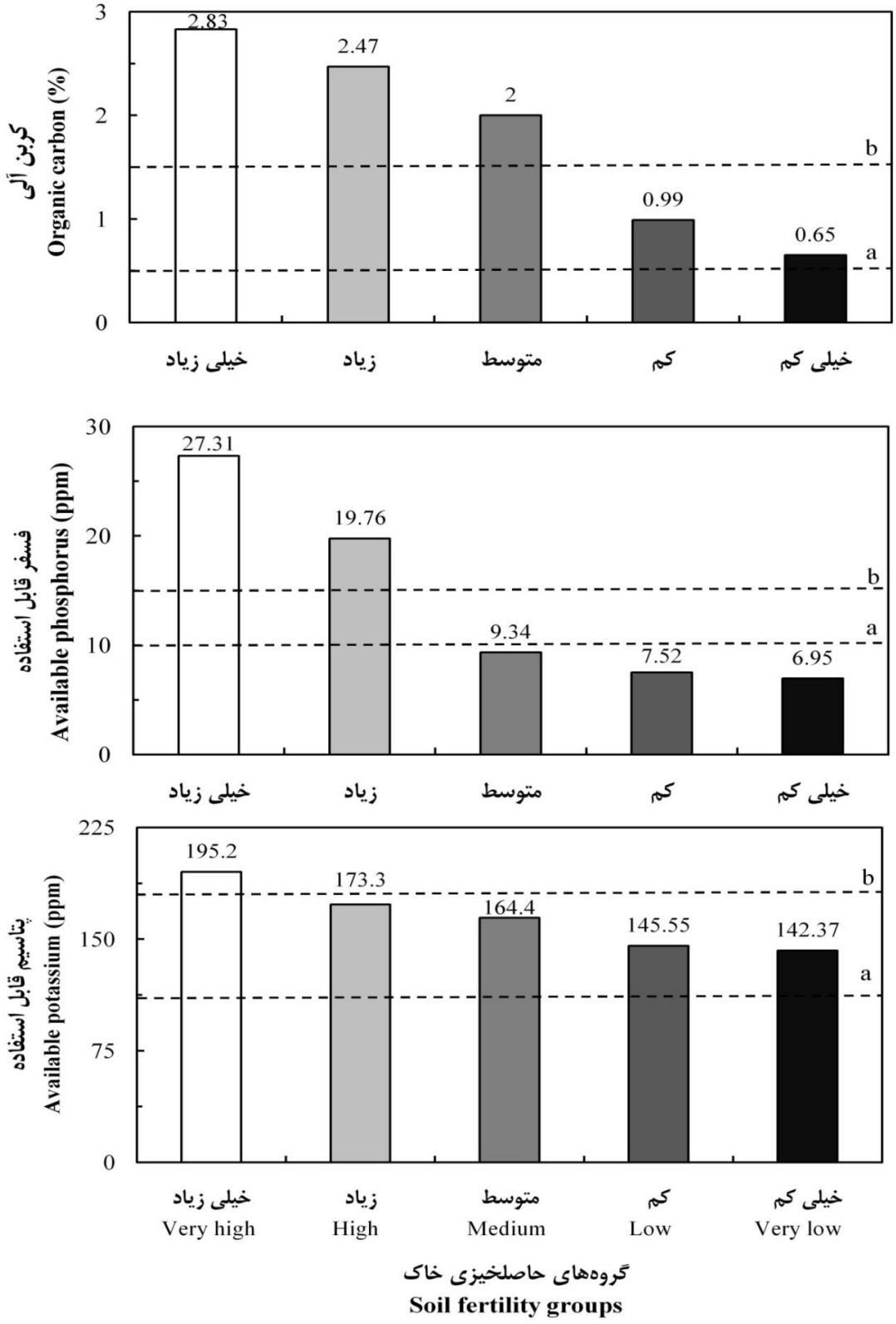
معیار (Criteria)	کربن‌آلی (Organic carbon)	فسفر (Phosphorus)	پتاسیم (Potassium)
واریانس نسبی (Relative variance)	0.11	0.04	0.13
ضریب توجیه‌پذیری (Correlation coefficient)	0.89	0.96	0.87

در مورد پارامتر فسفر ملاحظه می‌شود که میانگین گروه‌های با حاصلخیزی خیلی کم، کم و متوسط از حد بحرانی (a) کمتر است (شکل ۶) و نیاز به اضافه شدن این عنصر در خاک این گروه‌ها هست تا کمبود جبران شود و با افزوده شدن آن در این گروه‌ها افزایش عملکرد رخ خواهد داد (۳، ۴ و ۹). در مورد پتاسیم قابل ذکر است که مقادیر میانگین در گروه‌های با حاصلخیزی خیلی کم، کم، متوسط و زیاد از حد بحرانی (a) بیشتر است (شکل ۶) بنابراین در حالت اضافه نشدن کود پتاسیمی کاهش عملکرد شدید رخ نخواهد داد ولی چون مقادیر میانگین از حد مطلوبیت کمتر است اگر کود اضافه شود به طور مشخص در افزایش عملکرد تأثیر محسوسی خواهد داشت (۷).

همان‌طوری‌که ملاحظه می‌گردد مقدار کربن‌آلی خاک در گروه حاصلخیزی متوسط مناسب است لکن در گروه‌های خیلی کم و کم از حد مطلوبیت کمتر بوده و اضافه شدن آن در خاک در عملکرد مؤثر خواهد بود و با توجه به رابطه کربن آلی با ازت و فسفر در جبران کمبود آنها نیز اثر مثبت خواهد داشت. از طرف دیگر می‌توان بیان کرد که در گروه‌های حاصلخیزی خیلی کم و کم نیاز مبرم به افزایش ازت در خاک هست چون کم بودن ماده آلی در خاک این گروه‌ها به عنوان شاخصی از کمبود ازت نیز است. با توجه به توضیحات ارائه شده، مشخص می‌شود که مدل فازی با ارائه یک نقشه با دقت زیاد و گروه‌های حاصلخیزی مناسب، یک راه‌کار مدیریت مناسب تغذیه خاک و گیاه ارائه می‌نماید. نقشه ذکر شده به دلیل دقت زیادی که در نشان دادن کمبود پارامترها در گروه‌های حاصلخیزی خاک با توجه به حدود بحرانی و مطلوبیت دارد، باعث می‌شود با مصرف صحیح کودها از هدر رفت آنها و آلودگی محیط‌زیست جلوگیری کرده و ضمن افزایش عملکرد گیاه برنج در تمامی گروه‌ها از هزینه اضافی نیز ممانعت شود. دواتگر و همکاران (۳) و کوئن (۹) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیده‌اند که تفکیک یک منطقه از نظر حاصلخیزی به چندین گروه باعث مشخص شدن نواحی با کمبود زیاد شده و مدیریت تغذیه گیاه را تسهیل می‌نماید.

نتیجه‌گیری کلی

پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک شامل کربن آلی، فسفر و پتاسیم برای تهیه نقشه حاصلخیزی خاک جهت کشت برنج استفاده شدند. با توجه به مقادیر حداقل پارامترهای مورد مطالعه در این پژوهش که از حد بحرانی کمتر است به نظر می‌رسد که برخی اراضی منطقه مورد مطالعه از نظر حاصلخیزی خاک دچار مشکل باشد. بنابراین تهیه نقشه حاصلخیزی خاک منطقه، برای مشخص شدن این نواحی ضروری است و نقشه ذکر شده با ارائه گروه‌های حاصلخیزی مشخص، در مدیریت تغذیه گیاه و خاک مفید خواهد بود. در این تحقیق از دو روش فازی و بولین برای تهیه نقشه حاصلخیزی استفاده گردید و مشخص شد که نتایج حاصل از روش تلفیقی مدل فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین حاصلخیزی خاک با توجه به عوامل مورد مطالعه نزدیک به واقعیت است. چون نقشه فازی از ۱۵ نقطه کنترل مورد استفاده برای بررسی دقت نقشه با ۱۳ نقطه تطابق داشت در صورتی که نقشه بولین فقط با ۹ نقطه تطابق نشان داد. بررسی معیارهای واریانس نسبی و ضریب توجیه‌پذیری نشان داد که نقشه فازی تغییرات پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک برای کشت برنج را به خوبی تفکیک کرده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد سطح قابل توجهی از خاک منطقه از نظر حاصلخیزی دارای پتانسیل پایینی برای کشت برنج می‌باشد، که در نقشه حاصلخیزی خاک نهایی این مناطق از مناطق مناسب برای کشت برنج به خوبی تفکیک شدند. لذا می‌توان بیان کرد که استفاده از روش تلفیقی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند وضعیت حاصلخیزی منطقه مورد مطالعه را برای کشت برنج به صورت کمی در قالب گروه‌های مختلف طبقه‌بندی کند و یک راه‌کار مدیریت مناسب تغذیه‌ای ارائه نماید که با نشان دادن کمبود پارامترها در گروه‌های مختلف حاصلخیزی با توجه به حدود بحرانی و مطلوبیت، سبب می‌شود با مصرف صحیح کودها ضمن جلوگیری از هدر رفت آنها در مناطق با مقادیر پارامترهای بیشتر از حد مطلوبیت، با افزایش عملکرد گیاه برنج از هزینه اضافی نیز ممانعت شود. در مجموع می‌توان گفت که تهیه نقشه حاصلخیزی خاک به صورت تفکیکی می‌تواند گامی اولیه و مؤثر در مطالعات حاصلخیزی خاک، توزیع کودها در مناطق مختلف و استفاده بهینه از کودها مطرح باشد. این نقشه‌ها می‌توانند به وسیله کارشناسان مدیریت‌های کشاورزی برای مدیریت مکان ویژه عناصر غذایی جهت راهنمایی کشاورزان مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ٦- مقایسه میانگین پارامترها در گروه‌های حاصلخیزی خاک نقشه فازی (a: حد بحرانی، b: حد مطلوبیت)

Figure 6- Comparison of parameters mean in soil fertility groups of fuzzy map (a: critical level, b: optimum level)

منابع

1- Aama Azghadi 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. Journal of Water and Soil, 24(5): 973- 984, (In Persian with English abstract).
2- Burt R. 2014. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil survey investigations report No. 42, Version 5. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.
3- Davatgar N., Neishabouri M.R., and Sepaskhah A.R. 2012. Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. Geoderma, 173: 111- 118.
4- Doberman A., and Fairhurst T.H. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. International Rice Research Institute, Philippines.
5- Doberman A., and Oberthur T. 1998. Fuzzy mapping of soil fertility - a case study on irrigated Riceland in the Philippines. Geoderma, 77: 317- 339.
6- Ghodsipour S.H. 2013. Analytic Hierarchy Process. 10th ed., Amirkabir University of Technology Press, 230p, (In Persian).
7- Kavoosi M., and Malakoti M.J. 2006. Determination of available potassium critical level with ammonium acetate extractor in Guilan paddy soils. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 3: 113–123, (In Persian with English abstract).
8- Kremenov O. 2004. Fuzzy Modeling of Soil Maps. Helsinki University of Technology Department of Surveying. 81p.
9- Kweon G. 2012. Delineation of site-specific productivity zones using soil properties and topographic attributes with a fuzzy logic system. Biosystem Enginearing, 112(4): 261- 277.
10- Lotfi Arpachaei1 Z., EsmaliOuri A., Hashemimajd K., and Najafi N. 2013. Soil fertility evaluation of Ardabil plain for wheat and potato based on some soil chemical properties by AHP and GIS techniques. Journal of Water and Soil 27(1): 45- 53, (In Persian with English abstract).
11- Mokarram M., and Bardideh M. 2013. Soil fertility evaluation for wheat cultivation by fuzzy theory approach and compared with Boolean method and soil test method in GIS area. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 96: 111- 123, (In Persian with English abstract).
12- Oberthur T., Dobermann A., and Aylward M. 2000. Using auxiliary information to adjust fuzzy membership functions for improved mapping of soil quality. IJGIS, 14: 431- 454.
13- Saaty T.H., and Vargas L.G. 2001. Models, Methods, Concepts, and Applications of the Analytic Hierarchy Process. Kluwer Academic, 160p.
14- Salehi M.H., and Khademi H. 2008. Fundamentals of Soil Survey. First edition, Isfahan University of Technology Press.
15- Salehi N., Ghajar Sepanlou M., and Jafari Gorzin B. 2013. An evaluation of soil fertility using soil organic carbon, potassium, phosphorus and salinity factors for rice cultivation by fuzzy logic and AHP techniques. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5(19): 2233- 2241.
16- Sarmadian F., and Keshavarzi A. 2014. The use of a hybrid fuzzy-AHP system on the evaluation and mapping of soil fertility. Soil and Water Resources Conservation, 3(2): 45- 56, (In Persian with English abstract).
17- Webster R., and Oliver M. 2007. Geostatistics for Environmental Scientists. 2nd edition, John Wiley & Sons Ltd, Chichester UK.
18- 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.
19- 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.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 4, Sept.-Oct. 2016, p. 1114-1129

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۵، ص. ۱۱۲۹-۱۱۱۴

Increasing Efficiency of Soil Fertility Map for Rice Cultivation Using Fuzzy Logic, AHP and GIS

J. Seyedmohammadi[1*]- L. Esmaeelnejad[2]- H. Ramezanpour[3]

Received: 17-11-2014
Accepted: 12-10-2015

Introduction: With regard to increasing population of country, need to high agricultural production is essential. The most suitable method for this issue is high production per area unit. Preparation much food and other environmental resources with conservation of biotic resources for futures will be possible only with optimum exploitation of soil. Among effective factors for the most production balanced addition of fertilizers increases production of crops higher than the others. With attention to this topic, determination of soil fertility degree is essential tobetter use of fertilizers and right exploitation of soils. Using fuzzy logic and Analytic Hierarchy Process (AHP) could be useful in accurate determination of soil fertility degree.

Materials and Methods: The study area (at the east of Rasht city) is located between 49° 31' to 49° 45' E longitude and 37° 7' to 37° 27' N latitude in north of Guilan Province, northern Iran, in the southern coast of the Caspian sea. 117 soil samples were derived from0-30 cm depth in the study area. Air-dried soil samples were crushed and passed through a 2mm sieve. Available phosphorus, potassium and organic carbon were determined by sodium bicarbonate, normal ammonium acetate and corrected walkly-black method, respectively. In the first stage, the interpolation of data was done by kriging method in GIS context. Then S-shape membership function was defined for each parameter and prepared fuzzy map. After determination of membership function weight parameters maps were determined using AHP technique and finally soil fertility map was prepared with overlaying of weighted fuzzy maps. Relative variance and correlation coefficient criteria used tocontrol groups separation accuracy in fuzzy fertility map.

Results and Discussion: With regard to minimum amounts of parameters looks some lands of study area had fertility difficulty. Therefore, soil fertility map of study area distinct these lands and present soil fertility groups for better management of soil and plant nutrition. Weight of soil parameters was0.54, 0.29 and 0.17 for organic carbon, available phosphor and potassium, respectively. Fuzzy map of study area includes five soil fertility groups as: 22.9% very high fertility, 27.7% high fertility, 35.53% medium fertility, 10.48% low fertility and 3.39% very low fertility. Consequently, a separated map for soil fertility prepared to evaluate soil fertility of study area for rice cultivation. Toinvestigatethe efficiency of fuzzy model and AHP in increasing the accuracy of soil fertility map, soil fertility map with Boolean method prepared as well. Boolean map showed 58.88% fertile and 41.12% unfertile.15 soil samples from different soil fertility groups of study area were derived fromcontrol of maps accuracy. 13 renewed samples of 15 and 9 soil samples have matched with fuzzy and Boolean map, respectively. Comparison of parameters mean in fuzzy map fertility groups showed that parameters mean amounts of very high and high fertility groups are higher than optimum level except potassium that is a few lower than optimum level in high fertility group, therefore, addition of fertilizers in these groups could not be useful to increase rice crop production. Phosphorus parameter amount is lower than the critical level in very low, low and medium fertility groups, then in these groups phosphorus fertilizer should be added to the soil toincreaserice production. The amount of potassium parameter is higher than the critical level and lower than optimum limit in very low, low, medium and high fertility groups, then in these groups addition of potassium fertilizer will results in theincrease of production. Organic carbon amount is lower than optimum level in very low and low fertility groups. With regard to the relation between organic carbon andnitrogen and phosphorus, therefore, the addition of organic carbon fertilizer could compensate deficit of nitrogen and phosphorus in these groups as well. Attention to the presented explanations and comparison of fuzzy and Boolean maps using parameters amounts in renewed sampling points for control of maps accuracy, it is distinct that fuzzy logic could influencetheoptimum using of fertilizers with increasing map efficiency and accuracy. In addition, relative variance and correlation coefficient amounts showed that fuzzy map has separatedquite wellparameters changes.

1- Ph.D. Student, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz
(*- Corresponding Author Email: seyedmohammad.javad@gmail.com)
2- Ph.D. Student, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran
3- Associate Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Guilan

Conclusion: Effective parameters in soil fertility, includingorganic carbon, phosphorus and potassium were used topreparesoil fertility map for rice cultivation. With regard to the minimum amounts of parameters looks some lands of study area had fertility difficulty. Therefore, soil fertility map of study area distinct these lands and presents soil fertility groups tobetter management of soil and plant nutrition. Fuzzy and Boolean methods were used topreparesoil fertility map. Comparison of these two approaches showed that fuzzy method with AHP caused to increase theefficiency and accuracy of fertility map for rice. Separated and distinguish soil fertility groups in fuzzy map help suitable distribution and optimum use of fertilizers for rice production.

Keywords: Analytic hierarchy process, Fertility map, Fuzzy, Geographic information system