

ارزیابی تناسب اراضی منطقه هشترود با فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای تیپ بهره‌وری نخود آبی

*مسلم ثروتی^۱، حمیدرضا ممتاز^۲، حسین رضائی^۳ و مجید پیشنماز احمدی^۴

^۱استادیار مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه، ^۲استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، ^۳استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز، ^۴دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۹

چکیده

سابقه و هدف: ارزیابی تناسب اراضی با دستورالعمل فائو معمول‌ترین رویکرد برای ارزیابی اراضی بوده که مبتنی بر پارامترهای بیوفیزیکی و پارامترهای اقتصادی-اجتماعی اراضی است. فائو برای ارزیابی و تهیه نقشه‌های تناسب از شیوه بولین استفاده می‌کند که توسط عده‌ای از پژوهش‌گران ارزیابی مورد نقد و انتقاد قرار گرفته است، چرا که طبیعت پیوسته خاک و عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها را در نظر نمی‌گیرد، بنابراین برای چیره‌شدن بر مشکلات ابهام در تعریف و سایر عدم قطعیت‌ها روش فازی پیشنهاد شده است. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی نیز ضرایب وزنی مورد نیاز برای ارزیابی تناسب اراضی را با کمک ماتریس ارجحیت برای همه معیارهای مؤثر با استفاده از مقایسات جفتی با ضرایب اولویت قابل تغییر محاسبه و نظرات کارشناسی را وارد مدل می‌کند. در نهایت تناسب اراضی استنتاج شده با روش تلفیقی فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی نه‌تنها وابسته به توابع عضویت فازی بوده بلکه وابسته به وزن اختصاص یافته به همه ویژگی‌ها است. این مقاله از روش فرآیند سلسله‌مراتبی فازی برای ارزیابی تناسب اراضی استفاده می‌کند و فرصتی برای مدل‌سازی تولید نخود آبی در یک مطالعه موردی شهرستان هشترود (جنوب استان آذربایجان شرقی) می‌باشد.

مواد و روش‌ها: داده‌های مورفولوژیکی و آزمایشگاهی از ۲۹ خاکرخ در مزارع نخود شهرستان هشترود جمع‌آوری شد. ویژگی‌های خاک و زمین‌نما بر اساس بررسی منابع و میزان وزن‌های ارایه شده بر اساس نظرات کارشناسی انتخاب گردید. برای ارزیابی تناسب اراضی در مرحله اول ساختار سلسله‌مراتبی تشکیل گردید. در مرحله دوم مقادیر ویژگی‌های اراضی انتخاب‌شده به‌وسیله توابع عضویت متقارن و نامتقارن فازی‌سازی شدند. در مرحله سوم اثرات متقابل و ارزش مربوط به هر ویژگی برآورد شد. وزن‌ها از مقایسه‌های جفتی روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بر اساس نظرات کارشناسی به‌دست آمد. در مرحله چهارم لایه‌های وزن‌دار با تابع مربوطه تشکیل گردید. در نهایت تناسب اراضی با ترکیب لایه‌های وزن‌دار اراضی تعیین گردید. برای سنجش صحت مدل ارزیابی نیز از تطابق و عدم تطابق بین نقشه تناسب اراضی و تولید واقعی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که هیچ نقطه‌ای در منطقه مورد مطالعه با توابع عضویت پیوسته برابر یک (کاملاً متناسب) ارزیابی نشد. در این روش توابع عضویت برای برخی از ویژگی‌های مؤثر در تولید نخود آبی برابر یک است، با این

* مسئول مکاتبه: m.servati@urmia.ac.ir

حال تناسب نهایی علاوه بر این که به مقادیر توابع عضویت وابسته است به وزنهای اختصاص داده شده به هر ویژگی با روش فرآیند سلسله‌مراتبی نیز بستگی دارد. هم‌چنین نتایج بیانگر این مطلب است که اغلب منطقه مطالعاتی (۶۲/۲ درصد) با توابع عضویت مربوطه در کلاس‌های تناسب ۰/۶ تا ۰/۷ طبقه‌بندی شدند. ظرفیت تبادل کاتیونی (۰/۱۷۹)، ظرفیت نگهداری آب در دسترس (۰/۱۶۱) و کربنات کلسیم (۰/۱۴۳) وزن بیشتری نسبت به سایر معیارها اخذ نمودند، بنابراین به‌عنوان مهم‌ترین معیارها در تناسب اراضی منطقه محسوب می‌شوند. تطابق بین نقشه تناسب اراضی و تولید واقعی نیز ۷۶/۷ درصد است که نشان‌دهنده کارایی بالای مدل بوده و روش مورد استفاده نتایج دقیقی را به‌دلیل این‌که موارد نامشخص را در ارتباط با شرایط مرزی معیارها مورد خطاب قرار می‌دهد، ارایه می‌کند و اثرات ویژگی‌هایی را که ارزش نزدیک به مرزهای کلاس تناسب مورد نظر دارند را محاسبه می‌نماید.

نتیجه‌گیری: روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به‌دلیل تطابق با بسیاری از ویژگی‌های خاکی اراضی می‌تواند یک توزیع قابل درک از مقادیر تناسب اراضی ارائه نماید.

واژه‌های کلیدی: توابع عضویت، تطابق نقشه، نظرات کارشناسی

مقدمه

با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه مناطق شهری که عوامل مؤثر در محدودشدن اراضی کشاورزی محسوب می‌شوند، نیاز به استفاده بهینه از اراضی بیش از پیش احساس می‌شود. هم‌چنین در صورت تحقق کشاورزی پایدار، اراضی بر حسب تناسب برای انواع تیپ‌های بهره‌وری طبقه‌بندی شده مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (۸)، بنابراین روش ارزیابی تناسب اراضی برای تیپ‌های بهره‌وری خاص امری اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد. ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از دستورالعمل فائو مبتنی بر ویژگی‌های بیوفیزیکی و ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی اراضی بوده (۷) و از شیوه بولین^۱ برای ارزیابی تناسب اراضی بهره می‌گیرد که توسط تعدادی از پژوهش‌گران ارزیابی و نقشه‌برداران مورد نقد و انتقاد قرار گرفته است (۴، ۱۲ و ۲۲). فرض ضمنی در شیوه بولین نبود هیچ‌گونه شک و ابهام در مورد مدل تناسب، نقشه‌های تناسب و بی‌دقتی در مفاهیم مختص اراضی می‌باشد (۲۴ و ۲۸). روش‌هایی برای غلبه بر

مشکلات مرتبط با ابهام در تعریف و سایر بی‌اطمینانی‌ها پیشنهاد شده است که کاربردی‌ترین آن‌ها منطق فازی و وارد کردن نظرات کارشناسی در مدل است (۲۵).

مجموعه‌های فازی^۲ بدون مرزهای صلب و مجزا بوده، به‌طوری‌که عبور از یک منطقه عضو به غیرعضو در کلاس، تدریجی می‌باشد. یک مجموعه فازی توسط توابع عضویت فازی^۳ تعریف می‌شود که از صفر تا یک متغیر است و نمایان‌گر افزایش تداومی و پیوسته از غیرعضویت کامل به عضویت کامل می‌باشد (۳ و ۱۴). استفاده از منطق فازی برای ارزیابی تناسب اراضی گیاهان زراعی اولین بار توسط بوروق (۱۹۸۹) مطرح گردید. ایشان گزارش نمودند این روش به‌عنوان ابزاری در رفع بی‌دقتی موجود در روش‌های ارزیابی تناسب اراضی بسیار کارا است. هم‌چنین در این روش تنها از اطلاعات خاکی به‌عنوان داده‌های ورودی استفاده می‌شود که وابسته به ساختار مدل است (۴). جوس و همکاران (۲۰۰۷) با ارزیابی تناسب اراضی ایالت پرایر کشور کانادا برای درخت

2- Fuzzy Sets

3- Fuzzy membership functions (MFs)

1- Boolean mapping

حمزه و همکاران (۲۰۱۴) ارزیابی تناسب اراضی جو آبی با روش تلفیقی فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و فائو در استان خوزستان انجام دادند، نتایج ایشان نشان داد که روش تلفیقی تحلیل سلسله‌مراتبی و فازی نتایج بهتر و کلاس‌های تناسب بالاتری را نسبت به روش فائو نشان می‌دهد (۹).

هدف این مقاله بررسی کارایی مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی تناسب اراضی بخشی از اراضی منطقه هشتروند برای گیاه نخود آبی می‌باشد. انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر و تأثیر نسبی آن در عملکرد نخود آبی در منطقه مطالعاتی از اهداف فرعی پژوهش حاضر به‌شمار می‌رود. هم‌چنین مقایسه بین نقشه درجات تناسب اراضی با عملکرد واقعی جهت ارزیابی دقت مدل از نوآوری‌های این پژوهش محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

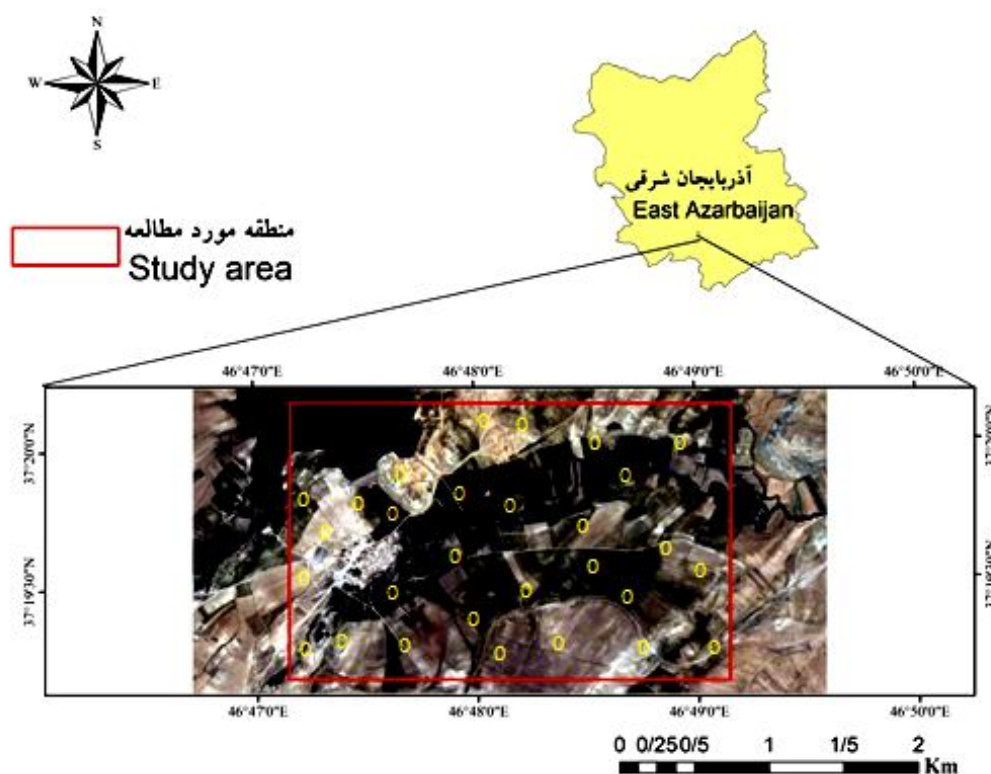
منطقه مطالعاتی: منطقه مورد مطالعه به وسعت حدود ۵۵۰ هکتار در شهرستان هشتروند، جنوب استان آذربایجان شرقی واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی بین ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی سالیانه ۳۰۸ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۱۲/۹ درجه سلسیوس بوده و رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌ها بر اساس نرم‌افزار نیوهال (۱۵) به‌ترتیب زیریک و مزیک می‌باشد. از لحاظ فیزیوگرافی محدوده مطالعاتی بر روی دشت‌های مرتفع قدیمی^۳ (فلات‌ها) و دشت‌های آبرفتی دامنه‌ای^۴ قرار گرفته و از نظر رده‌بندی خاک‌ها بر اساس سیستم آمریکایی (۲۳) در رده اینسپتی‌سول‌ها قرار گرفته‌اند.

تبریزی، ۴۳/۷ درصد اراضی را مناسب، ۱۸/۲ درصد را بحرانی و بقیه را نامناسب گزارش نمودند (۱۱).

ارزیابی تناسب اراضی به‌صورت یک مسأله تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه مطرح می‌شود که در این حالت الگویی برای کاربری زمین مهیا می‌کند که مناقشات را به حداقل می‌رساند و نظرات دست‌اندرکاران را نیز تا حد زیادی لحاظ می‌کند (۱، ۵ و ۲۱). آیالو و سلاسی (۲۰۱۵) نظرات کارشناسی را یکی از مهم‌ترین راه‌کارها در ارزیابی تناسب اراضی با دقت و صحت بالا عنوان کردند (۲)، در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱، معیارها مشخص بوده و برای ترکیب معیارهای کمی، کیفی و مشخص نمودن درجه ارتباط بین معیارها استفاده می‌شوند (۲۶). از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به تکنیک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی^۲ اشاره نمود. این تکنیک برای اولین بار توسط توماس الساعتی (۱۷) مطرح شد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. این فرآیند هم‌چنین بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد (۱۳)، ۱۸ و ۱۹). ایعالم و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند که ارتباط میان اهداف و معیارها در ساختار سلسله‌مراتبی وجود دارد. در بالاترین سطوح اهداف تعریف می‌شوند و در سطح پایین‌تر به متغیرها تفکیک می‌شوند که در این میان تصمیم‌گیرنده‌ها نقش مهمی را در مقایسات جفتی بین معیار در هر سطح از رتبه‌بندی و نیز گسترش و بسط وزن‌های مربوطه دارند (۶). جعفری و زارع‌دار (۲۰۱۱) در حوزه آبخیز طالقان از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده نمودند. نتایج نشان‌دهنده پایین بودن درجات تناسب اراضی پایین‌تر از ۰/۵ در قسمت‌های عمده منطقه برای کشاورزی بود (۱۰).

3- Plateaux
4- Piedmont Alluvial plains

1- Multi-Criteria decision methods
2- Analytical Hierarchy Processes (AHP)



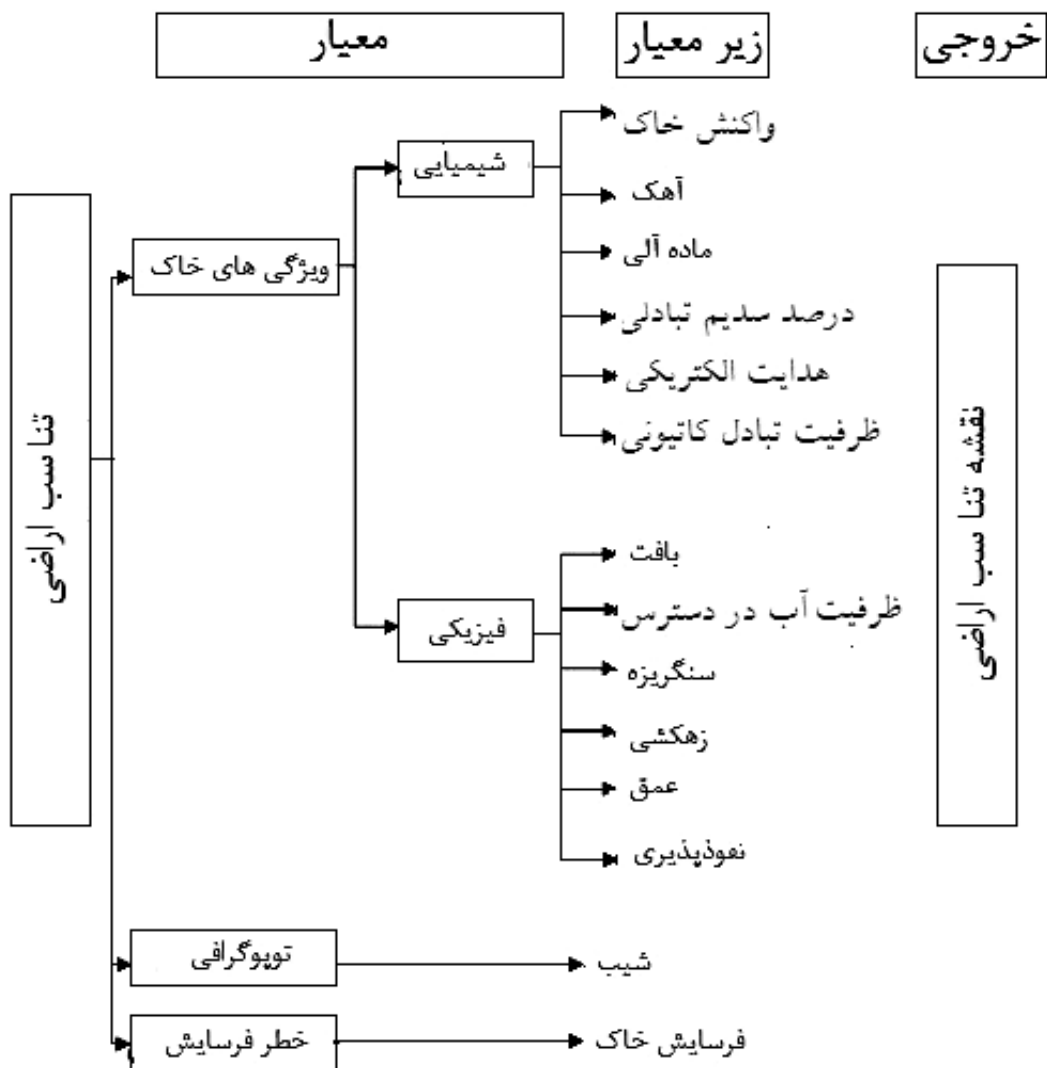
شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی.

Figure 1. Location of study area.

الکتریکی، درصد سدیم تبادلی، آهک، سنگریزه، زهکشی، نفوذپذیری، فرسایش خاک و شیب است. شایان ذکر است که برای اندازه‌گیری تولید واقعی نیز از پلات‌های چوبی ۱×۱ استفاده شد. هم‌چنین نظرات کارشناسی به‌وسیله پرسشنامه از ۱۷ کارشناس محلی جمع‌آوری شد.

ارزیابی تناسب اراضی با روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی: برای این منظور ابتدا ساختار سلسله‌مراتبی به‌صورت شکل ۲ تشکیل گردید و هدف، معیارها و زیرمعیارها مشخص گردید.

منابع اطلاعات: برای کسب اطلاعات اراضی ابتدا با روش ژئوپدولوژی ۹ لندفرم جداسازی گردید و با توجه به تغییرات در طول لنداسکیپ و وسعت هر واحد ۲۹ خاکرخ و مقطع طبیعی (شکل ۱) حفر و بر اساس راهنمای تشریح شوئنبرگر و همکاران (۲۰) تشریح شدند. ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیکی و شیمیایی که بر اساس نظر کارشناسان محلی محدودکننده رشد تیپ بهره‌وری نخود بودند با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد که شامل بافت خاک، عمق خاک، ظرفیت نگهداری آب در دسترس، واکنش خاک، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، هدایت

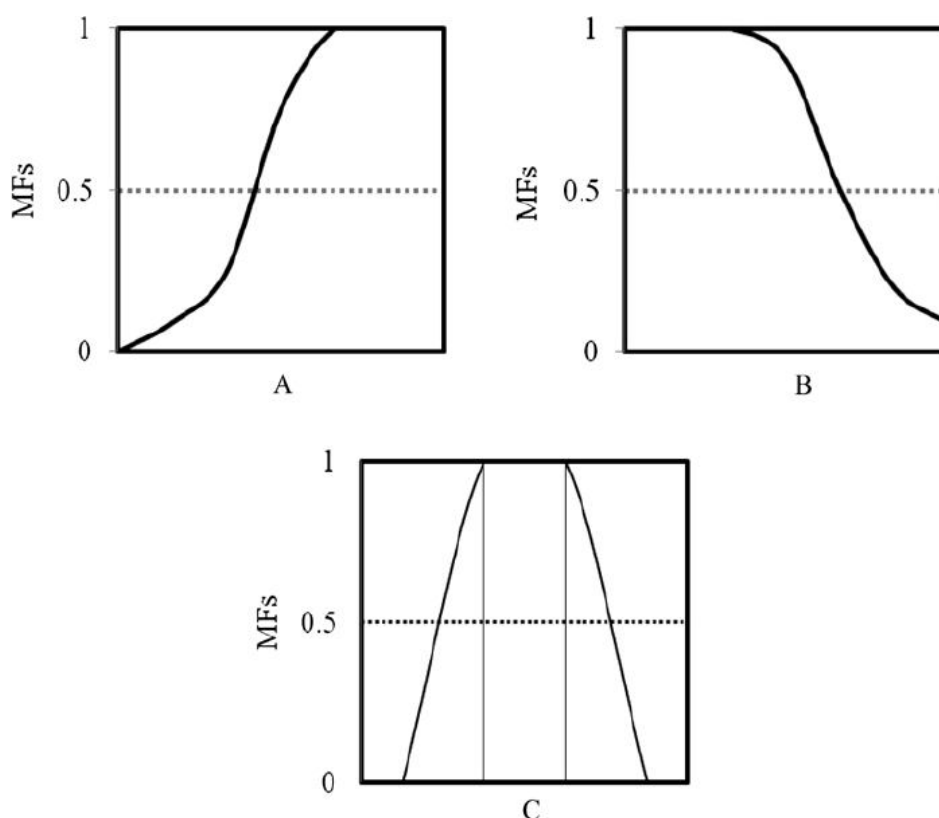


شکل ۲- سازماندهی سلسله مراتبی ویژگی های اراضی مؤثر بر تولید نخود آبی.

Figure 2. Hierarchical organization of the land characteristics for irrigated Chickpea production.

معیارهای مختلف مرتبط با تناسب اراضی را نشان می دهد.

سپس اقدام به استاندارد نمودن ویژگی های اراضی با مدل های متقارن و نامتقارن فازی گردید. شکل ۳، سه مدل مختلف به منظور ایجاد تابع عضویت برای



شکل ۳- مدل‌های مختلف توابع عضویت فازی (A) مدل چپ نامتقارن (B) مدل راست نامتقارن (C) مدل متقارن.

Figure 3. The Fuzzy Membership function models: (A) asymmetrical left model; (B) asymmetrical right model; (C) symmetrical model.

که در آن‌ها، d پهنای منطقه انتقالی، b حد بالای ویژگی، b_1 و b_2 حد بالا و پایین منطقه مطلوب معیار برای تناسب بوده و بستگی به نوع معیار دارد.

وزن‌دهی معیارهای مدل فراهم‌کننده مقادیر نسبی برهم‌کنش و اهمیت معیار است. بنابراین وزن‌ها از طریق آنالیزهای مقایسات جفتی با روش AHP توسط کارشناسان محلی در محیط نرم‌افزار Expert Choice نسخه ۱۱ به‌دست آمد. لازم به ذکر است که مقایسات جفتی با استفاده از ظرف سنجش ساعتی (۱۷) مطابق با جدول ۱ انجام شد، بنابراین کارشناسان محلی نقش مهمی را در فرآیند تناسب اراضی و تغییر مکرر وزن‌ها برای بهبود نسبت سازگاری پایین‌تر از ۰/۱ دارند. در مرحله بعد لایه‌های وزن‌دار معیارها با استفاده از رابطه ۴ به‌دست آمد.

مدل چپ نامتقارن (رابطه ۱) زمانی استفاده می‌شود که افزایش در مقدار معیار موجب بهبود تناسب اراضی می‌شود. مدل راست نامتقارن (رابطه ۲) زمانی استفاده می‌شود که افزایش در مقدار معیار موجب کاهش تناسب اراضی شود. مدل متقارن (رابطه ۳) زمانی استفاده می‌شود که با افزایش و کاهش ویژگی از یک مقدار مشخص، تناسب اراضی کاهش می‌یابد.

$$MF_{(Xi)} = [1/\{1 + 1/d^2(x - b)^2\}] \quad (1)$$

$$MF_{(Xi)} = [1/\{1 + 1/d^2(x + b)^2\}] \quad (2)$$

$$MF_{(Xi)} = 1 - if \quad -(b_1 + d_1) \leq x_i \leq (b_2 + d^2) \quad (3)$$

می‌باشد. نقشه‌های کلی تناسب اراضی نشانگر کل رده‌های تناسب اراضی با مقیاس پیوسته بین صفر تا یک می‌باشد. لازم به ذکر است که نقشه درجه‌های تناسب با روی هم‌اندازی لایه‌های وزن‌دار در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و با کمک نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰ تهیه شدند. برای تعیین میزان تطابق نقشه از روش عملگر ترکیب (رابطه ۶) استفاده شد (۱۶). در این روابط n نشان‌دهنده تعداد پیکسل در نقشه، P_{ni} تابع عضویت کلی و P_{nii} درجه تطابق می‌باشد. برای عدم تطابق، n پیکسل در نقشه مرجع برای کلاس j و عدم تطابق $P_{nii}-P_{nij}$ می‌باشد.

$$WF_{kn} = W_i \times MF_i \quad (4)$$

که در آن، W_i وزن ویژگی اراضی i که از مقایسه جفتی حاصل شده و MF_i تابع عضویت برای همان ویژگی می‌باشد. در نهایت تناسب اراضی منطقه مطالعاتی برای تیپ بهره‌وری نخود آبی از طریق ترکیب لایه‌های وزن‌دار معیارها (رابطه ۵) محاسبه گردید.

$$R_i = WF_{k2} + MF_{k2} + \dots + MF_{kn} \quad (5)$$

که در آن، R_i امتیاز نهایی تناسب اراضی و WF_{kn} مقادیر وزن‌دار شده برای ویژگی‌های مختلف اراضی

$$R_{nij} = [(P_{ni} - P_{nii}) \times ((P_{n,j} - P_{nij}) / \sum_{j=1}^j (P_n - P_{nhj}))] \quad \text{For } i \neq j \quad (6)$$

جدول ۱- مقیاس مقایسات دو به دو (۱۷).

Table 1. Pairwise comparisons scale (from Saaty 1980).

| تعریف Definition | شدت اهمیت Intensity of Importance |
|--|--------------------------------------|
| Equal importance اهمیت برابر | 1 |
| Equal to moderate importance اهمیت برابر تا متوسط | 2 |
| Moderate importance اهمیت متوسط | 3 |
| Moderate to strong importance اهمیت متوسط تا قوی | 4 |
| Strong importance اهمیت قوی | 5 |
| Strong to very strong importance اهمیت قوی تا خیلی قوی | 6 |
| Very strong importance اهمیت خیلی قوی | 7 |
| Very to extremely strong importance اهمیت خیلی تا به شدت قوی | 8 |
| Extreme importance اهمیت به شدت قوی | 9 |

شایان ذکر است که کلاس فرسایش خاک و زهکشی بر اساس راهنمای تشریح خاک شوئبرگر و همکاران (۲۰) تشریح شدند و کلاس تناسب آن‌ها وارد مدل شد.

نتایج و بحث

جدول ۲ مقادیر آماری ویژگی‌های اراضی را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که از ۲۹ نقطه مطالعاتی اخذ شده‌اند. با توجه به وسعت منطقه (حدود ۵۵۰ هکتار) مطالعه از نوع تفصیلی می‌باشد.

جدول ۲- پارامترهای آماری ویژگی‌های اراضی مورد استفاده در ارزیابی تناسب اراضی نخود آبی.

Table 2. Statistical characteristics of used land properties for land suitability evaluation for irrigated chickpea.

| Standard deviation | ضریب تغییرات CV | حداکثر max | حداقل min | میانگین Mean | ویژگی‌ها Properties |
|--------------------|--------------------|---------------|--------------|-----------------|--|
| 3.1 | 12.9 | 32.1 | 19.2 | 25.4 | ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ¹ (meq 100g soil ⁻¹) |
| 0.2 | 1.2 | 8.2 | 7 | 7.7 | واکنش خاک pH |
| 2.5 | 5.6 | 24.5 | 18.9 | 20.7 | ظرفیت نگهداری آب در دسترس AHWC ² (%) |
| 6.6 | 22 | 43 | 21 | 35.3 | رس Clay (%) |
| 7.2 | 32 | 48 | 16 | 31.2 | سیلت Silt (%) |
| 9.1 | 43 | 57 | 14 | 33.5 | شن Sand (%) |
| 9.9 | 17 | 22 | 5 | 5.3 | سنگریزه سطحی Surface gravel (%) |
| 15.7 | 43 | 143 | 93 | 114 | عمق خاک Soil depth (cm) |
| 2.2 | 6.6 | 12.2 | 5.6 | 6.4 | درصد سدیم تبدلی ESP ³ (%) |
| 1.1 | 4.6 | 5.7 | 1.1 | 2.9 | هدایت الکتریکی EC ⁴ (dS m ⁻¹) |
| 2.3 | 11.3 | 12.4 | 1.1 | 7.5 | شدت نفوذ Infiltration rate (mm hr ⁻¹) |
| 0.8 | 5 | 5 | 0 | 1.2 | شیب Slop (%) |
| 2.8 | 20.9 | 25.5 | 4.6 | 9.7 | کربنات کلسیم CaCO ₃ (%) |
| 0.29 | 1.8 | 2.5 | 0.7 | 1 | ماده آلی OM ⁵ (%) |

1-Cation Exchange Capacity, 2-Available water holding capacity, 3-Exchangble Sodium Percentage, 4-Electriel conductivity, 5-Organic matter.

وابسته به قضاوت و رأی کارشناسان محلی دارد. در این پژوهش نتایج وزن‌های نسبی در تعیین تناسب اراضی قابل استفاده بوده زیرا نسبت سازگاری در محدوده قابل قبول و کمتر از ۰/۱ است. نسبت سازگاری بالا نشانگر هر گونه ناسازگاری و تناقض حاصل شده از مقایسات جفتی می‌باشد.

نتایج نشان داد (جدول ۳) که ظرفیت تبادل کاتیونی (۰/۱۷۹)، ظرفیت نگهداری آب در دسترس (۰/۱۶۱) و کربنات کلسیم (۰/۱۴۳) سه ویژگی هستند که وزن بیشتری نسبت به سایر معیارها دارند، بنابراین به‌عنوان مؤثرترین معیارها در تناسب اراضی منطقه مطالعاتی برای تیپ بهره‌وری نخود آبی محسوب می‌شوند. میزان صحت این وزن‌ها اساساً

جدول ۳- وزن ویژگی‌های مؤثر در تولید نخود آبی.

Table 3. The effective weights for irrigated chickpea production.

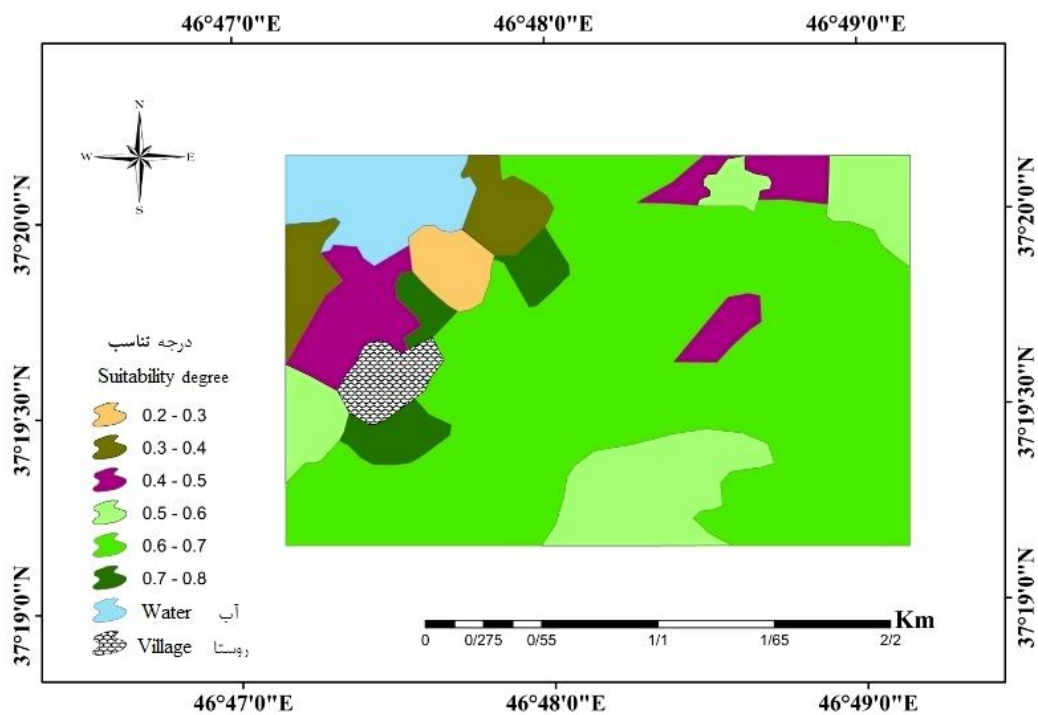
| وزن‌های استاندارد Standard weights | وزن‌ها Weights | ویژگی‌های اراضی Land properties | وزن‌های استاندارد Standard weights | وزن‌ها Weights | ویژگی‌های اراضی Land properties |
|---------------------------------------|-------------------|---|---------------------------------------|-------------------|---|
| 0.071 | 0.101 | شیب Slop (%) | 0.078 | 0.111 | بافت Texture |
| 0.067 | 0.095 | سنگریزه سطحی Surface gravel (%) | 0.100 | 0.143 | کربنات کلسیم CaCO ₃ (%) |
| 0.075 | 0.107 | واکنش خاک pH | 0.125 | 0.179 | ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq 100g soil ⁻¹) |
| 0.057 | 0.081 | زهکشی Drainage | 0.061 | 0.087 | عمق خاک Soil depth (cm) |
| 0.036 | 0.051 | مواد آلی Organic matter (%) | 0.054 | 0.077 | هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹) |
| 0.113 | 0.161 | ظرفیت نگهداری آب در دسترس Available holding water capacity (%) | 0.048 | 0.069 | درصد سدیم تبدلی ESP (%) |
| 0.055 | 0.079 | فرسایش خاک Soil erosion | 0.060 | 0.086 | شدت نفوذپذیری Infiltration rate (mm hr ⁻¹) |

برای سنجش دقت نقشه تناسب اراضی تهیه‌شده درجه تطابق آن با نقشه تولید واقعی (شکل ۵) مورد سنجش قرار گرفت. شایان ذکر است که دقت نقشه درجه تناسب با استفاده از رکوردگیری مزرعه‌ای و مقایسه آن با مقادیر پیش‌بینی‌شده با ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) معادل ۱۷۳/۷ و ضریب نش- ساتکلیف (NSE) برابر با ۰/۵۷۴ تأیید گردید. نتایج نشان داد که تطابق بین دو نقشه ۷۶/۷ درصد است. در اکثر نقاط مقدار تولید واقعی کم‌تر از مقداری است که با روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی مورد انتظار است که دلیل آن مدیریت پایین برخی از زارعین در منطقه می‌باشد که این مطلب در شرق منطقه مطالعاتی بیش‌تر مشهود است که این نتیجه در مطالعه‌های قبلی آیلاو سلاسی (۲) و وانراست و تنگ (۲۵) نیز گزارش شده است. یانگ و گولدمیس (۱۹۷۷) چنین بیان نمودند که تفاوت‌ها در مدیریت زمین ممکن است منجر به تفاوت در عملکردها بین مزارع، در حدود ۳ تا ۵ برابر کشورهای در حال توسعه گردد (۲۷).

توزیع و پراکندگی نقشه‌های تناسب اراضی برای نخود آبی تهیه‌شده از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، در شکل ۴ نشان داده شده است. سطح بزرگی از منطقه مورد مطالعه (۶۲/۲ درصد اراضی) دارای کلاس تناسب اراضی با دامنه تغییر ۰/۶ تا ۰/۷ دارند (جدول ۴). هم‌چنین هیچ نقطه‌ای در منطقه مورد مطالعه با توابع عضویت پیوسته^۱ برابر یک (تناسب عالی) وجود ندارد. مقدار یک نشانگر رده کاملاً متناسب و صفر کاملاً نامتناسب است.

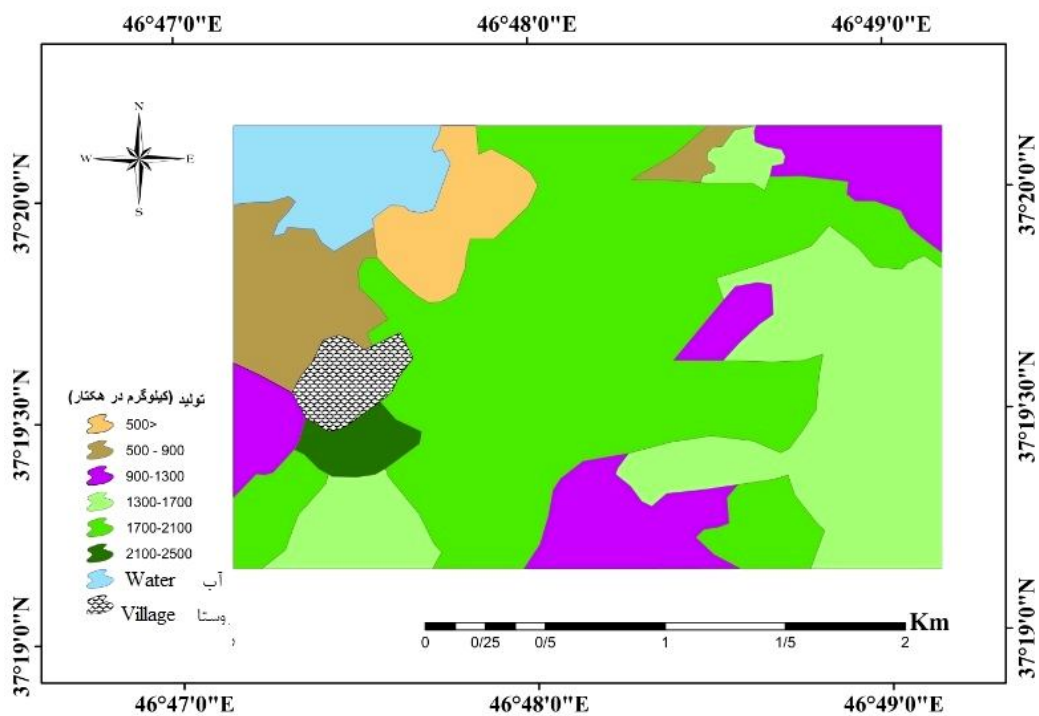
بررسی نقشه تناسب اراضی (شکل ۴) نشان‌دهنده این مطلب است که عمدتاً قسمت‌های مرکزی و جنوبی منطقه دارای تناسب ۰/۵ تا ۰/۷ بوده و تنها قسمت کوچکی از منطقه (۸/۴ درصد اراضی) دارای تناسب بالای ۰/۷ است که به رنگ سبز تیره قابل مشاهده است. مناطق اطراف سد به‌علت دارا بودن بافت سبک، عدم نگهداری آب و ظرفیت تبادل کاتیونی کم دارای تناسب کم‌تر از ۰/۵ می‌باشد.

1- Joint membership function



شکل ۴- نقشه درجات تناسب اراضی به روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای نخود آبی در منطقه مطالعاتی.

Figure 4. Land suitability evaluation degree for irrigated Chickpea in study area.



شکل ۵- نقشه تولید واقعی نخود آبی در منطقه مطالعاتی.

Figure 5. Actual production of study area for irrigated Chickpea in study area.

جدول ۴- مقایسه نتایج کلاس‌های تناسب اراضی با روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تولید واقعی نخود آبی.

Table 4. Comparison of observed yield and FAHP method results for irrigated Chickpea.

| تولید واقعی Observed yield | | روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی FAHP method | | کلاس‌های تناسب Suitability classes |
|--------------------------------------|------|---|------|---------------------------------------|
| وسعت کلاس‌ها Extension of classes | | وسعت کلاس‌ها Extension of classes | | |
| ha | % | ha | % | |
| 25 | 5 | 12 | 2.4 | 0.2-0.3 |
| 34 | 6.8 | 24 | 4.8 | 0.3-0.4 |
| 51 | 10.2 | 41 | 8.2 | 0.4-0.5 |
| 101.5 | 20.3 | 71 | 14.2 | 0.5-0.6 |
| 270 | 53.4 | 311 | 62.2 | 0.6-0.7 |
| 22.5 | 4.5 | 42 | 8.4 | 0.7-0.8 |

بنابراین تعمیم مفهوم تغییرات پیوسته ویژگی‌های اراضی از فضای جغرافیایی به فضای مدل‌سازی، امکان بررسی تفاوت‌های ریزمقیاس را فراهم نموده و اطلاعات مهم در رابطه با محدودیت تولید محصول و استراتژی‌هایی را برای غلبه بر آن محدودیت‌ها آشکار ساخت و همچنین سعی در محدود کردن اطلاعات مربوط به اراضی که توسط ارزیاب صورت پذیرفته را نداشت. این روش نتایج دقیقی را به دلیل این که موارد نامشخص را در ارتباط با شرایط مرزی معیارها مورد بررسی قرار می‌دهد، ارائه می‌کند و اثرات ویژگی‌هایی را که ارزش نزدیک به مرزهای کلاس تناسب مورد نظر دارند را محاسبه می‌نماید. این روش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر در تولید نخود آبی (ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب در دسترس، آهک، شیب، بافت خاک، واکنش خاک، سنگریزه، عمق خاک، نفوذپذیری، زهکشی، فرسایش خاک، هدایت الکتریکی، درصد سدیم تبدلی و ماده آلی) را مشخص نمود که می‌توان به ترتیب الویت اقدام به اصلاح یا کاهش اثرات آن‌ها به صورت پیوسته در راستای کشاورزی پایدار نمود.

استنتاج کلی تناسب اراضی نه تنها مبتنی بر مقادیر تابع عضویت بوده بلکه وابسته به ارزش‌ها و مقادیر وزن‌های تعلق یافته به هر معیار می‌باشد. نتیجه‌ای که حاصل شد این بود که نقشه‌های تناسب اراضی با این روش نشانگر اثر متقابل بین ویژگی‌ها، مقادیر تابع عضویت فازی و وزن‌های آن‌ها است. همچنین تطابق کلی بالا میان نقشه‌های فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تولید واقعی به این معنا است که تطابق خوبی بین توابع عضویت پیکسل‌ها (عنصرهای تصویری) و مجموعه تناسب اراضی برای نخود آبی وجود دارد.

نتیجه‌گیری کلی

اهداف این پژوهش، کاربرد روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای مدل‌سازی تناسب اراضی کشاورزی و بررسی احتمالات استفاده از طبقه‌بندی پیوسته در ارزش‌گذاری تناسب اراضی بود. نتایج نشان داد که تطابق بین دو نقشه تناسب و تولید واقعی ۷۶۷ درصد است. در اکثر نقاط مقدار تولید واقعی کمتر از مقداری است که با روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی انتظار آن می‌رود که دلیل آن مدیریت پایین برخی از زارعین در منطقه می‌باشد،

منابع

1. Ananda, J., and Herath, G. 2007. Multi-attribute preference modeling and regional land-use planning. *Ecological Economics*. 65: 325-335.
2. Ayalew, L.G., and Selassie, Y.G. 2015. Evaluation of land suitability for cash and perennial crops using geographical information system in east Amhara region. Ethiopia. *Inter. J. Rem. Sens. GIS*. 4: 1-7.
3. Baja, S., Chapman, D.M., and Dragovich, D. 2001. A conceptual model for defining and assessing land management units using a fuzzy modeling approach in a GIS environment. *Environmental Management*. 29: 647-61.
4. Burrough, P.A. 1989 Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *J. Soil Sci*. 40: 447-92.
5. Chaveza, M.D., Berentsen, P.B.M., and Oude Lansink, A.G.J.M. 2012. Assessment of criteria and farming activities for tobacco diversification using the Analytical Hierarchical Process technique. *Agricultural Systems*. 111: 53-62.
6. Eaalem, M., Camber, A., and Fisher, P. 2011. A comparison of Fuzzy AHP and ideal point methods for evaluation land suitability. *Trans. GIS J*. 15: 3. 329-346.
7. FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation. Food and Agricultural Organization. Rome, 76p.
8. FAO. 1993. Guidelines for land use planning. FAO Development Series Rome, 135p.
9. Hamzeh, S.M., Mokarram, M., and Alavipanah, S.K. 2014. Combination of Fuzzy and AHP methods to assess land suitability for barley: Case Study of semi-arid lands in the southwest of Iran. *Desert*. 19: 2. 173-181.
10. Jafari, S., and zaredar, N. 2010. Land Suitability analysis using multi attribute decision making approach. *Inter. J. Environ. Sci. Dev*. 1: 5. 441-445.
11. Joss, B.N., Hall, R.J., Sidders, D.M., and Keddy, T.J. 2007. Fuzzy-logic modeling of land suitability for hybrid poplar across the Prairie Provinces of Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*. 21: 231-249.
12. Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Heidari, A., and Omid, M. 2010. Land suitability evaluation using fuzzy continuous classification (A case study: Ziaran region). *Modern Applied Science*. 4: 7. 72-81.
13. Malczewski, J. 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York, John Wiley and Sons, 408p.
14. McBratney, A.B., and Odeh, I.O.A. 1997. Application of Fuzzy sets in soil science: Fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma*. 77: 85-113.
15. Newhall, F., and Berdanier, C.R. 1996. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. Natural Resources Conversations Service, Soil Survey Investigation Report, 13p.
16. Pontius, R.G.J., and Cheuk, M.L. 2006. A generalized cross-tabulation matrix to compare soft classified maps at multiple resolutions. *Inter. J. Geograph. Inf. Sci*. 20: 1-30.
17. Saaty, T.L. 1977 A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychol*. 15: 234-81.
18. Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. New York, McGraw-Hill, 267p.
19. Saaty, T.L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*. 1: 83-97.
20. Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Broderson, W.D. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils. Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 295p.
21. Siddique, M. 1996. Landfill siting using geographic information systems: A demonstration. *J. Environ. Engin*. 122: 15-523.
22. Tang, H., Debaveye, J., Ruan, D., and Van Ranst, E. 1991. Land suitability classification based on fuzzy set theory. *Pedologie*. 3: 277-290.

23. USDA. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th edition. Soil Survey Staff, Natural Resource Conservation Service, 359p.
24. Van Ranst, E., Tang, H., Groenemans, R., and sinthurahat, S. 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. *Geoderma*. 70: 1. 1-19.
25. Van Ranst, E., and Tang, H. 1999. Fuzzy reasoning versus Boolean logic in land suitability assessment. *Malaysi. J. Soil Sci.* 3: 39-58.
26. Voogd, H. 1983 *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London, Pion, 380p.
27. Young, A., and Goldsmith, P.F. 1977. Soil survey and land evaluation in developing countries: A case study in Malawi. *Geograph. J.* 143: 407-431.
28. Zhang, J., Su, Y., Wu, Y., and Liang, H. 2015. GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China. *Computers and Electronics in Agriculture*. 114: 202-211.



Land suitability evaluation in Hashtrood region by fuzzy analytical hierarchy processes (FAHP) for irrigated Chickpea

*M. Servati¹, H.R. Momtaz², H. Rezaei³ and M. Pishnamaz Ahmadi⁴

¹Assistant Prof., Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University, ²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University, ³Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, ⁴M.Sc. Graduate, Dept. of Geography and Programing, University of Tabriz

Received: 08/10/2016; Accepted: 04/29/2017

Abstract

Background and Objectives: The FAO framework for land suitability evaluation is the most commonly used and is based on the biophysical properties and socioeconomic parameters of lands. The FAO framework for land suitability and soil mapping application a Boolean approach that has been criticized by some of authors. Because the Boolean representations ignore the continuous nature of soil and uncertainties in measurement. Also for overcoming problems related to vagueness in definition and other uncertainties, Fuzzy set methodologies have been proposed. Analytical Hierarchy Process (AHP) calculates the needed weighting factors with the help of a preference matrix where all identified relevant criteria are compared against each other with reproducible preference factors. Finally the derivation of suitability using Fuzzy AHP method was not just based on the fuzzy membership function values, but also the weighting values allocated to any criterion. This article uses of Fuzzy-AHP methods to land suitability evaluation. The method were evaluated application a case study which model the opportunities for chickpea production under irrigation conditions in the Hashtrood region in East Azarbaijan province, IRAN.

Materials and Methods: Soil morphological and analytical data were obtained from 29 sampling profile on Chickpea farms. Then a number of relevant soil and landscape criteria were identified through the literature and their weights specified as a result of discussions with local experts. For land suitability evaluation by FAHP approach, First hierarchical structure employed, Second asymmetric and symmetric models were used for land characteristics, Third Weighting the model criteria provides relative measures of the interaction and importance of the criteria. The weights were obtained through a pairwise comparison analysis in an AHP approach in discussion with local experts, Fifth the weighted criterion layers are generated using the relative function, Finally The suitability is calculated by combining the weighted criterion layers. For assessing of accuracy of modeling, has been used matching of between suitability and actual production maps.

Results: The results indicated that cation exchange capacity (0.179), available-water-holding capacity (0.161) and soil calcium carbonate (0.143) have higher weights than other criteria and therefore they are considered as the most significant criteria in the study area. The results of the Fuzzy AHP approaches showed that no locations in the study area were mapped with a degree of suitability equal to 1. In this model, a number of locations in specific criteria were given MFs of 1 due to the strength of support they offered in the overall assessment of chickpea suitability. However, the derivation of the overall suitability using the Fuzzy AHP approach was not only based on the fuzzy membership function values but also the weighting values allocated to each criterion. The results of the Fuzzy AHP showed that the majority of the study area has membership values to the set of suitability between 0.6 and 0.7. Agreement between land suitability and actual map is 76.7; also this model has been presented good result for land suitability of chickpea in study region. The results of this work provide information to decision-makers in their land planning decisions and further work should develop trial plots to ground truth the suitability measures.

Conclusion: Fuzzy AHP approaches accommodate the continuous nature of some soil properties and produce more intuitive distributions of land Suitability Indexes.

Keywords: Experts opinions, Map accommodation, Membership function

* Corresponding Author; Email: m.servati@urmia.ac.ir