نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد یازدهم، شماره سوم، ۱۴۰۰
۱۵۹-۱۷۵
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.18808.2010
(مقاله کامل علمی- پژوهشی)

استفاده از رویکرد فازی–دلفی در ارزیابی تناسب بخشی از اراضی هوراند برای گندم آبی

سمیرا رسولی[۱]، حسین رضائی*[۲]، مسلم ثروتی[۳] و علی‌اصغر جعفرزاده[۴]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز، [۲]استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز،
[۳]استادیار مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه، [۴]استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸

چکیده

سابقه و هدف: ارزیابی تناسب اراضی از اقدامات بنیادین مدیریت پایدار هر منطقه می‌باشد. کاستی‌ها در روش‌های سنتی ارزیابی تناسب اراضی، توجه کاربران این عرصه را به استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و تصمیم‌گیری چندمعیاره معطوف نموده است. انواع زیرمجموعه‌های روش‌های ذکرشده به‌تنهایی و یا در تلفیق با یکدیگر به‌منظور بالابردن دقت روش‌های ارزیابی، سهولت محاسبات و دست‌یابی به نتایج جنبی مفید تاکنون مورداستفاده قرار گرفته‌اند. روش فازی–دلفی رویکردی از روش‌های مورد بحث است که در این مطالعه ضمن بررسی توان اراضی منطقه هوراند در تولید گندم آبی، کارایی این روش تلفیقی نیز مورد سنجش قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ٦٦٢ هکتار از اراضی شهرستان هوراند در قالب ۱۲ واحد اراضی انتخاب و پس از جمع‌آوری اطلاعات اقلیم، زمین‌نما و خاک، روش فازی–دلفی به‌منظور ارزیابی کیفی و کمّی تناسب اراضی برای گندم آبی مورد استفاده قرار گرفت. ارزیابی کیفی با تعیین شاخص اراضی و ارزیابی کمی برمبنای تولید پیش‌بینی‌شده محاسبه شده از تلفیق تولید پتانسیل حاصل از روش پهنه‌بندی اکولوژیکی–زراعی با شاخص خاک صورت گرفت. در این راستا گزینش و تعیین وزن فاکتورهای دخیل در ارزیابی براساس نظرات خبرگان با روش دلفی انجام و با استفاده از ضریب کندال مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. طی فازی‌سازی ویژگی‌های اراضی با تابع عضویت کندل، ماتریس ویژگی‌ها تشکیل و با ماتریس وزن‌ها ترکیب شد که نتیجه آن تشکیل ماتریس تناسب بود. شاخص خاک و اراضی از غیرفازی‌سازی ماتریس تناسب به روش T نرم مثلثی حاصل و کلاس‌های تناسب با توجه به آن تعیین و پهنه‌های هر کلاس مشخص گردید. اعتبارسنجی رویکرد فازی–دلفی برمبنای آزمون‌های آماری مرسوم صورت گرفت.

یافته‌ها: از مجموعه ویژگی‌های اراضی منطقه موردمطالعه با خاک‌های انتی‌سول و اینسپتی‌سول، ۸ ویژگی (اقلیم، شیب، بافت، آهک، گچ، شوری، زهکشی و سیل‌گیری) براساس نظرات خبرگان به‌منظور ارزیابی تناسب اراضی انتخاب و ارزش‌گذاری شدند که از بین آن‌ها اقلیم بیش‌ترین و گچ کم‌ترین وزن را به خود اختصاص دادند که صحت فرآیند توسط نرخ ناسازگاری ۰/۰۷ تأیید شد. نتایج ارزیابی‌های کیفی و کمّی تناسب کلاس‌های S1 تا S3 را برای تیپ بهره‌وری گندم آبی با محدودیت‌های شیب، شوری، بافت و گچ نشان داد. تفاوت کلاس واحدهای اراضی در

* مسئول مکاتبه: hosseinrezaei@tabrizu.ac.ir

روش‌های کیفی و کمّی تنها در یک واحد اراضی مشاهده شد که در آن روش کمّی کلاس پایین‌تری داشت. طبق متوسط شاخص مدیریت ۰/۷۳، کلاس مدیریتی منطقه متوسط برآورد شد. مقادیر ضریب تبیین ۰/۹۱، خی‌دو ۱/۳۲، ریشه میانگین مربعات خطای ۲/۱ درصد و میانگین هندسی نسبت خطای ۱/۳٤ در اعتبارسنجی روش فازی-دلفی حاصل شد.

نتیجه‌گیری: ایفای نقش کاربران اصلی اراضی زراعی همراه با بازخورد کنترل شده نظرات آن‌ها در ارزش‌گذاری ویژگی‌های دخیل در ارزیابی تناسب اراضی همراه با امکان تلفیق وزن ویژگی‌ها با امتیازات آن‌ها و نیز در نظرگیری کلاس‌های تناسب بینابین اهم مزایای مدل مورد مطالعه نسبت به روش‌های سنتی ارزیابی تناسب شناخته شدند که رویکرد فازی-دلفی را با توجه به برآورد مناسب از توان اراضی منطقه به عنوان روشی مناسب معرفی نمودند. دقت و صحت آماری بررسی شده رویکرد مذکور هر چند با قدری بیش برآوردی، تأییدکننده قابلیت اعتماد به آن در ارزیابی تناسب اراضی است. در کنار یافته‌های اصلی پژوهش، نتایج یکسان ارزیابی کیفی و کمّی تناسب با رویکرد مورد بحث، امکان اولویت‌بندی رفع محدودیت‌ها براساس یافته‌های جنبی و نیز توجه به کلاس تناسب اراضی در کنار شاخص مدیریت برای برنامه‌ریزی مدیریت آتی اراضی مواردی هستند که می‌توانند برای پژوهشگران و کارشناسان اجرایی مفید باشند. با این حال پیشنهاد به اجرای این مدل نوین در عرصه‌های مختلف برای انواع تیپ‌های بهره‌وری به‌منظور کشف سایر قابلیت‌های مدل و توصیه به استفاده از آن در سطح کلان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی اکولوژیکی-زراعی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، تناسب اراضی، هوراند

مقدمه

برقراری امنیت غذایی از ضروریات مدیریت کلان هر کشوری بوده و از سوی دیگر حفظ سرمایه اراضی برای نسل‌های آینده امری است که همواره بایستی مورد توجه باشد. دست‌یابی به این دو مهم با توجه به روند افزایش جمعیت و محدودیت اراضی مناسب کشت، روش‌های علمی کشاورزی پایدار را می‌طلبد که ارزیابی تناسب اراضی را می‌توان از نخستین گام‌های آن دانست.

سیستم فائو معمول‌ترین روش ارزیابی تناسب اراضی است که در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد، لیکن این روش با توجه به نارسایی‌هایی که دارد همواره مورد نقد قرارگرفته است (۹، ۲۱ و ۳۰). برای رفع کاستی‌های روش مذکور، به‌کارگیری روش‌های هوش مصنوعی و تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی تناسب اراضی مورد توجه قرار گرفته است (۱۰ و ۲٦). ازجمله مواردی که در دقت مدل‌سازی تناسب اراضی همواره مورد بحث بوده انتخاب صحیح فاکتورهای دخیل و تعیین اهمیت آن‌ها است (۲۵). هم‌چنین اثبات شده نتایج هر مدلی که توجهی به نظر کارشناسان مرتبط در رابطه با فاکتورهای دخیل در ارزیابی نداشته باشد ناپایدار است (۱۹). در چنین مواقعی که انتخاب فاکتورها و به عبارتی تصمیم‌گیری‌ها نیازمند بررسی چندین معیار مختلف و گاهی متضاد از دیدگاه کارشناسان مختلف است، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با حذف خطاهای روش تلفیق، عملیات تصمیم‌گیری را علمی‌تر، دقیق‌تر و راحت‌تر می‌نمایند (۲۸). در این راستا روش دلفی که جزو مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، ازجمله کاراترین راه‌کارها معرفی شده است (۱۹، ٤٥ و ٤٧).

بنابراین می‌توان بیان نمود، دلفی که به‌عنوان روشی مناسب برای گروه‌بندی و ارتباط متخصصان برای حل مشکلات به‌صورت سیستماتیک معرفی شده (۱۱)، از جمله نگرش‌های نوین است که در ارزیابی کیفی و کمّی تناسب اراضی می‌تواند باعث بهبود روش فائو شود. این روش فرآیندی ساختارمند برای گردآوری داده‌ها برمبنای حدس و قضاوت اطلاعات است که از مهم‌ترین ویژگی‌های آن می‌توان به بازخورد کنترل شده و گزارش آماری نتایج و ناشناس بودن افراد تصمیم‌ساز اشاره نمود (١٤). کارایی روش دلفی نه‌تنها موجب شده تا این سیستم در ارزیابی قابلیت اراضی برای کاربری‌های متفاوت به‌کار رود (۲۰، ۲۹، ۳۲ و ۳۷)، بلکه در مباحث اختصاصی ارزیابی مشتمل بر سنجش تناسب اراضی نیز ورود نماید (٦، ۱۷ و ۳۳). شایان ذکر است، دلفی تنها مرحله آغازینی است که صرفاً برای کسب اجماع می‌کوشد و این اجماع ضرورتاً دقیق‌ترین نظر نیست، بنابراین بسیار وابسته به تجربه و توانایی کاربر است. علی‌رغم اقبال بالای مدل دلفی برای رفع مشکلات سیستم فائو، باید به این نکته نیز توجه نمود که در روش دلفی نظرات خبرگان در قالب اعداد قطعی بیان می‌شود؛ حال‌آن‌که در طبیعت، اصل عدم قطعیت برقرار می‌باشد (٦، ۲۰). برای رفع نواقص روش دلفی توصیه به تلفیق آن با روش‌های دیگر شده که در این بین سیستم فازی با توجه به قابلیت بیان تغییرات تدریجی و به عبارتی رفع مشکل عدم قطعیت‌ها از بهترین گزینه‌ها معرفی شده است (٤، ۲۳ و ۱۷). اگرچه این روش تلفیقی در علوم مختلف جایگاه خود را پیدا کرده، اما در عرصه کشاورزی کاربردهای اندکی از آن هم‌چون مطالعات کامونپاتانا و همکاران (۲۰۱۵) و لطیفی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شده است (۱۸ و ۲۲). با توجه به مزایای روش تلفیقی فازی-دلفی هم‌چون دقت در غربالگری و رتبه‌بندی فاکتورها، صرفه‌جویی در زمان و هزینه مطالعات در کنار حفظ امانت نظرات کارشناسان بدون حذف موردی و نیز انعطاف‌پذیری بالا (١٦)، چنین به‌نظر می‌رسد که رویکرد فازی-دلفی بتواند با قابلیت‌های خود گامی مفید در ارزیابی تناسب اراضی باشد. ازاین‌رو با عنایت به کمبود منابع علمی مبنی‌بر استفاده از این روش در ارزیابی تناسب اراضی، ضروری است مطالعاتی در نواحی مختلف برای بررسی امکان کاربرد این روش در ارزیابی تناسب اراضی و صحت نتایج حاصل از آن صورت گیرد تا بتوان توصیه به استفاده از روش مذکور در عرصه‌های اجرایی نمود.

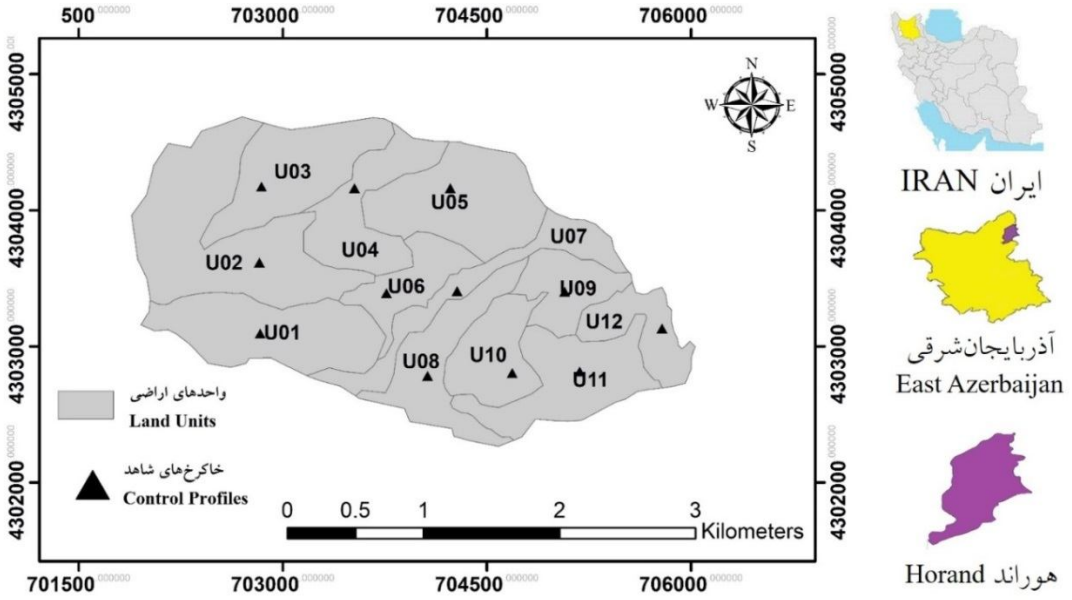
با توجه به موارد اشاره‌شده در فوق، پژوهش حاضر جهت امکان‌سنجی تلفیق روش‌های هوش محاسباتی و آماری چندمعیاره با مطالعات میدانی به‌منظور ارزیابی تناسب اراضی و توسعه کشاورزی پایدار بخشی از اراضی کشاورزی منطقه هوراند طراحی شده تا ضمن تکمیل انواع مطالعات روش‌های نوین ارزیابی تناسب اراضی، با ارائه محدودیت‌ها و مزایای استفاده از روش فازی-دلفی، دستورالعملی علمی و دقیق در جهت مدیریت اراضی منطقه مورد بررسی نیز ارائه نماید.

مواد و روش‌ها

برای نیل به اهداف مطالعه گام نخست اشراف اطلاعاتی به منطقه مورد مطالعه است که نتیجه آن تعیین ٦٦٢ هکتار از اراضی شهرستان هوراند استان آذربایجان‌شرقی، واقع در بلوک 38S سیستم جغرافیایی UTM با جانمایی مشخص‌شده در شکل ۱، به‌عنوان محدوده اجرای طرح بود. اقلیم سرد و نیمه‌خشک با میانگین دمای سالانه منطقه ۱۱/۷°C و متوسط بارندگی سالانه ۲۹۰ میلی‌متر، فیزیوگرافی فلات و دشت مرتفع قدیمی و تراس‌های فوقانی، خاک‌های انتی‌سول و اینسپتی‌سول با رژیم‌های

رطوبتی و حرارتی خاک به‌ترتیب زریک و مزیک و نیز کاربری زراعی (عمدتاً گندم) با تغذیه از منبع آبی سد علی‌آباد توصیفی کلی از ویژگی‌های منطقه می‌باشند (۵ و ۱۵). براساس شرایط محیطی حاکم بر منطقه هم‌چون نوع تیپ بهره‌وری غالب، محدودیت‌های اقلیمی و نیز تأمین منابع آبی منطقه، گندم آبی به‌عنوان تیپ بهره‌وری پایلوت مورد مطالعه در این پژوهش انتخاب شد.

الگوی نمونه‌برداری در محدوده مورد بررسی، آرایش شبکه‌ای نسبتاً منظم با انتخاب خاکرخ‌های شاهد برای ۱۲ واحد اراضی جداسازی شده برمبنای تیپ‌های اراضی و نظر کارشناسی بود (شکل ۱). جمع‌بندی الگوی مذکور سطح مطالعاتی نیمه‌تفصیلی دقیق که کاربردی‌ترین سطح در مطالعات منابع خاک و اراضی به توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران می‌باشد را در این مطالعه نشان داد.



شکل ۱- منطقه مطالعاتی، واحدهای اراضی و نقاط نمونه‌برداری.

Figure 1. Study area, lands units and sampling point.

با ناوبری نقشه محدوده مطالعاتی در عرصه میدانی، مطابق با اصول مطالعات میدانی (۳۶) ویژگی‌های زمین‌نمای هر واحد اراضی ثبت و خاکرخ‌های شاهد مربوطه حفر، تشریح و نمونه‌برداری شدند. طبق دستورالعمل استاندارد تجزیه خاک مجموعه‌ای از ویژگی‌های خاک‌های نمونه‌برداری‌شده، مشتمل بر بافت، واکنش گل اشباع، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، میزان گچ، درصد سدیم تبادلی و سنگریزه در آزمایشگاه تعیین شدند (۴۰). هم‌چنین رده‌بندی خاکرخ‌ها نیز تا سطح خانواده با استفاده از کلید رده‌بندی آمریکایی (۴۶) انجام شد.

ارزیابی تناسب اراضی با روش فازی-دلفی: به‌منظور ارزیابی تناسب منطقه برای تیپ بهره‌وری گندم آبی از روش فازی-دلفی استفاده شد که در گام نخست ارزش‌گذاری و انتخاب ویژگی‌های اراضی برمبنای روش دلفی صورت گرفت (۱۶ و ۴۲).

برای انتخاب ویژگی‌های دخیل در تعیین تناسب تیپ بهره‌وری مدنظر و نیز مشخص نمودن درجه اهمیت آن‌ها و به‌عبارتی تعیین وزن ویژگی‌ها، از جمع‌بندی نظرات ۳٤ کارشناس، محقق و کشاورز پیش‌رو، برمبنای پرسش‌نامه تکمیل شده توسط آنان، در نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. بدین‌منظور انتخاب خبرگان شرکت‌کننده در نظرسنجی با روش گلوله برفی و تعیین وزن ویژگی‌ها با سری ۷ درجه‌ای لیکرت به‌شرح متغیرهای کیفی جدول ۱ انجام شد (۷ و ۲٤). روش نمونه‌گیری گلوله برفی با داشتن تعداد اولیه‌ای از افراد شروع می‌شود. اعضای آینده نمونه از طریق اعضای سابق با توجه به شناخت آنان انتخاب می‌شوند و نمونه مانند یک گلوله برفی بزرگ و بزرگ‌تر می‌شود. برای مثال در یک پژوهش کیفی با روش مصاحبه، از افراد پرسیده می‌شود که آیا فرد دیگری را برای مصاحبه پیشنهاد می‌کنند و این‌گونه جامعه دخیل در نظرسنجی توسعه می‌یابد. برای تعیین وزن ویژگی‌های اراضی نیز طی روش دلفی پس از گردآوری دیدگاه خبرگان، میانگین نمره نظرات آن‌ها پیرامون هر ویژگی محاسبه و با توجه به چارچوب نظری اگر توافق وجود نداشت، میانگین محاسبه شده به‌عنوان بازخورد کنترل شده به همراه پرسش‌نامه مجدد در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد. براساس میانگین دور نهایی به غربال ویژگی‌ها پرداخته و برای طیف هفت درجه، میانگین‌های زیر ۵ حذف می‌شود.

جدول ۱- اعداد طیف لیکرت.

Table 1. Likert scale number.

بی‌اهمیت Unimportant	اهمیت خیلی‌کم Little important	اهمیت کم Slightly important	متوسط Moderately important	با اهمیت Important	خیلی با اهمیت Very important	کاملاً با اهمیت Absolutely Essential
1	2	3	4	5	6	7

به‌منظور تعیین میزان وحدت نظر (میزان سازگاری و درستی نظرات کارشناسی) از ضریب هماهنگی کندال[1] (رابطه‌های ۱ و ۲) استفاده شد. این ضریب برای تعیین درجه هماهنگی و موافقت بین چندین دسته وزن مربوط به n ویژگی خاک، اقلیم و زمین‌نما است. هم‌چنین این مقیاس برای تعیین روایی دیدگاه m تعداد داوران قابل استفاده است. ضریب هماهنگی کندال نشان می‌دهد افرادی که چند مقوله را براساس اهمیت آن‌ها مرتب کرده‌اند، به‌طور اساسی معیارهای مشابهی را برای قضاوت درباره اهمیت هریک از مقوله‌ها به‌کار برده‌اند و از این‌رو با همدیگر اتفاق نظر دارند (۷).

$$w = \frac{12s}{m^2(n^3-n)} \qquad (۱)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n}(R_i - R_{ave})^2 \qquad (۲)$$

که در آن‌ها، Rj تعداد وزن‌های مربوط به یک عامل، m تعداد داوران یا تعداد رتبه‌ها، n تعداد ویژگی‌ها و S نیز از رابطه ۲ قابل برآورد است. در رابطه ۲ R_{ave} میانگین هر ویژگی است. مقدار این مقیاس هنگام هماهنگی کامل برابر یک و در زمان نبود کامل هماهنگی برابر با صفر است.

بعد از محاسبه اولویت‌ها و پیش پردازش داده‌های مربوط به آن ویژگی‌ها (میانگین‌گیری وزنی از خاکرخ‌های شاهد در دامنه ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری)، فازی‌سازی مقادیر آن‌ها در نرم‌افزار Matlab برای تعیین درجه عضویت با تابع عضویت کندل[2] (MF)

1- Kendall

2- Candle

طبق رابطه ۳ و با تعیین حد پایینی (b_1)، حد بالایی (b_2) و حدود انتقالی (d) درجه عضویت هر یک از ویژگی‌ها انجام شد که نتیجه آن ماتریس ویژگی‌ها یا R به ابعاد (۸×۵) است (٤٤).

$$MF_X = \begin{cases} \dfrac{1}{\left[1+\left(\dfrac{x-b_1}{d}\right)^2\right]} & x < b_1 \\ 1 & b1 \le x \le b_2 \\ \dfrac{1}{\left[1+\left(\dfrac{x-b_2}{d}\right)^2\right]} & x > b_2 \end{cases} \quad (۳)$$

برای تعیین شاخص اراضی، از ترکیب ماتریس وزن‌ها یا W به ابعاد (۱×۸) (هشت ویژگی هر کدام دارای یک وزن) با ماتریس ویژگی‌ها یا R به ابعاد (۵×۸) (۸ ویژگی انتخابی با درجه تعلق آن ویژگی به ۵ کلاس تناسب اراضی) طبق رابطه ٤ استفاده شد که نتیجه آن ماتریس تناسب یا St به ابعاد (۱×۵) است.

$$[St]= [W] \text{ o } [R] \quad (٤)$$

در گام بعد برای حصول شاخص اراضی (LI) غیرفازی‌سازی به روش T نرم مثلثی انجام شد که طی آن مجموع عناصر ماتریس نهایی تناسب اراضی برابر یک قرار داده شد (نرمال کردن) و عناصر جدید (Ej)، به‌ترتیب در متوسط شاخص‌های کلاس‌های مختلف تناسب اراضی (Aj)، براساس رابطه ۵ ضرب گردید (۳ و ۹).

$$LI = \sum Ej \times Aj \quad (۵)$$

بدین‌ترتیب شاخص اراضی جهت ارزیابی کیفی تناسب برای هر واحد در محیط نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۸b حاصل و سپس کلاس‌های تناسب برمبنای تقسیم‌بندی ارایه شده توسط سایس و همکاران (۱۹۹۱b)، به‌شرح ۰ تا ۱۲/۵ نامتناسب، ۱۲/۵ تا ۲۵ نامتناسب قابل اصلاح، ۲۵ تا ۵۰ تناسب بحرانی، ۵۰ تا ۷۵ نسبتاً مناسب و بالای ۷۵ کاملاً مناسب مشخص شد (٤۲).

برای ارزیابی کمّی تناسب اراضی نیاز به محاسبه تولید پتانسیل محصول می‌باشد که با استفاده از روش اکولوژیکی-زراعی محاسبه شد (٤۱). در گام بعد تولید پیش‌بینی‌شده به‌وسیله حاصل‌ضرب تولید پتانسیل گندم در شاخص خاک هر واحد اراضی (شاخص خاک از تلفیق همه ویژگی‌های اراضی به‌جز اقلیم حاصل می‌شود) محاسبه شد. عملکرد واقعی طی آماربرداری با پلات ۱×۱ متر چوبی از مزارع گندم در سال ۱۳۹۷ اخذ گردید و به هکتار تعمیم داده شد. تولید بحرانی برمبنای گزارش کاربران محلی و حدود کلاس‌های کمّی نیز براساس راهنمای ارایه شده توسط سایس و همکاران (۱۹۹۱b) تعیین (٤۲) و با توجه به مقادیر تولید پیش‌بینی‌شده کلاس‌های کمّی تناسب اراضی مشخص گردید.

برمبنای کلاس‌های تناسب تعیین‌شده برای تیپ بهره‌وری مورد مطالعه، نقشه‌های تناسب اراضی با استفاده از نرم‌افزار Arc Map 10.3 ترسیم و بحث‌های نهایی و مدیریتی با استناد به آن‌ها و نیز شاخص مدیریت منطقه (۱۳) که از تقسیم تولید واقعی بر تولید پیش‌بینی شده قابل محاسبه است، صورت گرفت. اعتبارسنجی مدل به‌کار رفته برای ارزیابی کیفی از طریق ضریب تبیین (r^2) رابطه رگرسیونی بین شاخص اراضی و تولید مشاهده‌شده و برای ارزیابی کمّی طی بررسی ضریب تبیین (r^2) رابطه رگرسیونی، آزمون مربع کای، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین هندسی نسبت خطا (GMER) بین تولید مشاهده‌شده و واقعی انجام شد.

نتایج و بحث

انتی‌سول‌ها و اینسپتی‌سول‌هایی با افق‌های مشخصه کمبیک، جیپسیک و کلسیک خاک‌های شناسایی‌شده در منطقه مورد مطالعه هستند که دارای بافت‌هایی سبک تا سنگین، درصد ذرات درشت‌تر از شن ناچیز تا ۲۰ درصد، واکنش نسبتاً قلیایی با وضعیت غیرشور تا جزیی شور، درصد کربن آلی ناچیز تا ۱/۲۸، کربنات کلسیم معادل ۸/۱ تا ٤۰/٤ درصد، ظرفیت تبادل کاتیونی ۱٤/۲ تا ۳٤/٦ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم و ESP ۳/۷ تا ۹/٤ درصد می‌باشند.

در راستای اجرای ارزیابی تناسب اراضی، نخست گزینش فاکتورهای دخیل در ارزیابی تناسب گندم آبی براساس نظر خبرگان صورت گرفت که از میان ۱۹ ویژگی اراضی (شاخص اقلیم، شیب، ارتفاع، زهکشی، سیل‌گیری، بافت، عمق خاک، سنگریزه سطحی، سنگریزه زیرسطحی، pH، ماده آلی، کربنات‌کلسیم معادل، گچ، نفوذپذیری، درصد اشباع بازی، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب، هدایت الکتریکی و سدیمی بودن)، ۸ مورد از آن‌ها طبق روش دلفی به‌عنوان اصلی‌ترین عوامل دخیل در تولید گندم آبی انتخاب و ارزش‌گذاری شدند (جدول ۲). در بین فاکتورهای انتخابی اقلیم بیش‌ترین و میزان گچ کم‌ترین وزن را به خود اختصاص دادند و این در حالی بود که سایر ویژگی‌های مورد بررسی به‌جز ۸ مورد یاد شده در جدول ۲، وزن‌های بسیار کمی با فاصله فاحش از فاکتورهای انتخابی داشتند و نرخ ناسازگاری ۰/۰۷ و منابع علمی پیشین (۱، ۳٤، ۳۹ و ٤۳) تأییدکننده صحت این انتخاب و وزن‌های مربوطه هستند. مورد دیگر در خصوص انتخاب فاکتورهای مورد بررسی توجه به این نکته است که بی‌شک در نواحی مختلف انتخاب و ارزش‌گذاری فاکتورها متفاوت خواهد بود چرا که اظهار نظر خبرگان در کنار توجه به اهمیت علمی فاکتورها در تولید محصول، تا حدی متأثر از محدودیت‌های موجود در منطقه نیز خواهد بود.

جدول ۲- وزن ویژگی‌های اراضی برای گندم آبی.

Table 2. Weight of land characteristics for irrigated wheat.

ویژگی Properties	اقلیم Climate	شیب Slope (%)	کربنات کلسیم معادل CCE (%)	بافت Texture	زهکشی Drainage	شوری EC ($dS\ m^{-1}$)	سیلگیری Flooding	گچ Gypsum (%)
وزن Wheight	0.693	0.514	0.426	0.395	0.361	0.312	0.235	0.121
وزن نرمال شده Normalized Wheight	0.227	0.168	0.139	0.129	0.118	0.102	0.077	0.04

پس از انتخاب فاکتورهای مذکور، پیش‌پردازش داده‌ها برای تعیین درجه تناسب هر ویژگی از واحدهای اراضی انجام شد که نتایج آن در جدول ۳ ارایه شده است. هم‌چنین برای ارزیابی کمّی تناسب اراضی تیپ بهره‌وری گندم آبی، نیاز به اطلاعات تولید پتانسیل، تولید بحرانی و محدوده کلاس‌های کمّی تناسب اراضی بود که نتایج مربوطه در جدول‌های ٤ و ۵ جمع‌بندی شده است.

جدول ۳- متوسط مقدار ویژگی‌های مورد استفاده در ارزیابی تناسب.

Table 3. Mean of land characteristics for suitability evaluation.

خاکرخ Profile	بافت Texture	شیب Slope (%)	شوری EC ($dS.m^{-1}$)	سیلگیری Flooding*	زهکشی Drainage	کربنات کلسیم معادل CCE (%)	گچ Gypsum (%)
1	Loam	3	2.65	F0	Partly-well	22.64	11.12
2	Loam	5	1.89	F2	Partly-well	20.07	9.43
3	Loam	4	2.14	F2	Partly-well	24.45	10.60
4	Clay	2	4.05	F1	well	28.38	7.70
5	Clay loam	4	1.22	F0	well	28.25	0.85
6	Clay loam	3	1.90	F0	well	31.18	0.92
7	Clay loam	2	2.37	F1	well	31.19	0.59
8	Loam	6	1.51	F0	well	28.04	1.73
9	Silty clay loam	3	1.02	F1	well	19.95	0
10	Loam	2	1.13	F0	well	20.21	0
11	Loam	3	2.33	F0	well	23.55	0
12	Sandy loam	4	0.76	F1	well	14.39	0

*F: خطر سیل‌گیری: F0 فاقد، F1 کم، F2 متوسط

*F: Flooding hazard: F0: No, F1: Slight, F2: medium

جدول ٤- متغیرهای استفاده شده برای محاسبه تولید پتانسیل گندم.

Table 4. Variable used for calculate potential production of wheat.

پارامترها	اطلاعات/ مقادیر	پارامترها	مقادیر
تیپ بهره‌وری Utilization Type	گندم Wheat	درصد رطوبت تیپ بهره‌وری HiumidityPercentage of Utilization Type	25%
گروه فتوسنتزی Photosynthesis Groups	C_1	شاخص سطح برگ Leaf Area Index (m^2/m^2)	4.5
KALI	0.95	شاخص برداشت Harvest Index	0.4
(kg_{CH2O}/ha.hr) Bgm	235.8	Bo	217.8
C_t	0.0027	Bc	419.6
متوسط درجه حرارت روزانه سیکل رشد (°C) Mean Temperature of Growin Cycle	13.5	F	0.438
حداکثر سرعت فتوسنتز ($kg_{drymatter}$/day) Maximum Photosenthesis Rate	30	C30	0.0108
تولید بحرانی Marginal Yield ($kg\ ha^{-1}$)	2500	تولید پتانسیل Potential production ($kg\ ha^{-1}$)	6230

جدول ٥- محدوده کلاس‌های تناسب اراضی کمّی برای گندم آبی (کیلوگرم در هکتار).

Table 5. Range of quantitative land sytability classes for irrigated wheat.

تیپ بهره‌وری Land Utilization Type	S1	S2	S3	N
گندم آبی Irrigated Wheat	4673<	3500-4673	2250-3500	<2250

ماتریس نهایی شاخص خاک و اراضی در جدول ٦ و شاخص خاک، شاخص اراضی، تولید واقعی، تولید پیش‌بینی‌شده و کلاس‌های تناسب اراضی در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج جدول ٦ درجه تعلق شاخص خاک و اراضی هر واحد را به کلاس‌های تناسب مختلف نشان می‌دهد که این نکته از مزایای روش فازی در حل مشکل منطق بولین (تعلق یا عدم تعلق قطعی به یک کلاس تناسب) پیش آمده در روش‌های سنتی می‌باشد. براساس نتایج جمع‌بندی ارزیابی‌های صورت گرفته که در جدول ۷ منعکس‌شده، مشاهده می‌شود که وضعیت منطقه از نظر تناسب برای تیپ بهره‌وری گندم آبی با استفاده از هر دو روش کیفی و کمّی از حالت کاملاً متناسب (S1) تا بحرانی (S3) می‌باشد.

جدول ٦- ماتریس تناسب نهایی برای شاخص‌های اراضی و خاک.

Table 6. Final suitability matrix of land and soil indexes.

واحد اراضی Land unit	شاخص اراضی Land index	شاخص خاک Soil index
U01	E=[0.07, 0.11, 0.16, 0.6, 0.06]	E=[0.06, 0.1, 0.18, 0.55, 0.11]
U02	E=[0.08, 0.13, 0.47, 0.26, 0.06]	E=[0.05, 0.13, 0.5, 0.25, 0.07]
U03	E=[0.01, 0.09, 0.16, 0.61, 0.13]	E=[0.01, 0.08, 0.14, 0.64, 0.13]
U04	E=[0.01, 0.04, 0.1, 0.63, 0.22]	E=[0, 0.05, 0.07, 0.66, 0.22]
U05	E=[0, 0.02, 0.08, 0.53, 0.37]	E=[0, 0.02, 0.05, 0.54, 0.39]
U06	E=[0.02, 0.03, 0.07, 0.36, 0.52]	E=[0.01, 0.03, 0.05, 0.38, 0.53]
U07	E=[0.01, 0.01, 0.11, 0.29, 0.58]	E=[0.01, 0.01, 0.09, 0.28, 0.61]
U08	E=[0.07, 0.14, 0.42, 0.24, 0.13]	E=[0.06, 0.13, 0.42, 0.24, 0.15]
U09	E=[0.04, 0.04, 0.1, 0.49, 0.33]	E=[0.01, 0.07, 0.08, 0.5, 0.34]
U10	E=[0, 0, 0.02, 0.16, 0.82]	E=[0, 0, 0.02, 0.11, 0.87]
U11	E=[0, 0, 0.01, 0.1, 0.89]	E=[0, 0, 0.01, 0.05, 0.94]
U12	E=[0.02, 0.06, 0.24, 0.43, 0.25]	E=[0.01, 0.04, 0.25, 0.44, 0.26]

درایه‌های ماتریس‌ها مربوط به میزان تعلق تناسب نهایی آن واحد اراضی به کلاس‌های N2، N1، S3، S2، S1 از سمت چپ به راست می‌باشد.

The matrixes elements refered to rate of final suitability of land units to classes of S1, S2, S3, N1, N2 respectively.

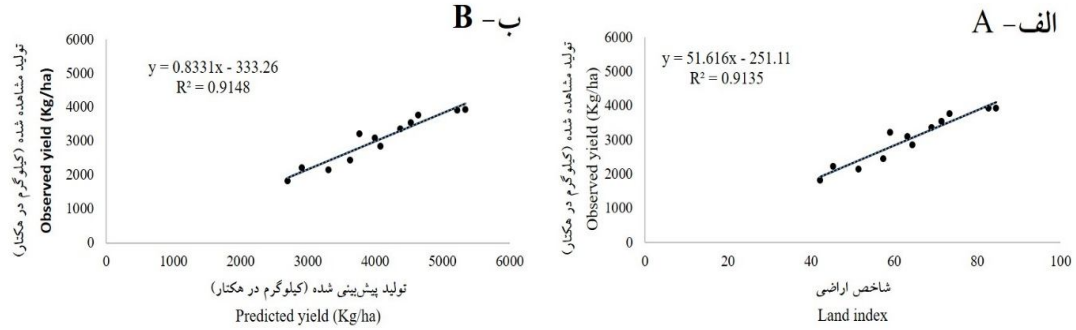
جدول ۷- کلاس‌های کیفی و کمّی تناسب اراضی برای گندم آبی.

Table 7. Qualitative and quantitative land suitability classes for irrigated wheat.

واحد اراضی Land unit	شاخص اراضی Land index	شاخص خاک Soil index	تولید پیش‌بینی شده Predicted yield (kg ha^{-1})	تولید واقعی Actual yield (kg ha^{-1})	کلاس کیفی تناسب Qualitative suitability class	کلاس کمّی تناسب Quantitative suitability class	شاخص مدیریت Management index
U01	51.3	53	3302	2150	S2	S3	0.65
U02	42.1	43.3	2697	1830	S3	S3	0.68
U03	57.3	58.2	3626	2450	S2	S2	0.68
U04	63.2	64.1	3993	3100	S2	S2	0.78
U05	68.9	70.1	4367	3370	S2	S2	0.77
U06	71.3	72.6	4523	3550	S2	S2	0.78
U07	73.3	74.5	4641	3770	S2	S2	0.81
U08	45.2	46.7	2909	2220	S3	S3	0.76
U09	64.3	65.4	4074	2860	S2	S2	0.70
U10	82.6	83.8	5220	3920	S1	S1	0.75
U11	84.5	85.7	5339	3930	S1	S1	0.74
U12	59.0	60.4	3763	3220	S2	S2	0.86

طبق اطلاعات مستخرج از جدول‌های ٤ و ٥ در مورد مقادیر متوسط انواع تولید در منطقه مورد مطالعه، فاصله بین تولید پتانسیل با تولید پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده بیانگر وضعیت محدودیت‌های خاک و زمین‌نمای موجود در منطقه است. علت بالا بودن مقدار تولید پیش‌بینی‌شده نسبت به مشاهده‌شده را می‌توان در بیش برآوردی مدل ارزیابی مورد استفاده و عدم دخالت دادن سطح مدیریت در برآورد عملکرد دانست.

اعتبارسنجی روش‌های ارزیابی به‌کار رفته برمبنای نتایج حاصل از کلاس‌های تناسب اراضی با استفاده از تجزیه‌های آماری مشابه با مطالعات پیشین (۲، ۱۲، ۳۵ و ۳۸) تأییدکننده مدل ارزیابی اجرا شده است. در این راستا ضرایب تبیین ۰/۹۱ روابط بین تولید مشاهده شده با شاخص اراضی در روش کیفی و تولید پیش‌بینی‌شده در روش کمّی که در شکل ۲ ارایه شده، بیانگر معتبر بودن روش‌های ارزیابی مورد استفاده است. هم‌چنین مقدار خی‌دو ۱/۳۲ حاصل از آزمون مربع کای در سطح احتمال ۱ درصد حکایت از عدم تفاوت معنی‌دار بین میزان تولید پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده واحدهای اراضی دارد که این نکته نیز نشان‌دهنده صحت روش ارزیابی کمّی است. قابلیت اطمینان مدل حاصل از نتایج ذکرشده را می‌توان در امتداد نرخ ناسازگاری ۰/۰۷ به‌دست آمده در گزینش فاکتورهای دخیل در سنجش تناسب که پیش‌تر بحث شد دانست چرا که بنیان یک ارزیابی صحیح و دقیق در انتخاب و ارزش‌گذاری درست ویژگی‌های دخیل در ارزیابی است. بنابراین بار دیگر قابلیت بخش دلفی مدل مورد استفاده که متمرکز بر انتخاب فاکتورها بود به‌طور غیرمستقیم مورد تأیید قرار گرفت. تجزیه‌های آماری بیش‌تر با میانگین هندسی نسبت خطا و ریشه میانگین مربعات خطای حاصل برمبنای تولید مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده با مقادیر به‌ترتیب ۱/۳٤ و ۱۰۳۵/۹ بیش‌برآوردی مدل مورد استفاده را با درصد خطای ۲/۸٤ برای متوسط تولید مشاهده‌شده کل منطقه نشان داد. هر چند این میزان از خطای بیش‌برآوردی با توجه به نتایج حاصل از ضریب تبیین و آزمون کای اشاره شده در فوق چندان زیاد و معنی‌دار نیست، ولی همان‌گونه که پیش‌تر بحث شد علت آن‌را می‌توان در خوش‌بینانه در نظر گرفتن محدوده امتیازات فاکتورهای مورد بررسی و وزن‌های مربوطه و عدم توجه به سطح مدیریت دید که کالیبره کردن محدوده درجه ویژگی‌ها برای رقم مورد کشت در منطقه و نیز دخالت دادن مدیریت به‌عنوان یکی از ویژگی‌های دخیل در تولید طی فرآیند ارزیابی، می‌توانند راه‌کارهایی جهت ارتقا دقت هر چه بیش‌تر این مدل باشند. بنابراین با استناد به موارد بحث شده در فوق می‌توان قابلیت روش فازی–دلفی در ارزیابی تناسب گندم آبی در منطقه هوراند را محرز دانست و نتایج حاصله را در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مرتبط منطقه به‌کار برد.

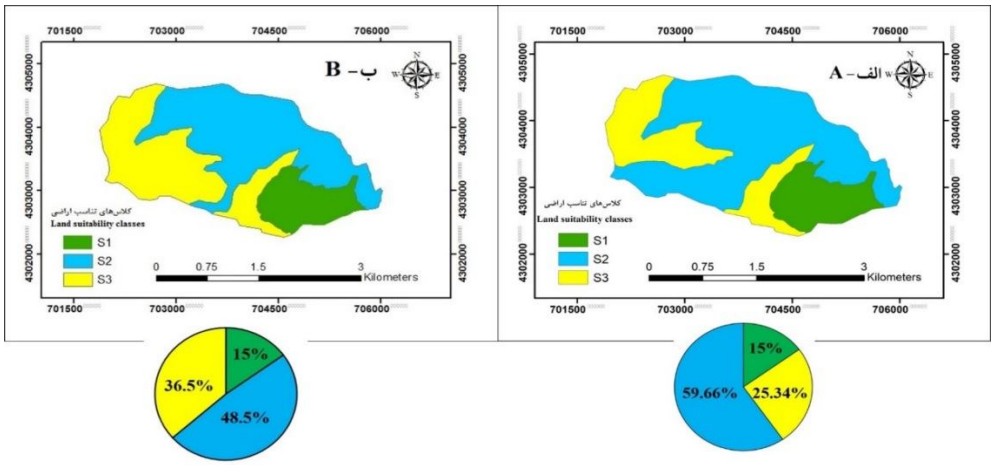


شکل ۲- رابطه رگرسیونی تولید مشاهده‌شده با الف) شاخص اراضی و ب) تولید پیش‌بینی‌شده به‌ترتیب در ارزیابی کیفی و کمّی تناسب اراضی گندم آبی برای محدوده مورد مطالعه.

Figure 2. Regresion relation of the observed yield with A) the land index and B) the predicted yield in ualitative and quantitative suitability evaluation respectively for the irrigated wheat in the study area.

با توجه به متوسط شاخص مدیریت ۰/۷۳ حاصل از وضعیت تولید در منطقه، مشاهده می‌شود که سطح مدیریت زراعی در حد متوسط می‌باشد که این امر تقریباً در تطابق با وضعیت عملیات کشاورزی اجرایی قابل مشاهده در منطقه و نیز کلاس‌های تناسب حاصله برای واحدهای اراضی است. صرف نظر از نتیجه‌گیری‌هایی که به‌طور معمول از شاخص مدیریت شده است (۱۳) استفاده و استناد به آن برای برنامه‌ریزی آتی مدیریت اراضی زمانی کاراتر خواهد بود که کلاس تناسب اراضی در همخوانی با سطح مدیریت حاصل از این شاخص نباشد. به‌عنوان نمونه در این پژوهش واحد ۸ با دارا بودن کلاس تناسب S3 سطح مدیریت بالا را به‌خود اختصاص داده و این امر می‌تواند مدیریت موجود در واحد مذکور را به‌عنوان الگوی کاری منطقه معرفی نماید. البته می‌توان شرایط معکوس مورد یاد شده را نیز بدین ترتیب تحلیل نمود. این امر خود شاهدی بر اصل ارایه شده توسط یانگ و گولدمیس (۱۹۷۷) در خصوص نقش مدیریت در عملکرد می‌باشد که پیشنهاد به دخالت ویژگی‌های مدیریتی در ارزیابی‌ها دارد (٤٩).

آن‌چنان که از نتایج ارایه شده در جدول ۷ برمی‌آید، مشاهده کلاس‌های تناسب متنوع در منطقه بیانگر وجود محدودیت‌های مختلف با شدت‌های متفاوت در سطح منطقه است که پهنه‌بندی آن‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج جدول ۷ همراه با شکل ۳ بیانگر تطابق بالا در کلاس‌بندی تناسب منطقه برای محصول گندم آبی طی دو روش کیفی و کمّی برمبنای رویکرد فازی-دلفی است و تنها واحد اراضی ۱ با وسعتی بالغ بر ۱۱٪ از سطح منطقه در ارزیابی کمّی کلاسی پایین‌تر نسبت به روش کیفی به‌خود اختصاص داده است. تطابق کلاس‌های تناسب در دو روش کیفی و کمّی تأییدکننده وضعیت قطعی تناسب واحدهای مذکور برای محصول مورد نظر می‌باشد اما در شرایطی هم‌چون واحد اراضی ۱ با کلاس کمّی پایین‌تر نسبت به کیفی، سطح مدیریت اعمالی علت چنین اختلافی بیان شده است (۸ و ۱۳). هم‌چنین در این خصوص به پارامترهای دخیل در تعیین مرز کلاس‌های کمّی تناسب نیز باید توجه نمود که نقش اقتصاد جامعه را به‌عنوان یک عامل مستقل از مدیریت‌های فنی در تعیین کلاس کمّی تناسب نشان می‌دهد. البته نوع مشترک محدودیت‌های موجود در واحدهای مختلف نقش ویژگی‌های دخیل در ارزیابی در بروز تفاوت کلاس‌های تناسب کیفی و کمّی هم‌چون واحد اراضی ۱ را منتفی می‌نماید.



شکل ۳- نقشه و درصد مساحت کلاس‌های تناسب اراضی محدوده مورد مطالعه برای گندم آبی به روش‌های الف)کیفی و ب)کمّی با رویکرد فازی-دلفی.

Figure 3. Land suitability classes map and area percentage of study area for irrigated wheat by A) qualitative and B) quantitative methods using Fuzzy-Delphi approch.

مشابه با بسیاری از مطالعات (۱، ۳۱، ۳٤، ۳۹ و ٤۸) طبق آن‌چه که از نتایج بررسی وضعیت ویژگی‌های دخیل در ارزیابی حاصل می‌شود، محدودیت‌های موجود در منطقه شامل شیب، بافت، شوری و گچ می‌باشند که از نظر مدیریتی باید به دو مقوله اولویت و امکان رفع آن‌ها پرداخت. موضوع توجه به اولویت رفع محدودیت‌ها خود از دو جنبه اهمیت فاکتور ایجادکننده محدودیت و نیز وسعت محدوده درگیر با آن محدودیت قابل بحث می‌باشد. اولویت رفع انواع محدودیت‌ها را می‌توان از نقش و اهمیت آن فاکتور در تولید استنباط نمود که این امر خود از وزن‌های اختصاص یافته به ویژگی‌های استفاده شده که حاصل از اجرای بخش دلفی مدل بود (جدول ۲) و نیز انتخاب محدودکننده‌ترین ویژگی در بخش فازی مدل (مشخص شده در زمان اجرای مدل درون نرم‌افزار) در دسترس است. بر این اساس برای محدودیت‌های ذکر شده در فوق برای منطقه مورد بررسی می‌توان ترتیب رفع مشکلات شیب، بافت، شوری و گچ را بیان نمود، ولی از نظر وسعت نواحی درگیر با مشکلات یاد شده، ترتیب اصلاح معضلات شیب، گچ، شوری و بافت برای ارتقاء تناسب کل منطقه و سطح تولید مطرح است. نکته دیگر در خصوص ارزیابی تناسب با رویکرد فازی–دلفی، توجه به فرمت گزارش تناسب است که صرفاً به ارایه کلاس تناسب بسنده می‌نماید و سطح پایین‌تر هم‌چون زیرکلاس که منعکس‌کننده محدودیت‌های موجود می‌باشند را نشان نداده و اطلاعات را در سطح پایین‌تری برای تصمیم‌گیران عرصه اجرا ارایه می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

ارزش‌گذاری ویژگی‌های دخیل در ارزیابی به‌واسطه نظرات کشاورزان و کارشناسان عرصه اجرا که بیش‌ترین ارتباط را با مسایل کشاورزی دارند و نیز امکان توسعه پنل نظرسنجی و ویژگی‌های دخیل در ارزیابی به‌همراه بازخورد کنترل شده از انتخاب‌های صورت گرفته مزایایی شناخته شده در این مطالعه بودند که بخش دلفی رویکرد مورد بحث نسبت به روش‌های سنتی ارزیابی تناسب دارد. ازسوی دیگر تلفیق وزن ویژگی‌های حاصل شده در بخش دلفی با امتیازات ویژگی‌ها، امکان دخالت کاربر در انتخاب نوع توابع عضویت، حدود انتقالی، حد بالا و پایین کلاس‌های تناسب و نیز در نظرگیری کلاس‌های تناسب بینابین به‌واسطه توجه به درجه عضویت واحدهای اراضی به کلاس‌های مختلف تناسب اراضی طی بخش فازی، رویکرد فازی–دلفی را به‌عنوان روشی مناسب برای ارزیابی تناسب اراضی معرفی می‌نماید که تحلیل‌های آماری صورت گرفته در خصوص نتایج ارزیابی تناسب اراضی منطقه با این رویکرد نیز قابلیت بالای آن را، به‌عنوان یکی از پایه‌های مدیریت پایدار کشاورزی در منطقه هوراند و نواحی مشابه با حذف نواقص سایر روش‌های ارزیابی تناسب و ارتقاء دقت کار همراه با یافته‌های جنبی هم‌چون ارزش گذاری عوامل دخیل در تولید، تأیید نمودند.

پهنه‌های متفاوتی از منطقه با توجه به محدودیت‌های موجود در کلاس‌های تناسب S1 تا S3 طبق ارزیابی‌های کیفی و کمّی مبتنی بر رویکرد فازی–دلفی شناسایی شدند که در غالب نواحی نتایج این دو روش در ارزیابی تناسب یکسان بود و این نکته خود می‌تواند اشاره به تعدیل تفاوت‌های حاصل از ارزیابی‌های حاصل از روش‌های کمّی و کیفی به‌دلیل دقت عمل رویکرد فازی–دلفی و کاهش نقش عوامل دخیل در بروز تفاوت در کلاس‌های تناسب طی ارزیابی به دو روش کیفی و کمّی داشته باشد، ولی این موضوع نیاز به مطالعات بیش‌تر دارد. هم‌چنین وجود واحدهای اراضی با سطوح مدیریتی یکسان اما

کلاس‌های تناسب متفاوت می‌تواند بیانگر این نکته باشد که توجه به کلاس تناسب واحد اراضی و نیز محدودیت‌های موجود در کنار شاخص مدیریت حاصل از انواع تولید گامی ارزنده در سنجش وضعیت مدیریت اراضی و پیاده کردن راه‌کارهای مدیریتی بهینه در هر منطقه خواهد بود.

در نهایت به‌منظور اعتبارسنجی بیش‌تر استفاده از رویکرد فازی-دلفی در ارزیابی تناسب اراضی و بررسی قابلیت‌های مربوطه توصیه به اجرای آن در نواحی مختلف و گستره‌های وسیع با محصولات متنوع و نیز مقایسه با سایر روش‌های نوین ارزیابی تناسب اراضی برپایه پژوهش حاضر می‌باشد.

منابع

1. Abbaszadeh, M., Salari, A., and Rohani, H. 2019. Quantitative, qualitative and economic assessment of agricultural land suitability of Rokh plains of Torbat Heydarieh for saffron and wheat cultivation. Saffron Agronomy and Technology. 7: 1. 93-109. (In Persian)
2. Ayoubi, Sh., Givi, J., Jalalian, A., and Amini, A.M. 2002. Quantitative land suitability evaluation for wheat, barley, maize and rice cultivation in Northern Baraan (Isfahan). Journal of Water and Soil Science. 6: 3. 105-119. (In Persian)
3. Ayoubi, S., and Jalalian, A. 2011. Land Evaluation (Agriculture and Natural Resources). Isfahan University of Technology press. Second edition. 385p. (In Persian)
4. Azar, A., and Faraji, H. 2016. Fuzzy Management Science. Mehrban Nashr press, Tehran. 308p. (In Persian)
5. Banaei, M.H. 1998. Soil moisture and temperature regime map of Iran. Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture, Iran.
6. Bo, L., Zhang, F., Zhang, L., Huang, J., Jin, Z., and Gupta, D.K. 2012. Comprehensive suitability evaluation of tea crops using GIS and a modified land ecological suitability evaluation model. Pedosphere. 22: 1. 122-130.
7. Bobi, M. 2005. Snowball sampling qualitive and quantitive evaluation. Journal of Computer Science. 101: 203-209.
8. Broeke, H., Mulder, M.J.D., Bartholomeus, H.M., and Vandam, R.P. 2019. Quantitative land evaluation implemented in Dutch water management. Bibliographic Information. 338: 536-545.
9. Burrough, P.A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. European Journal of Soil Science. 40: 477-492.
10. Collins, M.G., Steiner, F.R., and Rushman, M.J. 2001. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. Environmental Management. 28: 5. 611-621.
11. Dalkey, N.C., and Helmer, O. 1963. An experimental application of the Delphi method to the use of experts. Management Science. 9: 3. 458-467.
12. Dialami, H., Givi, J., Naderi Khorasgani, M., Taghizadeh Mehrjardi R., and Ahmadpour Borazjani, M. 2017. Land suitability evaluation for date palm (Phoenix dactylifera L. cv Kabkob) planting in Boushehr province using analytical hierarchy process (AHP). Journal of Soil Management and Sustainable Production. 7: 2. 25-45. (In Persian)
13. Givi, J. 1998. Qualitative, Quantitative and Economic Land Suitability and Determining Land Production Potential for Main Crops of Falavarjan Region, Isfahan. Planning and Economic Research Institute, Ministry of Agriculture, Iran. (In Persian)
14. Greatorex, J., and Dexter, T. 2000. An accessible analytical approach for investigating what happens between the rounds of a Delphi study. Journal of Advanced Nursing. 32: 4. 1016-1024.
15. IRIMO. 2016. Country climate analysis. In: Islamic Republic of Iran Meteorological Organization, Ahar center. Data sheet.

16. Ishikawa, A., Amagasa, M., Shiga, T., Tomizawa, G., Tatsuta, R., and Mieno, H. 1993. The max–min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. Fuzzy Sets and Systems. 55: 241-253.
17. Jellason, N.P., Baines, R.N., and Conway, J.S. 2017. A delphi approach to the selection of good agricultural practices (GAPs) for resilience enhancement for dry land farmers in North-Western Nigeria. Journal of Food Science and Engineering. 7: 383-395.
18. Kamonpatana, K., Anuntavoranich, P., Varodompun, J., Sunakorn, P., Thaitakoo, D., and Wattanapreechanon, K. 2015. Modified fuzzy delphi method to select decision variables for vertical farming in Thailand. Kasetsart Journal of Social Sciences. 36: 554-567.
19. Kim, H.Y., Choi, Y., Kim, H., and Oh, S.H. 2014. Planning for the suitable? Land use suitability and social and ecological factors for locating a new hazardous facility. KSCE Journal of Civil Engineering. 20: 1. 1-8.
20. Karami, O., and Hosseini Nasr, S.M. 2013. Application of analytical hierarchay process and geographic information system in capability evaluation of Babolrood basin lands for range management. Iranian Journal of Range and Desert Research. 20: 1. 101-114. (In Persian)
21. Kutter, A., Nachtergaele, F.O., and Verheye, W.H. 1997. The new FAO approach to land use planning and management and its application in Sierra Leone. Journal of Information Technology and Control. 3: 278-283.
22. Latifi, S., Raheli, H., Yadavar, H., Saadi, H., Shahrestani, S.A. 2018. Identification and explanation of executive steps of conservation agriculture development in Iran using fuzzy delphi method. Iranian Journal of Biosystems engineering. 49: 1. 107-120. (In Persian)
23. Lee, A.H.I., Chen, W.C., and Chang, C.J. 2008. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. Expert Systems with Applications. 34: 96-107.
24. Likert, R. 1932. A technique for the measurement of attitudes. Archives of Psychology. 22: 140. 1-55.
25. Maghami, F., Karimi, A.R., Haghnia, G.H., and Dourandish, A. 2014. Evaluation of land use and suitability for rainfed crops in Roin, North Khorasan. Agroecology. 5: 2. 143-152. (In Persian)
26. Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in Planning. 62: 1. 3-65.
27. Malczewski, J. 2006. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. Applied Earth Observation and Geoinformation. 8: 270-277.
28. Mendas, A., and Delli, A. 2012. Integration of multi criteria decision analysis in GIS to develop land uitability for agriculture: application to durum wheat cultivation in the region of melta in Algeria. Computers and Electronics in Agriculture. 83: 117-126.
29. Mokarram, M., and Hojati, M. 2017. Using ordered weight averaging (OWA) aggregation for multi-criteria soil fertility evaluation by GIS (case study: southeast Iran). Computers and Electronics in Agriculture. 132: 1-13.
30. Momtaz, H., and Servati, M. 2017. Comparison of three membership function in land suitability by fuzzy set theory in Amol region, Iran. Applied Soil Research. 5: 1. 57-66. (In Persian)
31. Motuma, M., Suryabhagavan, K.V., and Balakrishnan, M. 2016. Land suitability analysis for wheat and sorghum crops in Wogdie District, South Wollo, Ethiopia, using geospatial tools. Applied Geomatics. 8: 1. 57-66.
32. Rahdari, V., Soffianian, A., Pormanafi, S., Ghayomi Mohammadi, H., and Maleki, S. 2020. Producing rangeland capability map using multi criteria evaluation methods in different risk and trade-off levels (Case study: Plasjan Sub-Basin). Journal of Environmental Science and Thechnology. 21: 12. 109-123. (In Persian)

33. Roy, R., Weng Chan, N., and Ahmed, Q.N. 2014. A Delphi study to determine sustainability factors: The case of rice farming in Bangladesh. Journal of Sustainability Science and Management. 9: 1. 56-68.
34. Safari, Y., Delavar, M.A., and Noori, Z. 2017. Land suitability evaluation for irrigated wheat in Zanjan plain using limitation scores. Journal of Water and Soil. 31: 2. 522-532. (In Persian)
35. Sarmadian, F., and Ghavami, M.S. 2019. Land suitability evaluation using TOPSIS method and its comparison with parametric methods for Maize production in part of Qazvin. Iranian Journal of Soil and Water Research. 50: 9. 2275-2287. (In Persian)
36. Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Soil Survey Staff. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 298p.
37. Scolozzi, R., Morri, E., and Santolini, R. 2012. Delphi-based change assessment in ecosystem service values to support strategic spatial planning in Italian landscapes. Ecological Indicators. 21: 134-144.
38. Servati, M., Momtaz, H.R., Rezaei, H., and Pishnamaz Ahmadi, M. 2017. Land suitability evaluation in Hashtrood region by fuzzy analytical hierarchy processes (FAHP) for irrigated Chickpea. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 7: 3. 153-166. (In Persian)
39. Shahrokh, V., and Ayoubi, Sh. 2014. Land suitability evaluation using analytical hierarchy process technique in Zarrinshahr and Mobarakeh (Isfahan). Journal of Agricultural Engineering. 37: 1. 77-92. (In Persian)
40. Soil and Water Research Institute. 2008. Laboratory Analysis Instructions of Water and Soil Samples, No: 467. Ministry of Agriculture, Iran. 254p. (In Persian)
41. Sys, C., Vanranset, E., and Debaveye, J. 1991a. Land Evaluation. Part I, Principle in Land Evaluation and Crop Production Calculation. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Gent, Belgium. 274p.
42. Sys, C., Vanranset, E., and Debaveye, J. 1991b. Land Evaluation, Part II, Methods in Land Evaluation. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Ghent, Belgium. 247p.
43. Sys, C., Vanranset, E., Debaveye, J., and Beernaert, F. 1993. Land Evaluation, Part III, Crop Requirements. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Ghent, Belgium. 199p.
44. Tang, H., Debaveye, J., Ruan, D., and Van Ranst, E. 1991. Land suitability classification based on fuzzy set theory. Pedologie. 3: 277-290.
45. Tudes, S., and Yigiter, N.D. 2010. Preparation of land use planning model using GIS based on AHP: Case study Adana-Turkey. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 69: 2. 235-245.
46. United state department of agriculture. 2014. Keys to Soil Taxonomy.12th ed., Soil Survey Staff, NRCS, USA.
47. Villacreses, G., Gaona, G., Martinez-Gomez, J., and Juan Jijon, D. 2017. Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. Renewable Energy. 109: 275-286.
48. Yohannes, H., and Soromessa, T. 2018. Land suitability assessment for major crops by using GIS-based multi-criteria approach in Andit Tid watershed, Ethiopia. Cogent Food and Agriculture. 4: 1-28.
49. Young, A., and Goldsmith, P.F. 1977. Soil survey and land evaluation in developing countries: A case study in Malawi. Geograph Journal. 143: 407-431.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 11(3), 2021
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.18808.2010

(Full Length Research Paper)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Application of Fuzzy-Delphy approach to a part of Horand lands suitability evaluation for irrigated wheat

S. Rasouli[1], H. Rezaei[*2], M. Servati[3] and A.A. Jafarzadeh[4]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz,
[2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz,
[3]Assistant Prof., Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University,
[4]Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz
Received: 02.09.2021; Accepted: 05.31.2021

Abstract

Background and Objectives: Land suitability evaluation is one of basic efforts to sustainable managements of any region. Shortcomings in traditional land suitability evaluation assessments have drawn the attention of this field users to use of artificial intelligence and multi-criteria decision making methods. Subsystems of mentioned methods alone or in the combination with each other were used to increase accuracy of evaluation, simplify of calculations and achievement of useful side results. Fuzzy-Delphi approach is one of discussed methods that in this study, its efficiency has been measured behind investigating of Horand region potential for irrigated wheat production.

Materials and Methods: In this study, 662 ha of lands in Horand region were selected in the form of 12 land units and after completing the climate, landscape and soil database, the Fuzzy-Delphi method was applied to qualitative and quantitative land suitability evaluation of irrigated wheat. The qualitative evaluation was done by land index determination and the quantitative one was completed based on predicted yield which calculated by combination of archived potential yield from Agro-ecologic method with soil index. In this regard, the Delphi method was used to select and determine weights of the factors which are involved in the evaluation based on the experts' opinion and were validated by Kendall coefficient. The properties matrix which obtained from fuzzyization of land properties with kandel membership function were combined with weight matrix and leads to suitability matrix. The suitability zoning of the study area were identified according to suitability classes which were determined based on resulted soil and land index from defuzzification of suitability matrix with triangle Tnorm way. Validation of Fuzzy-Delphi method was done by conventional statistical tests.

Results: According to experts' opinion, the 8 properties (Climate, slope, texture, calcium carbonate equivalent, gypsum, EC, drainage and flooding) of studied lands with Entisols and Inceptisols, were selected for land suitability evaluation that climate and gypsum have had maximum and minimum weight respectively, that its accuracy was confirmed by an incompatibility rate of 0.07. The conformed suitability evaluation showed S1 to S3 classes by qualitative and quantitative methods for irrigated wheat utilization type with limitation of slope, salinity, texture and gypsum. Difference of land units classes in qualitative and quantitative methods was seen only in one land unit which quantitative one take lower class. According to mean management index of 0.73, the middle management level was estimated for region. Chi-square value of 1.32, r^2 0.91, RMSE 2.1% and GMER 1.34 obtained in the validation of Fuzzy-Delphi method.

* Corresponding Author; Email: hosseinrezaei@tabrizu.ac.ir

Conclusion: Applying main agricultural lands users opinions in selecting and valuating land suitability evaluation parameters, combination of characterize weight with their rating and also considering intermediate classes, identified as the main advantages of the studied model over traditional methods that introduced the fuzzy-Delphi approach as an efficient method based on estimation of the land potential. The reliability of mentioned approach was confirmed by checked statistical accuracy and validity although with little over estimation. Beside main finding of this research work, coordination of qualitative and quantitative suitability evaluation with discussed approach, possibility of ranking the land limitation remove by sub data and also, pay attention to the land suitability class along with the management index for future land management planning are the cases that can be useful for researchers and executive experts. However, in order to find other capabilities of the model and recommending its use at the wide level, it is suggested to run this new model in different areas for various utilization types.

Keywords: Agro-ecological zoning, Horand, Land suitability, Multi-criteria decision making