نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) / الف / جلد 33 / شماره 1 / 1398

10.22092/ijsr.2019.121455.359

معرفی سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری تناسب اراضی برای برنج

مسلم ثروتی[1] و حمیدرضا ممتاز

استادیار مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه؛ m.sarvati@urmia.ac.ir

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ارومیه؛ Hamidmomtaz@gmail.com

دریافت: 97/2/18 و پذیرش: 97/10/10

چکیده

به‌منظور شناسایی مناطق مستعد برای گیاه، ایجاد یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری تناسب اراضی ضروری است. هدف از این پژوهش، توسعه یک سامانه ارزیابی تناسب اراضی بر اساس چارچوب فائو، با تعدادی از تغییرات لازم به‌منظور مطابقت با شرایط محلی بود. برای این منظور یک مدل با قابلیت‌های GIS ساخته شد و با استفاده از زبان برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک با تابع مدل‌سازی ترکیب گردید. مدل توسعه‌یافته بر اساس یک ساختار فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عمل می‌کند. برای راستی‌آزمایی مدل، تعداد 60 خاکرخ در منطقه‌ای به وسعت 3200 هکتار در منطقه آمل واقع در استان مازندران انتخاب گردید. چهارده ویژگی اراضی بر اساس نیازهای برنج و شرایط اقلیمی منطقه انتخاب و مقادیر آستانه آن‌ها مشخص و نهایتاً در 8 کیفیت اراضی گروه‌بندی شد. نتایج آزمون F بین شاخص‌های اراضی محاسبه‌شده با روش فائو و سامانه پشتیبانی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد نشان نداد. همچنین ضرایب تبیین محاسبه‌شده بین شاخص اراضی و تولید واقعی برای روش فائو و سامانه پشتیبانی به‌ترتیب 0/77 و 0/85 به‌دست آمدند. از طرفی عملگر ترکیب نشان داد که درصد همپوشانی نقشه تناسب اراضی با نقشه تولید واقعی برای روش‌های فائو و سامانه پشتیبانی به‌ترتیب 86 و 95/4 درصد است. لذا روش سامانه پشتیبانی به‌دلیل استفاده از کیفیت‌های اراضی و در نظرگیری شرایط منطقه‌ای نتایج مناسب‌تری ارائه می‌کند. نهایتاً می‌توان چنین اظهار نظر کرد که سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی، کشاورزان و کارشناسان را یاری نماید.

واژه‌های کلیدی: آمل، تناسب اراضی به روش فائو، کیفیت اراضی، GIS، ویژوال بیسیک

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه ارومیه، میاندوآب، مرکز آموزش عالی شهید باکری

مقدمه

زمانی‌که چارچوب فائو (1976) توسعه یافت، سامانه اطلاعات جغرافیایی[1] هنوز در دسترس نبود، لذا کارشناسان ارزیابی اراضی قادر به استفاده از قابلیت‌های GIS از جمله تولید نقشه‌ها، تلفیق اطلاعات و ایجاد ایده‌ها و راه‌حل‌های مؤثر در تعیین کاربری بهینه نبودند. سامانه آلس[2]، بر اساس دستورالعمل فائو، چارچوبی برای آمایش سرزمین، با توجه به شرایط و اهداف محلی فراهم آورد (روزیتر و وامبک، 1997). در سامانه آلس، واحدهای نقشه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که بایستی به‌طور کامل به‌وسیله مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی و ستادی مشخص گردد (فائو، 2010). معایب این سامانه این است که کاربرپسند نبوده و قادر به ارائه نقشه نیست (نوور، 2006). یتبارک و همکاران (2013) با ارزیابی تناسب اراضی منطقه‌ای در غرب کشور اتیوپی برای محصولات ذرت، کتان و برنج با استفاده از برنامه آلس گزارش نمودند که منطقه از نظر اقلیمی برای کشت دیم این محصولات بحرانی و نسبتا مناسب بوده و مهم‌ترین محدویت‌های خاک و زمین‌نما، زهکشی، سیل‌گیری، عمق خاک و خصوصیات حاصلخیزی می‌باشد.

سامانه لکس[3] نیز براساس چارچوب فائو در اندونزی طراحی شده (وود و دنت، 1993) و میزان تولید حداکثر و توصیه‌های اقتصادی محصول را برای هر واحد اراضی معین می‌کند. از معایب آن می‌توان به سخت بودن مدل اشاره کرد (نوور، 2006). ویدیاماکا و همکاران (2016) با ارزیابی تناسب اراضی شرق منطقه جاوا در کشور اندونزی 91 درصد اراضی را برای احداث باغات و کشاورزی مناسب تشخیص دادند. ایشان به‌ترتیب اقلیم منطقه، بافت، واکنش خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی به‌عنوان تأثیرگذارترین ویژگی‌ها در تناسب منطقه برای احداث باغ گزارش نمودند.

ارزیابی اراضی با استفاده از سامانه لیجیس[4] (کالگیرو، 2002) برای پشتیبانی از برنامه‌ریزان روستایی برای کشت محصولات خاص براساس روش فائو طراحی شده است. هدف از این کار ارزیابی فیزیکی قابلیت‌های اراضی برای گیاه گندم، جو، ذرت، پنبه و چغندرقند است. محدود بودن این سامانه به چند محصول زراعی و عدم دخالت برخی از ویژگی‌های اراضی مؤثر در رشد گیاهان انتخابی از جمله اقلیم از معایب آن به‌شمار می‌رود. سامانه تصمیم‌گیری میکرولیز (دلاروزا و همکاران، 1992) یک سامانه یکپارچه برای جمع‌آوری اطلاعات و ارزیابی اگرواکولوژیکی اراضی است که قابل ترکیب با GIS بوده و برای تفسیر عملی منابع ارضی و مدیریتی کشاورزی به‌کار می‌رود (درویش و آبدلکاوی، 2014). همچنین در راستای نگرانی‌های زیست محیطی برای پیش‌بینی تأثیرات تغییرات اقلیمی جهانی از سامانه میکرولیز و از طریق مجموعه‌ای از ابزارها با ایجاد سناریوهای فرضی و مفهوم پایداری استفاده از اراضی، به محاسبه وضعیت فعلی، پتانسیل و خطرات ناشی از آن پرداخته شده است (دلاروزا و همکاران، 2009). از معایب این سامانه عدم در نظرگیری نظرات کارشناسان محلی است (نوور، 2006). ثروتی و همکاران (1393) با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری میکرولیز، ارزیابی کیفی تناسب اراضی بخشی از اراضی شهرستان جلفا (آذربایجان شرقی) را برای چغندرقند مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بر اساس مدل سرواتانا همه اراضی برای اهداف کشاورزی مستعد بودند. ارزیابی کیفی تناسب اراضی مستعد با استفاده از مدل آلماگرا نیز نشان داد که به‌ترتیب 24/3، 39/9، 8/1 و 27/7 درصد اراضی به ترتیب در کلاس‌های عالی، مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب به دلیل محدودیت‌های بافت و کربنات طبقه‌بندی شدند.

توسعه فناوری اطلاعات و ابزارهای مکانی و عددی طی بیست سال گذشته، محققان را قادر ساخته تا در تجزیه و تحلیل تعاملات بین منابع اراضی و کاربری‌های کشاورزی را توسعه دهند. یکی از مهم‌ترین تحولات، پیوستن GIS و تجزیه و تحلیل چند معیاره[5] (MCA) است (چانگ، 2008). تجزیه و تحلیل MCA مبتنی بر GIS توانایی ارائه رویکرد عقلانی، هدفمند و بی‌طرفانه در ارزیابی تناسب اراضی را دارد (سبالوس و بلانکو، 2003). در ارزیابی تناسب اراضی استان شاندونگ در چین، اراضی مستعد و غیر مستعد برای کشت تنباکو با استفاده از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش‌های ارزیابی چند معیاره مشخص شد. نتایج نشان داد که 75 درصد اراضی در کلاس کاملاً مناسب و 16 درصد نسبتاً مناسب و 9 درصد در کلاس بحرانی طبقه‌بندی شدند (ژانگ و همکاران، 2015). نتایج نیاز مرادی و همکاران (1396) به‌منظور امکان‌سنجی کشت گیاه تریتیکاله (چاودم) در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان از تحلیل مکانی سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. نتایج نشان داد که 49/2 درصد

[1] Geographic Information System (GIS)
[2] Automated Land Evaluation Systems (ALES)
[3] Land Evaluation Computer System (LECS)
[4] Intelligent Geographical Information System (LEIGIS)
[5] Multi Criteria Analysis (MCA)

اراضی به دلیل شیب زیر 4 درصد، ماده آلی بالای 2 درصد، توزیع و مقدار بارندگی مناسب و جهت شیب مناسب در کلاس کاملاً مناسب (S_1) طبقه‌بندی شدند. مداحی (2014) نیز از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی[1] در ارزیابی تناسب اراضی منطقه آمل استفاده کردند. نتایج نشان داد که 20/7 درصد اراضی برای کشت برنج در کلاس کاملاً مناسب قرار دارد. همچنین برخی از برنامه‌های رایانه‌ای وجود دارند که می‌توانند از طریق وب سرور با اینترنت کار کنند تا کاربران بتوانند از مدل‌ها از طریق یک مرورگر مستقیماً استفاده نمایند. جایاسینگ و ماکیداً (جایایسنگ و ماچیدا، 2008) یک سامانه ارزیابی تناسب آنلاین تعاملی مبتنی بر GIS را توسعه دادند که محدود به دو گیاه گوجه‌فرنگی و کلم بود. از این رو یک سامانه انعطاف‌پذیر کاربرپسند که کارشناس بتواند شرایط را براساس شرایط محلی شناسایی و تغییر دهد، ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرفی اگر محصولات جدید در آینده معرفی گردند، سامانه توانایی جایگزینی این محصولات را داشته باشد. همچنین ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی در کشورهایی که فن‌آوری اطلاعات در مراحل اولیه آن است، باید برای کاربر آسان باشد. هدف از این مطالعه ایجاد یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر GIS برای ارزیابی تناسب اراضی تیپ بهره‌وری برنج در شهرستان آمل (استان مازندران) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه با وسعت 3200 هکتار بخشی از اراضی شالیزاری آمل بوده و در استان مازندران با مختصات جغرافیایی ما بین ′15 °52 تا ′30 °52 طول شرقی و ″30 ′22 °36 تا ″00 ′30 °36 عرض شمالی واقع شده است (شکل 1). از مواد مادری این منطقه می‌توان به پادگانه‌های آبرفتی، پادگانه‌های دریایی، دشت‌های آبرفتی و نهشته‌های دریاچه‌ای تفکیک‌نشده اشاره نمود (سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، 2006). طبق نرم‌افزار نیوهال (نیوهال و بردانیر، 1996) و آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک آمل بین سال‌های 2001 تا 2017، رژیم رطوبتی خاک‌ها، یودیک می‌باشد. رژیم حرارتی خاک‌ها با توجه به میانگین حرارت سالیانه 16/1 درجه سلسیوس و اضافه‌کردن یک درجه سلسیوس به آن، 17/1 درجه سلسیوس بوده و ترمیک گزارش می‌شود.

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

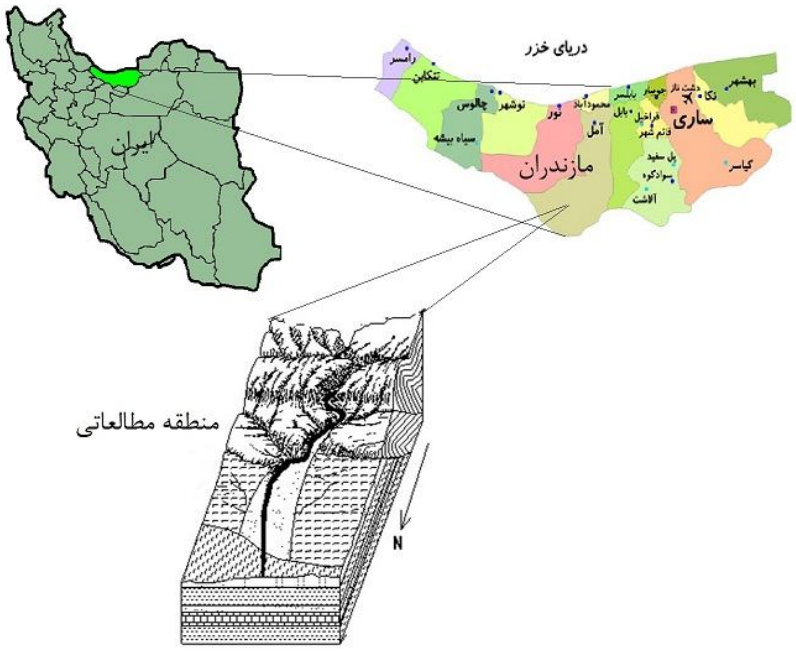
برای نیل به اهداف مطالعه تعداد 60 خاکرخ انتخاب و بر اساس استانداردهای روش نقشه‌برداری آمریکا (شونبرگر و همکاران، 2012) تشریح و از هر افق نمونه‌برداری انجام و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از آنالیز نمونه‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج، خاک‌ها بر اساس سیستم جامع رده‌بندی آمریکایی (2014) رده‌بندی شدند. بر این اساس خاک‌ها در چهار رده انتی‌سول‌ها، اینسپتی‌سول‌ها، آلفی‌سول‌ها، و مالی‌سول‌ها در 13 سری خاک قرار گرفتند. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌ها نیز به‌ترتیب یودیک و ترمیک می‌باشد. برای به‌دست آوردن عملکرد در هر واحد اراضی از پلات چوبی 1x 1 متر و پرسش از زارعین استفاده شد. با این روش‌ها 634 رکورد در کل منطقه ثبت و از میزان محصول آن‌ها میانگین‌گیری شده و به هکتار تعمیم داده شد. احتیاجات اولیه برنج با استفاده از چهار چوب فائو مشخص (سایس و همکاران، 1993) و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری (پیج و همکاران، 1982) شدند.

ارزیابی و تناسب اراضی

در این تحقیق از نرم‌افزار ویژوال بیسیک[2] نسخه 6 به‌عنوان یک جعبه ابزار، برای توسعه یک سامانه پشتیبانی ارزیابی تناسب اراضی در محیط GIS نسخه $10_0 5$ استفاده شد. زبان ویژوال بیسیک به‌عنوان یک رابط انعطاف‌پذیر، یک ابزار ساده و کارا برای کاربرانی که در GIS مهارت ندارند، فراهم می‌کند. بدین منظور اطلاعات ورودی در سه قالب داده‌های اقلیمی، خاک و زمین‌نما وارد مدل شدند. شکل 2روند نهایی سامانه پشتیبانی توسعه‌یافته را نشان می‌دهد. ورودی داده‌ها برای هر ویژگی در فهرست مربوطه ظاهر می‌شود و سامانه موارد انتخاب شده را به‌عنوان اطلاعات ورودی در نظر می‌گیرد. پانل اصلی (شکل 3)، نشان‌دهنده شش مرحله کاری کاربر در فرآیند ارزیابی تناسب اراضی بوده که امکان تغییر ویژگی‌های اراضی بر حسب شرایط منطقه در هریک از قسمت‌ها فراهم است. فرم انتخاب نوع محصول اولین قدم در اجرای برنامه است که فهرست ورودی اطلاعات با توجه به نوع محصول تغییر می‌کند (شکل4-الف). لازم به ذکر است که این سامانه در حال حاضر برای ارزیابی تناسب اراضی برنج، چای و گندم قابل اجراست و برای سایر محصولات نیاز به ورود اطلاعات واسنجی شده با توجه به شرایط منطقه به محیط نرم‌افزار دارد.

[1] Analytical Hierarchy Process (AHP)

[2] Visual basic



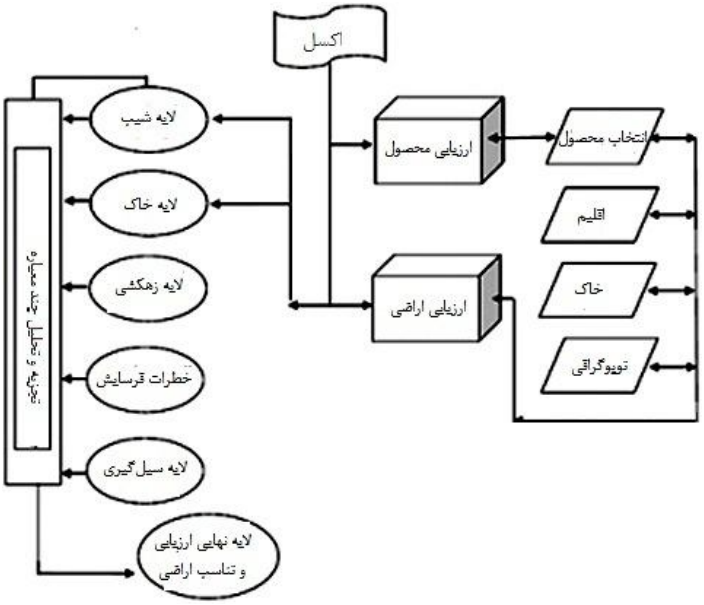
شکل 1- موقعیت منطقه مطالعاتی

سامانه با اضافه‌کردن رکورد جدید در برنامه اکسل[1] نسخه 2013 از طریق سامانه می‌تواند شرایط را برای ارزیابی محصول جدید فراهم نماید.

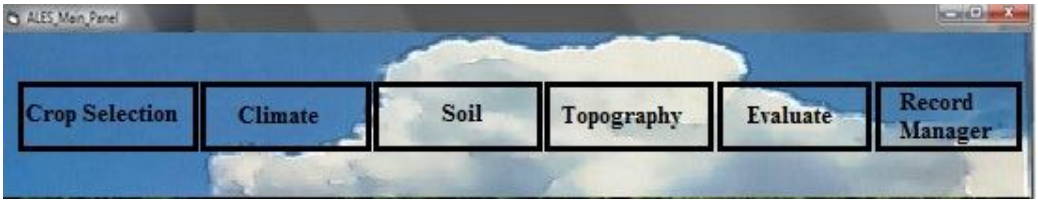
محاسبه اطلاعات جدید در ارتباط با محصول پس از آنکه کاربر رکورد را ذخیره کرد، اعمال می‌شود. سامانه پشتیبانی توسعه‌یافته اطلاعات اقلیمی را به‌عنوان پایه برای فرآیند ارزیابی تناسب اراضی مورد توجه قرار می‌دهد. اطلاعات مربوط به اقلیم در سامانه توسط دو ویژگی بارندگی سالانه (میلی‌متر) و میانگین درجه حرارت در طول دوره رشد (درجه سلسیوس) می‌باشد. ارزیابی نهایی از تناسب شرایط اقلیمی برای یک محصول خاص در جعبه ارزشیابی نشان داده شده است (شکل 4-ب). در فرم خاک (شکل 4-ج) ویژگی اصلی شامل در دسترس بودن مواد مغذی، قابلیت نگهداری مواد مغذی، وضعیت ریشه‌دهی، سهولت خاکورزی و کلاس زهکشی قرار داشتند. در این فرم تناسب فیزیکی نهایی اراضی تحت تأثیر کمترین کیفیت اراضی است. شایان ذکر است که سطوح شدت کیفیت‌ها بر اساس یک مجموعه استاندارد از کاهش عملکرد تعریف می‌شوند. با توجه به درجه‌بندی روش پارامتریک، کلاس‌ها در S_1 (85-100٪)، S_2 (60-85٪)، S_3 (40-60٪)، N_1 (25-40٪) و N_2 (0-25٪) تفکیک می‌شوند (سایس و همکاران، 1991). در مورد توپوگرافی، این سامانه دامنه شیب‌های مختلف را به پنج دسته مبتنی بر پتانسیل مکانیزه‌کردن (فائو، 1976) تقسیم می‌کند (شکل 8). پتانسیل مکانیزاسیون بر اساس توپوگرافی منطقه تعریف می‌شود و با افزایش شیب امکان کشت مکانیزه و آبی کاهش می‌یابد.

شایان ذکر است که در این سامانه از ویژگی‌های اراضی مطرح شده در روش فائو استفاده و ارزیابی تناسب اراضی با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و بعد از وارد کردن نام محصول توسط کاربر شروع می‌شود. داده‌های اقلیم، خاک و توپوگرافی اراضی پیش از وارد شدن در این سامانه بین 0 و 1 استاندارد شدند (شکل5).

1. Excel



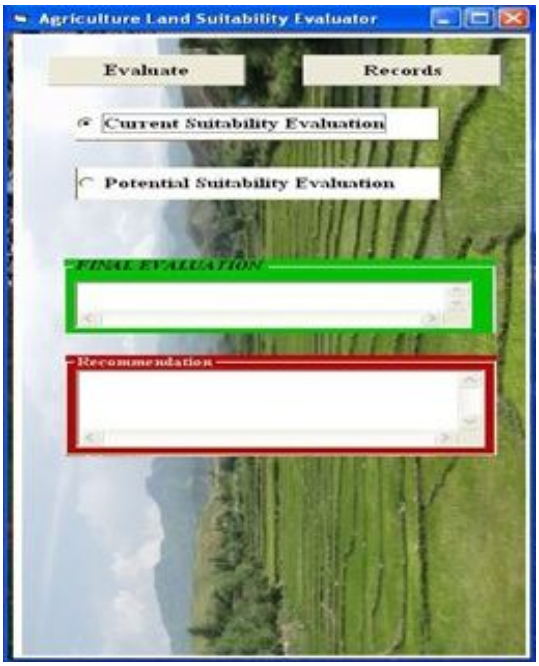
شکل 2- روند نهایی ارزیابی تناسب اراضی



شکل 3- صفحه اصلی سامانه ارزیابی در محیط نرم افزار ویژوال بیسیک

شکل 4- فرم اقلیم (الف)، فرم محصول (ب)، فرم خاک (ج)، فرم توپوگرافی (د)

نهایتاً 5 ویژگی خاک، 2 ویژگی اقلیمی و 1 ویژگی توپوگرافی در محیط GIS به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی برای ارزیابی تناسب اراضی نهایی آماده شدند. در مرحله بعد سامانه، همه لایه‌ها را به فرمت رستر تبدیل و لایه‌ها با استفاده از نظرات کارشناسی و مقایسات دودویی ساعتی (1980) (جدول 1) وزن‌دار شدند. نهایتاً با روی هم‌اندازی لایه‌ها، نقشه نهایی تناسب اراضی تهیه شد. لازم به ذکر است که برای تعیین اهمیت معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها از نظرات کارشناسی استفاده شد. برای بررسی سازگاری قضاوت‌ها نیز از ضریب ناسازگاری که بایستی کمتر از 0/1 باشد، استفاده شد.



شکل 5- فرم ارزیابی در محیط نرم‌افزار ویژوال بیسیک

مکانیسم ارزیابی با سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

به‌منظور ارزیابی تناسب اراضی با سامانه ابتدا ساختار سلسله مراتبی بر اساس ورودی‌های مدل تشکیل گردید. 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 محاسبه شد. لازم به ذکر است که مقایسات جفتی با استفاده از ظرف سنجش ساعتی (1980) مطابق با جدول 1 انجام شد، بنابراین کارشناسان محلی نقش مهمی را در فرآیند تناسب اراضی و تغییر مکرر وزن‌ها برای بهبود نسبت سازگاری پایین‌تر از 0/1 دارند. در مرحله بعد لایه‌های وزن‌دار معیارها با استفاده از رابطه 1 به‌دست آمد (چوآنگ، 2008 ، ژانگ و همکاران، 2015):

$$WF_{kn} = W_i \times MF_i \qquad (1)$$

در این رابطه Wi، وزن ویژگی اراضی i که از مقایسه جفتی حاصل شده، MFi تابع عضویت و WFkn مقادیر وزن‌دارشده برای همان ویژگی می‌باشد. نهایتا تناسب اراضی منطقه مطالعاتی برای تیپ بهره‌وری برنج از طریق ترکیب لایه‌های وزن‌دار معیارها (رابطه 2) محاسبه شد (چوآنگ، 2008 ، ژانگ و همکاران، 2015):

$$R_i = WF_{k2} + MF_{k2} + \ldots + MF_{kn} \qquad (2)$$

در این رابطه Ri، امتیاز نهایی تناسب اراضی و WFkn، مقادیر وزن‌دارشده برای ویژگی‌های مختلف اراضی می‌باشد. نقشه‌های تناسب اراضی نشانگر کل رده‌های تناسب اراضی با مقیاس پیوسته بین صفر تا صد 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

10/5 تهیه شدند. برای تعیین میزان تطابق نقشه از روش عملگر ترکیب (رابطه 3) استفاده شد.

$$R_{nij} = [(P_{ni} - P_{nii}) \times ((P_{n.j} - P_{nij}) / \sum_{j=1}^{j} (P_n - P_{njj}))] \quad For \quad i \neq j \qquad (3)$$

در این روابط n نشان‌دهنده تعداد پیکسل در نقشه، Pni تابع عضویت کلی و Pnii درجه تطابق کلاس i، Pnjj درجه تطابق کلاس j می‌باشد. برای عدم تطابق، n پیکسل در نقشه مرجع برای کلاس j و عدم تطابق Pn.j- Pnjj می‌باشد. نهایتاً برای مقایسه شاخص‌های اراضی محاسبه شده با روش سامانه و روش فائو (روش معمول) از آزمون F استفاده شد. همچنین برای سنجش دقت مدل نیز از ضریب تبیین محاسبه‌شده بین شاخص‌های اراضی و تولید واقعی استفاده شد (چوآنگ، 2008 ، ژانگ و همکاران، 2015).

جدول 1- مقیاس مقایسات دو به دو با استفاده ازظرف سنجش ساعتی در AHP

شدت اهمیت	تعریف
1	اهمیت برابر
2	اهمیت برابر تا متوسط
3	اهمیت متوسط
4	اهمیت متوسط تا قوی
5	اهمیت قوی
6	اهمیت قوی تا خیلی قوی
7	اهمیت خیلی قوی
8	اهمیت خیلی تا به‌شدت قوی
9	اهمیت به‌شدت قوی

نتایج و بحث

جدول 2 خلاصه آماری ویژگی‌های اراضی را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که از 60 نقطه مطالعاتی اخذ شده‌اند. چنانچه مشاهده می‌شود ویژگی‌های انتخابی از ضریب تغییرات مناسب (3/9 برای pH و 22/8 برای عمق افق کلسیک) برخوردار بوده و از نظر درجه تناسب در کلاس‌های مختلف تناسب قرار می‌گیرند. شایان ذکر است که کلاس زهکشی بر اساس راهنمای تشریح خاک شوئنبرگر و همکاران (2012) تشریح شد که به دلیل زهکشی مصنوعی در منطقه به‌غیر از قسمت‌هایی در شمال منطقه در کلاس مناسب برای برنج بودند و درجه تناسب آن‌ها وارد مدل شد. ویژگی‌ها براساس جداول سایس و همکاران (1993) انتخاب و از 20 نفر از کارشناسان محلی و محققین مختلف برای تطبیق با شرایط محلی پرسش شد.

جدول 2- خلاصه آمار توصیفی ویژگی‌های اراضی مورد استفاده در ارزیابی تناسب اراضی برنج

ویژگی‌ها	میانگین	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات
ظرفیت تبادل کاتیونی ($meq\ 100g\ soil^{-1}$)	25/4	19/2	32/1	18/1
واکنش خاک	7/7	7	8/2	3/9
اشباع بازی (%)	82/7	72/9	96/9	8/8
رس (%)	31/4	25/2	45	20
سیلت (%)	36/1	21/4	42	14/9
شن (%)	32/2	23	59	20/9
سنگریزه سطحی (%)	8	2	30	10/1
عمق خاک (cm)	120	80	162	11/8
عمق افق کلسیک یا جیپسیک (cm)	53	28	83	22/8
کربن آلی (%)	1/2	0/8	2/5	16/7
شیب (%)	1/8	0	5	16/7
شاخص اراضی (%)	58/4	11/1	84/6	6/1

مراحل دوره رشد برنج ورودی در مدل در جدول 3 نشان داده شد. اطلاعات جدول از بخش تحقیقات زراعت معاونت موسسه تحقیقات برنج (آمل) اخذ گردید که شامل مراحل کاشت تا برداشت برنج رقم فجر (رقم اصلاح‌شده و میان رس) بوده و به‌طور متوسط 141 روز است.

جدول 3- مراحل دوره رشد برنج رقم فجر در منطقه آمل

مرحله	قبل از جوانه زدن	آغاز رشد نشاء	پنجه زنی	آبستنی	خوشه دهی	پرشدن دانه + رسیدن دانه		طول فصل رشد
	(0) استقرار							
	خزانه 25 تا 30 روز	مزرعه 10 روز	(1) رشد رویشی 40 تا 60 روز		(2) گلدهی 10 تا 15 روز	(3) تولید محصول 25 تا 30 روز	(4) رسیدن 10 تا 20 روز	120 تا 165 روز
برنج	25 فروردین تا 20 اردیبهشت	20 اردیبهشت تا 5 خرداد	5 خرداد تا 25 تیر		25 تیر تا 10 مرداد	10 مرداد تا 10 شهریور		141 روز

ارزیابی وضعیت اقلیمی نشان‌دهنده محدودیت میانگین دما در مرحله 1 و 2 (جدول 4) بود، به‌طوری‌که شاخص اقلیمی 84 برآورد گردید که نسبت به حالت بهینه، 16 درصد کاهش نشان داد. در مطالعات محمود سلطانی و همکاران (2017) در شالیزارهای رشت نیز کربن آلی و زهکشی مهم‌ترین عوامل محدودکننده معرفی شدند. با توجه به اینکه میانگین دمای فروردین و نیمه اول اردیبهشت منطقه آمل کم می‌باشد لذا با توجه به نیازهای رویشی برنج چنانچه این گیاه در تاریخ 15 اردیبهشت کشت و 30 شهریور برداشت شود، با دماهای بازدارنده رشد روبرو نخواهد شد و در نتیجه از لحاظ اقلیمی بازده مناسب حاصل می‌شود. از نظر خاکی نیز در برخی مناطق کمبود مواد آلی و در برخی دیگر بافت (لوم شنی و شنی لومی) مسئله‌ساز شدند.

ارزیابی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نیز مؤید این مطلب است که کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشترین وزن و سنگریزه سطحی کمترین وزن را به خود اختصاص دادند (جدول 5).

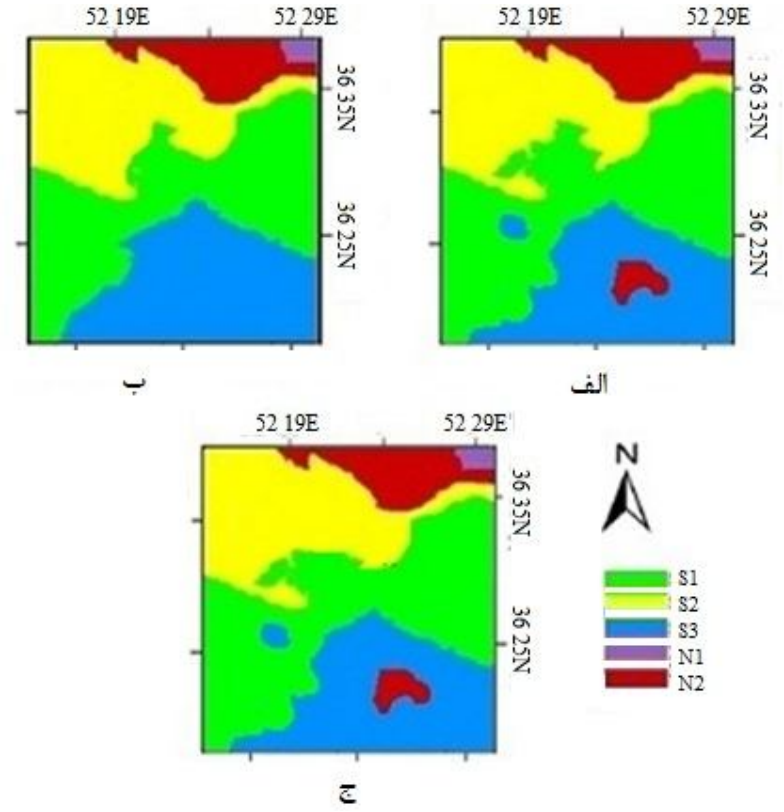
جدول 4- ارزیابی اقلیمی برای برنج در منطقه مورد مطالعه با سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری برای گیاه برنج

ویژگی اقلیمی	مقادیر	درجه تناسب
میانگین درجه حرارت طول فصل رشد	23/37	89/4
میانگین درجه حرارت مرحله 1 و 2	20/96	84/2
میانگین درجه حرارت مرحله 3 و 4	25/46	88/3
میانگین درجه حرارت حداقل مرحله 1 و 2	22/62	94/8
میانگین درجه حرارت حداکثر در گرمترین ماه	31/20	89
رطوبت نسبی در مرحله خاکورزی و سبزینه	76	94/3
رطوبت نسبی مرحله 1 و 2	78	92/7
رطوبت نسبی در مرحله 3 و 4	78/49	91/3
n/N در طول فصل رشد	0/51	89/1

جدول 5- اوزان محاسبه‌شده با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای ویژگی‌های مختلف اراضی شالیزاری

ویژگی‌ها	اوزان
ظرفیت تبادل کاتیونی	0/543
واکنش خاک	0/493
اشباع بازی	0/218
رس	0/394
سیلت	0/142
شن	0/175
سنگریزه سطحی	0/096
عمق خاک	0/348
عمق افق کلسیک یا جیپسیک	0/172
کربن آلی	0/547
شیب	0/431

نتایج نقشه تناسب اراضی (شکل 6) مؤید این مطلب است که ویژگی‌های متفاوت خاک‌ها در لندفرم‌های مختلف در عملکرد، نمود پیدا کرده و بیانگر اختلاف قدرت تولید در لندفرم‌های مختلف می‌باشد. مناطق پست و آبگیر منطقه مطالعاتی (حاشیه شمال و شمال شرق) از کمترین تناسب برای کشت برنج برخوردار هستند. توزیع و پراکندگی نقشه‌های تناسب اراضی برای برنج نشان مؤید این مطلب است شکل 6 الف، 6- ب و 6-ج به‌ترتیب نشان‌دهنده توزیع کلاس‌های تناسب اراضی با روش‌های سامانه پشتیبانی طراحی‌شده، فائو و تولید واقعی برنج در منطقه مطالعاتی می‌باشد. نتایج مؤید این مطلب است که براساس هر سه نقشه فوق، اراضی با کلاس‌های مناسب (S_1) و نسبتا مناسب (S_2) در قسمت‌های مرکزی و اراضی نامناسب فعلی (N_1) و نامناسب دائمی (N_2) در قسمت‌های شمالی و جنوبی منطقه برای تیپ بهره‌وری برنج واقع شده‌اند که دارای محدودیت‌های کربن آلی و بافت هستند. در برخی مناطق که کمبود مواد آلی باعث کاهش تناسب اراضی شده، می‌توان از کودهای سبز و کودهای حیوانی برای افزایش تولید محصول برنج در منطقه استفاده نمود. کاربرد عملگر ترکیب برای تعیین درجات تناسب نشان داد که هم‌پوشانی نقشه تناسب اراضی با نقشه تولید واقعی برای روش‌های فائو و سامانه پشتیبانی به‌ترتیب 86 و 94/2 درصد است. تطابق کلی بالا میان نقشه‌های تهیه‌شده با روش‌های مختلف و تولید واقعی به این معنا است که تطابق خوبی بین توابع عضویت پیکسل‌ها (عنصرهای تصویری) و مجموعه کلاس‌های تناسب اراضی برای تیپ بهره‌وری برنج وجود دارد. لذا روش سامانه پشتیبانی به‌دلیل استفاده از کیفیت‌های اراضی و در نظرگیری شرایط منطقه‌ای نتایج مناسب‌تری ارائه می‌کند.



شکل 6- نقشه تناسب اراضی برای برنج آبی (الف: روش سامانه ب: روش فائو ج: تولید واقعی)

بر اساس روش سامانه تصمیم‌گیری، سطح بزرگی از منطقه مورد مطالعه 30/8، 29/3 و 28/1 درصد اراضی به‌ترتیب در کلاس‌های تناسب مناسب (S_1)، نسبتاً مناسب (S_2) و تناسب بحرانی (S_3) طبقه‌بندی شدند (جدول 6). دلسوز خاکی و همکاران (2017) نیز با مطالعات خود در اراضی شالیزاری استان گیلان گزارش

کردند که به‌ترتیب 8، 90 و 2 درصد اراضی در کلاس‌های کاملاً مناسب، نسبتاً مناسب و تناسب بحرانی برای کشت برنج طبقه‌بندی شدند. نتایج ارزیابی با آزمون F نشان داد که شاخص‌های اراضی محاسبه‌شده با روش فائو و سامانه پشتیبانی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد نشان نمی‌دهد. همچنین ضرایب تبیین محاسبه‌شده بین شاخص اراضی و تولید واقعی برای روش فائو و سامانه پشتیبانی به‌ترتیب 0/77 و 0/85 محاسبه گردید. در برخی نقاط مانند قسمت‌های میانی منطقه و در مرز کلاس مناسب و نسبتاً مناسب، مقدار تولید واقعی کمتر از کلاس‌های طبقه‌بندی شده با روش سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری است که دلیل آن مدیریت پایین برخی از زارعین در منطقه می‌باشد.

جدول 6- وسعت کلاس‌های تناسب اراضی با روش‌های فائو، سامانه و تولید واقعی گیاه برنج

کلاس‌های تناسب	روش سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری	روش فائو	تولید واقعی
	وسعت کلاس‌ها (%)		
S_1	30/8	27/9	31/9
S_2	29/3	32/2	30/4
S_3	28/1	28/1	27/2
N_1	10/7	10/7	9/4
N_2	1/1	1/1	1/1

نتیجه‌گیری کلی

سطح بزرگی از منطقه مورد مطالعه در کلاس‌های تناسب مناسب (S_1) و نسبتاً مناسب (S_2) پهنه‌بندی شدند، لذا این پهنه‌ها می‌توانند با مدیریت‌های مناسب محصول خوبی برای برنج تولید نمایند. تطابق بالایی میان نقشه کلاس‌های تناسب برنج و تولید واقعی وجود داشت که ناشی از تطابق بالای توابع عضویت پیکسل‌ها با مجموعه کلاس‌های تناسب اراضی است. نتایج آزمون F نیز مؤید این مطلب است که شاخص‌های اراضی محاسبه‌شده با روش فائو و سامانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد نشان نمی‌دهد. همچنین ضریب تبیین محاسبه‌شده بین شاخص اراضی و تولید واقعی با سامانه پشتیبانی 0/85 محاسبه گردید که ناشی از دقت بالای سامانه مزکور می‌باشد. بنابراین سامانه پشتیبانی توسعه‌یافته به‌دلیل استفاده از کیفیت‌های اراضی و در نظرگیری شرایط منطقه‌ای نتایج مناسب‌تری ارائه داد. با این حال لازم است این سامانه برای برنج در مناطق دیگر نیز واسنجی شود. همچنین سایر محصولات قابل ارزیابی با این سامانه نیز بایستی در مناطق مختلف راستی‌آزمایی شوند تا به‌توان با تعیین تناسب گیاهان در هر منطقه، گامی مؤثر در راستای بهره‌برداری مناسب و پایدار از اراضی برداشت.

فهرست منابع:

1. ثروتی، م.، ممتاز، ح ر.، عمرانی، م و ح محمدی. 1393. تناسب اراضی منطقه گلفرج جلفا برای کشت چغندرقند با استفاده از سیستم مدیترانه‌ای. تحقیقات کاربردی خاک. جلد 2، شماره 2، صفحه‌های 1 تا 11.
2. نیاز مرادی، م.، کاظمی، ح. و ف قادری‌فرد. 1396. امکان‌سنجی کشت چاودم در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان با استفاده از تحلیل مکانی سامانه اطلاعات جغرافیایی. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. جلد 9، شماره 3، صفحه، صفحه‌های 777 تا 793.
3. Ceballos, S.A. and J.L. Blanc. 2003. Delineation of suitable areas for crops using a multi-criteria evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. Agric. Syst. *77*(2): 117-136.

4. Chuong, H.V. 2008. Multicriteria Land Suitability Evaluation for Crops using GIS at Community Level in Central Vietnam. Paper presented at the International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sci, Vietnam.
5. Darwish, K.M., and W.A. Abdel Kawy. 2014. Land suitability decision support for assessing land use changes in areas west of Nile Delta, Egypt. Arabian Journal of Geosciences. 7(3): 865–875.
6. De la Rosa, D., JA. Moreno., L.V. Garcia., and J. Almorza. 1992. MicroLEIS: a microcomputer based Mediterranean land evaluation information system. Soil Use and Management. 8: 89-96.
7. De la Rosa, D, Anaya-Romero M, Diaz-Pereira E, Heredia N, Shahbazi F. 2009. Soil specific agro-ecological strategies for sustainable land use. A case study by using MicroLEIS DSS in Sevilla province (Spain). Land Use Policy 6, 1055–1065.
8. Delsouz Khaki, B., Honarjoo, N., Davatgar, N., Jalalian, A., and Torabi Golsefidi, H. 2017. Assessment of Two Soil Fertility Indexes to Evaluate Paddy Fields for Rice Cultivation. Sustainability 9: 1-13.
9. FAO. 1976. A framework for land evaluation. Soils Bulletin. No, 32. Rome.
10. FAO. 2010. Analytical tools to assess and unlock sustainable bioenergy potential global bioenergy partnership. Land evaluation for forestry. No, 48. Rome.
11. Geological survey and Mineral Exploration of Iran. 2006. Geology Map of Iran, 1:100000 . Series, Shite N, Amol.
12. Jayasinghe, P.K.S., and T. Machida. 2008. Web-Based GIS Online Consulting System with Crop-Land Suitability I deification. Agriculture Information Research. 17(1): 13-19.
13. Kalogirou, S. 2002. Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation. Computers, Environment and Urban Systems. 26(2): 89 -12.
14. Maddahi, Z., Jalalian, A., Kheirkhah Zarkesh, M.M.,and Honarjo, N. 2014. Land suitability analysis for rice cultivation using multi criteria evaluation approach and GIS. European Journal of Experimental Biology. 4(3):639-648.
15. Mahmoud Soltani, S., Hanafi, M.M., Karbalaei, M.T., and Khayambashi, B.2017. Qualitative Land Suitability Evaluation for the Growth of Rice and Off-seasons Crops as Rice Based Cropping System on Paddy Fields of Central Guilan, Iran . Indian Journal of Science and Technology. 6(10): 5395-5403.
16. Nwer, B.A.B. 2006. The Application of Land Evaluation Technique in the north-east of Libya. Cranfield University, Silsoe.
17. Newhall, F., and Berdanier, C.R. 1996. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. Natural Resources Conversations Service, Soil Survey Investigation Report.
18. Page, A.L., Miller, R. H. Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 1, 2, 3. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin USA.
19. Rossiter, D.G., and A.R.V. Wambeke. 1997. Automated Land Evaluation System ALES Version 4.65 User's Manual: Cornell University.
20. Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. New York, McGraw–Hill.
21. Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki., E.C. Benham., and W.D. Broderson. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils. Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
22. Sys, C., Van Ranset, E., and Debaveye, J. 1991. Land Evaluation, Part II, Methods in Land Evaluation. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Ghent, Belgium.

23. Sys, C., E. Van Ranst., J. Debaveye., and F. Beernaert. 1993. Land Evaluation, Part III, Crop Requirements. General Administration for Development Cooperation Place, Brussels, Belgium.
24. USDA. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th edition. Soil Survey Staff, Natural Resource Conservation Service.
25. Widiamaka, A., W. Ambarwulan., Y. Setiawan., and C. Walter. 2016. Assessing the suitability and availability of land for agriculture in turban regency, East Java, Indonesia. Applied and Environmental Soil Science. 48: 148-160.
26. Wood, S.R., and F.J. Dent. 1983. LECS. A land evaluation computer system methodology. Bogor. Indonesia: Ministry of Agriculture / PNUD/FAO, Centre for Soil Research.
27. Yitbarek, T., K. Kibret., G. Gebrekidan., and S. Beyene. 2013. Physical Land Suitability Evaluation for Rainfed Production of Cotton, Maize, Upland Rice and Sorghum in Abobo Area, western Ethiopia, American Journal of Research Communication. 1(10): 296-318.
28. Zhang, J., Su, Y., Wu, J., and Liang, H. 2015. GIS based land suitability assessment for tobacco production and fuzzy set in Shandong province of China. Computer and Electronic in Agriculture. 114: 202-211.

Developing a Land Suitability Decision Support Tool for Rice

M. Servati[1] and H. Momtaz
Assistant Professor, Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University;
E-mail: m.sarvati@urmia.ac.ir
Associated Professor, Dept. of Soil Science. Faculty of Agriculture, Urmia University;
E-mail: Hamidmomtaz@gmail.com
Received: May, 2018 and Accepted: December, 2018

Abstract

Development of a land evaluation decision support system to identify the suitable lands for selected crops is necessary. The aim of the present research was to develop a land suitability evaluation system based on the FAO framework, with some modifications to suit the local conditions. For this purpose, a model was made by GIS capability and integrated with modeling function using Visual Basic. This model was based on a hierarchy process rather than a set of AHP model. For equilibration of the model, soil data were obtained from 60 soil profiles located in Amol region (Mazandaran Province, Iran), covering about 3200 ha. Fourteen land characteristics and their suitability degrees were determined and categoried in eight land qualities. The results of F test between land indexes calculated by FAO method and Decision Support Tool were not significantly different (P>5%). Also, the calculated correlation coefficients between land index and observed production by Decision Support Tool method was r= 0.85, more than that of FAO (r= 0.77). Besides, the overall overlap between the FAO and Decision Support Tool with the observed production point map was 86% and 95.4 %, respectively. Thus, Decision Support Tool provided good results by using land qualities and considering local conditions. Finally, based on these results, it can be concluded that the developed system can help farmers and experts as a decision support tool.

Keywords: Amol, FAO land evaluation, GIS, Land qualities, Visual Basic

[1]. Corresponding author: Urmia University, Miandoab, Shahid Bakeri High Education Center