نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۷، ص. ۹۹-۸۷

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 1, Mar.-Apr. 2018, p. 87-99

بررسی کارایی روش‌های رقومی به‌منظور ارزیابی کیفی تناسب اراضی (مطالعه‌ی موردی: دشت شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری)

زهره مصلح[1*] – محمدحسن صالحی[2] – اعظم جعفری[3] – عبدالمحمد محنت‌کش[4] – عیسی اسفندیارپور بروجنی[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹

چکیده

در این پژوهش، کارایی روش‌های رقومی برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب کیفی محصولات گندم، یونجه، سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای در دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر گردید و از اعماق مختلف، نمونه‌برداری صورت گرفت. بر اساس نتایج آزمایشگاهی، میانگین وزنی ویژگی‌های مورد نیاز تا عمق ریشه (برای گیاهان یک‌ساله و چندساله، به‌ترتیب عمق ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری) محاسبه گردید. سپس، ویژگی‌های خاک هر خاک‌رخ با معیارهای جدول نیازهای زمینی و ویژگی‌های اقلیمی مورد نیاز برای ارزیابی اقلیم منطقه با جدول‌های نیازهای اقلیمی محصولات مختلف مطابقت داده شدند. پس از آن، با استفاده از روش پارامتریک (فرمول ریشه دوم)، کلاس نهایی تناسب کیفی اراضی برای تمامی محصولات مورد مطالعه تعیین گردید. زیرکلاس نیز بر اساس نامطلوب‌ترین کلاس مربوط به مشخصات اقلیمی یا اراضی تعیین شد. برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی، مدل‌های رگرسیون درختی توسعه‌یافته، درختان تصمیم‌گیری تصادفی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای استفاده گردیدند. نتایج نشان داد که در سطوح کلاس و زیرکلاس، برای تمامی محصولات مورد نظر، مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی دارای بالاترین مقدار صحت عمومی می‌باشد (هر چند که تفاوت چشمگیری بین این مدل‌ها وجود ندارد). صرف‌نظر از نوع مدل و محصول مورد مطالعه، مقادیر صحت عمومی از سطح کلاس به زیرکلاس کاهش می‌یابند. همچنین، مهم‌ترین پارامترهای محیطی برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی، اجزای سرزمین و شاخص‌های سنجش از دور (شاخص گیاهی عمودی و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده) می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: اجزای سرزمین، پارامترهای محیطی، خاک‌رخ، روش پارامتریک

مقدمه

استفاده‌ی بهینه از عوامل تولید، یکی از ارکان مهم توسعه‌ی پایدار محسوب می‌شود. فشار روز افزون به منابع خاک، ناشی از افزایش جمعیت، توسعه‌ی مناطق صنعتی و محدودشدن اراضی کشاورزی، نیاز به استفاده‌ی بهینه و پایدار از خاک را ضروری می‌نماید (۱۹). یکی از راه‌های رسیدن به این هدف، شناسایی ظرفیت تولید هر زمین می‌باشد. برنامه‌ریزی برای استفاده‌ی بهینه از اراضی، موجب می‌گردد تا ضمن حداکثر بهره‌وری، امکان استفاده از اراضی برای آیندگان نیز فراهم شود. چنانچه از هر زمین به مقتضای استعداد و توانمندی آن استفاده نشود در معرض نابودی قرار می‌گیرد و به مرور زمان از باروری آن کاسته می‌شود.ارزیابی اراضی، به‌عنوان روشی برای بیان و پیش‌بینی پتانسیل تولید اراضی برای یک کاربری خاص و به‌طور عمده به‌عنوان رابطی بین منابع و مدیریت این منابع می‌باشد (۱۹).

با توجه به اینکه ویژگی‌های خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی هستند؛ انتظار می‌رود که این تغییرات، در واحدهای نقشه‌ی خاک و نقشه‌های تناسب اراضی نیز وجود داشته باشند. بنابراین، به نظر می‌رسد که یکی از مهم‌ترین مشکلات روش‌های سنتی نقشه‌برداری خاک، تعمیم نتایج حاصل از خاک‌رخ شاهد به کل واحد نقشه، بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی آن می‌باشد. پژوهشگران مختلفی ضمن مطالعات خود اذعان داشتند که تعمیم کلاس تناسب اراضی خاک‌رخ شاهد به کل واحد نقشه تا حد زیادی می‌تواند گمراه‌کننده باشد (۱۶ و

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته‌ی دکتری و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: mosleh.zohreh@yahoo.com)
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۴- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد
۵- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان
DOI: 10.22067/jsw.v31i6.64209

۱۷).

پیشرفت در فناوری اطلاعات، تمامی علوم را قادر کرده است تا تقاضاهای جدید زندگی امروزه‌ی بشر را پاسخگو باشند. ارزیابی تناسب اراضی نیز از این قاعده مستثنی نیست و نیازمند به‌کارگیری روش‌های مختلف برای درک بهتر تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی به‌منظور مدیریت پایدار اراضی می‌باشد. تکنیک نقشه‌برداری رقومی، به‌عنوان یکی از فنون جدید نقشه‌برداری تلاش می‌کند تا بر اساس پارامترهای محیطی که به‌سادگی قابل دست‌یابی هستند؛ ویژگی مد نظر (کلاس‌ها یا ویژگی‌های خاک، کلاس‌های تناسب اراضی) را با دقت بالا پیش‌بینی کند. در این روش، برای کاهش وقت و هزینه، پیش‌بینی مکانی بر اساس ارتباط با پارامترهای محیطی انجام می‌شود. در این زمینه، مدل‌های مختلفی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، رگرسیون درختی توسعه‌یافته، درختان تصمیم‌گیری تصادفی و رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای استفاده می‌شوند. یکی از موضوعات مهم در تکنیک نقشه‌برداری رقومی، مدل مورد استفاده برای ارتباط دادن پارامترهای محیطی با ویژگی مورد بررسی می‌باشد (۳). همچنین کاربرد موفقیت‌آمیز نقشه‌برداری رقومی خاک به میزان داده‌های موجود از منطقه‌ی مطالعاتی و پارامترهای محیطی استفاده شده در مدل بستگی دارد (۱۸).

در ایران، اولین مطالعات ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش فائو، توسط موحدی نائینی (۱۲) برای مهم‌ترین محصولات زراعی منطقه‌ی گرگان انجام شده است. گیوی (۷) با بررسی ارزیابی تناسب اراضی در منطقه‌ی فلاورجان اصفهان بیان نمود قسمت اعظم منطقه برای کشت گیاهان گندم، جو و سیب‌زمینی تناسب خوبی دارند؛ برای پیاز دارای تناسب کم تا متوسط است که دلیل اصلی آن پهاش خاک می‌باشد و برای گیاهان یونجه و برنج، از تناسب کمتری برخوردار است. کمالی (۹) تناسب اراضی را برای محصولات آبی گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و چغندرقند در قزوین با استفاده از روش‌های محدودیت ساده و پارامتریک تعیین نمود. نتایج این پژوهش نشان داد که علاوه بر محدودیت‌های اقلیمی، گچ، شوری و پهاش خاک از جمله محدودیت‌های مهم خاک‌های منطقه می‌باشند. اعتدالی و گیوی (۴) با ارزیابی تناسب کیفی اراضی نشان دادند که متوسط حداقل درجه‌ی حرارت دوره‌ی رشد و نسبت تعداد ساعات آفتابی به طول روز در مرحله‌ی رویشی و در بعضی از واحدهای اراضی، پهاش خاک، عوامل محدودکننده‌ی تولید ذرت علوفه‌ای در منطقه‌ی شهرکرد می‌باشند.

علی‌رغم اینکه به‌نظر می‌رسد که تغییرپذیری ویژگی‌های خاک بر نتایج تناسب اراضی تأثیرگذار است اما اغلب مطالعات انجام‌شده در کشور در زمینه‌ی ارزیابی تناسب اراضی، به ارزیابی کیفی و کمّی تناسب اراضی بر مبنای نتایج خاک‌رخ شاهد پرداخته‌اند. صالحی و همکاران (۱۶) تغییرپذیری تناسب کیفی گندم آبی در یک واحد نقشه‌ی تفصیلی خاک منطقه‌ی فرخ‌شهر استان چهارمحال و بختیاری را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، نتایج ۳۱ خاک‌رخ موجود در این واحد، از نظر معیارهای لازم برای تناسب کیفی، مورد ارزیابی و با نتایج حاصل از خاک‌رخ شاهد، مورد مقایسه‌ی آماری قرار گرفتند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که در سطح سری خاک و فاز سری، به‌ترتیب ۱۶/۱ و ۲۴ درصد از خاک‌رخ‌ها از نظر کلاس تناسب اراضی با خاک‌رخ شاهد واحد هماهنگ می‌باشند. آن‌ها بیان کردند که تعمیم کلاس تناسب اراضی خاک‌رخ شاهد به کل واحد تا حد زیادی می‌تواند گمراه‌کننده باشد.با توجه به اینکه آگاهی از تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی می‌تواند گامی مفید در راستای استفاده صحیح و پایدار از راضی باشد در این پژوهش، کارایی روش‌های رقومی به‌منظور ارزیابی تناسب کیفی اراضی برای محصولات عمده‌ی دشت شهرکرد مورد بررسی قرار گرفته است.

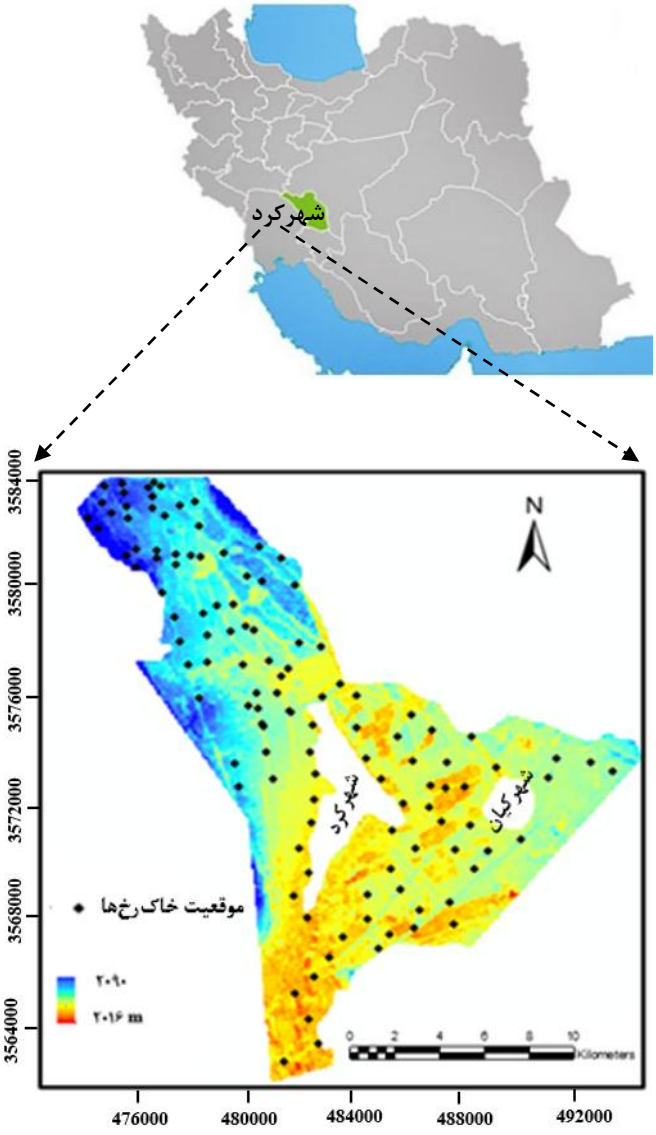
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

قسمتی از اراضی دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری واقع در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ´۴۷ °۵۰ تا ´۰۰ °۵۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ´۱۳ °۳۲ تا ´۲۳ °۳۲ شمالی با مساحتی در حدود ۱۰۵۰۰ هکتار برای این پژوهش انتخاب گردید (شکل ۱). میانگین ارتفاع از سطح دریا، بارندگی و دمای سالیانه‌ی منطقه به ترتیب، ۲۰۵۰ متر، ۳۲۲ میلی‌متر و ۱۲/۵ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد. خاک‌های این منطقه به‌طور عمده روی رسوبات رسی و سیلتی مربوط به دوران چهارم زمین‌شناسی (دوره‌ی کواترنری) تشکیل شده‌اند و بخش اعظم این دشت به‌واسطه‌ی وجود زمین‌های حاصلخیز، تحت کشت قرار دارد. کاربری عمده‌ی اراضی در این منطقه، کشت آبی گندم، یونجه، سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای می‌باشد.

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

بر اساس مطالعات خاکشناسی نیمه‌تفصیلی (۱۴)، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر گردید و از افق‌های ژنتیکی خاک نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک، بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند.



شکل ۱- منطقه‌ی مورد مطالعه به همراه موقعیت خاک‌رخ‌ها

Figure 1- Location of the study area with pedons position

مطالعات ارزیابی تناسب کیفی اراضی

در این پژوهش، مطالعات ارزیابی تناسب کیفی اراضی برای محصولات گندم، ذرت علوفه‌ای، یونجه و سیب‌زمینی با استفاده از روش پارامتریک (فرمول ریشه دوم) برای ۱۲۰ خاک‌رخ حفرشده انجام شد. برای ارزیابی تناسب اقلیمی منطقه، با توجه به دوره‌ی رشد، کشت آبی محصولات و پذیرفتن این فرض که نیاز آبی این گیاهان از طریق آبیاری تأمین می‌گردد؛ از میزان بارندگی صرف‌نظر شد. سایر پارامترهای اقلیمی برای سیکل رشد محصولات مختلف تعیین گردیدند. برای تعیین پارامترهای اقلیمی از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرکرد در دوره‌ی آماری ۶۰ ساله استفاده شد.

بر اساس نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های حفرشده، میانگین وزنی ویژگی‌های مورد نیاز برای مطالعات ارزیابی تناسب کیفی اراضی تا عمق ریشه (برای گیاهان یک‌ساله و چندساله، به‌ترتیب عمق ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری) محاسبه شد. سپس ویژگی‌های خاک هر خاک‌رخ با معیارهای جدول نیازهای زمینی محصولات مورد مطالعه (۶) مطابقت داده شدند و محدودیت اراضی تعیین گردید.

پس از تعیین مقادیر ویژگی‌های اقلیمی مورد نیاز برای ارزیابی اقلیم منطقه، این مقادیر با جدول‌های نیازهای اقلیمی محصولات مختلف داده شدند. در نهایت با استفاده از روش پارامتریک (فرمول ریشه دوم)، کلاس نهایی تناسب اقلیمی برای تمامی محصولات مورد مطالعه تعیین گردید. در روش پارامتریک، ابتدا

شاخص اقلیم (Climatic Index, CI) با استفاده از فرمول ریشه دوم و بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی شاخص اقلیم، پایین‌ترین درجه‌ی تناسب اختصاص‌یافته در هر گروه اقلیمی، انتخاب شد.

$$CI = R_{min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100}} \quad (۱)$$

در این رابطه، A، B، C و ..... درجات تناسب هر یک از متغیرهای اقلیمی و R ، درجه‌ی تناسب حداقل می‌باشد. شاخص اقلیم با استفاده از روابط زیر به درجه‌ی تناسب اقلیم (Climatic Rating, CR) تبدیل شد:

$$CR = 16.67 + 0.9 \times CI \quad if \quad 25 < CI < 9 \quad (۲)$$

$$CR = 1.6 \times CI \quad if \quad CI < 25 \quad (۳)$$

در این روابط، CI و CR، به‌ترتیب شاخص اقلیم و درجه‌ی تناسب اقلیم می‌باشند.

سپس، درجه‌ی تناسب اقلیم به‌دست آمده برای محاسبه‌ی شاخص زمین (Land Index, LI) استفاده شد. در نهایت، بر اساس مقادیر شاخص زمین، کلاس تناسب مشخص شد (۶). همچنین، زیرکلاس نیز بر اساس این‌که نامطلوب‌ترین کلاس مربوط به کدامیک از مشخصات اقلیمی یا اراضی می‌باشد؛ تعیین گردید.

جمع‌آوری پارامترهای محیطی

بر اساس مدل رقومی ارتفاع با تفکیک مکانی ۳۰ متر که از وب‌سایت مدل رقومی ارتفاع جهانی استر تهیه گردید؛ ویژگی‌های اولیه و ثانویه‌ی مدل رقومی ارتفاع شامل درصد شیب[۱]، جهت شیب[۲]، انحنای خالص[۳]، انحنای نیم‌رخ[۴]، انحنای سطحی[۵]، جهت جریان[۶]، تجمع جریان[۷]، تابش مستقیم[۸]، مدت تابش[۹]، تابش پخشیده[۱۰]، شاخص قدرت جریان[۱۱]، شاخص خیسی[۱۲] و شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا[۱۳] با استفاده از نرم‌افزار SAGA تعیین گردیدند. شاخص‌های سنجش از دور (شامل شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، شاخص گیاهی عمودی، شاخص رس و شاخص کربنات) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ (سال ۲۰۱۴) بدست آمدند. همچنین، نقشه‌ی زمین‌شناسی (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰)، نقشه‌ی خاک موجود در منطقه (با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) (۱۱) و نقشه‌ی ژئومورفولوژی منطقه (با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰)، به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که در این پژوهش، نقشه‌ی ژئومورفولوژی برای منطقه‌ی مورد مطالعه تا سطح شکل سرزمین[۱۴] بر مبنای روش زینک (۲۰) تهیه گردید.

روش‌های نقشه‌برداری رقومی

در این پژوهش، مدل‌های رگرسیون درختی توسعه‌یافته، درختان تصمیم‌گیری تصادفی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس‌های تناسب کیفی اراضی استفاده شدند. ابتدا، اطلاعات کلاس و زیرکلاس‌های تناسب اراضی به‌صورت جداگانه به همراه پارامترهای محیطی برای مدل‌ها تعریف شدند. سپس، بر اساس ارتباط کلاس‌های تناسب اراضی با پارامترهای محیطی، پیش‌بینی صورت گرفت. مدل‌سازی با استفاده از بسته‌ی نرم‌افزاری Caret موجود در نرم‌افزار R انجام شد. برای تمامی مدل‌ها، با استفاده از شاخص تأثیر نسبی، سهم هر متغیر در پیش‌بینی مشخص و پارامترهای مهم برای مدل‌سازی انتخاب گردیدند. مدل‌های مورد مطالعه با ۸۰ درصد داده‌ها (۹۶ خاک‌رخ با انتخاب تصادفی) آموزش داده شدند و اعتبارسنجی با استفاده از ۲۰ درصد داده‌ها (۲۴ خاک‌رخ باقی‌مانده) انجام گردید. ارزیابی صحت پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس‌های تناسب اراضی با استفاده از شاخص صحت عمومی[۱۵] صورت پذیرفت (۵). این شاخص بر اساس رابطه‌ی زیر تعیین گردید:

$$OA = \sum_{i=1}^{n} X_{ii} / N$$

در این رابطه، تعداد سطر یا ستون‌های ماتریس، کلاس‌هایی که به درستی پیش‌بینی شده‌اند و تعداد کل مشاهدات می‌باشد.

در نهایت، بالاترین میزان صحت عمومی، به‌عنوان معیار انتخاب بهترین مدل برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس‌های تناسب کیفی اراضی در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط اقلیمی منطقه‌ی مورد مطالعه، برای کشت گندم و سیب‌زمینی بسیار مناسب (کلاس S1)

1- Slope
2- Aspect
3- Curvature
4–Profile curvature
5- Plan curvature
6- Flow direction
7- Flow accumulation
8- Direct radiation
9- Duration radiation
10- Diffuse radiation
11- Stream power index
12- Wetness index
13- Multi-resolution valley bottom flatness index

14- Landform
15- Overall accuracy

می‌باشد و پارامترهای اقلیمی هیچ‌گونه محدودیتی را برای کشت این دو محصول ایجاد نمی‌کنند. همچنین، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که اقلیم این منطقه، برای کشت ذرت علوفه‌ای و یونجه دارای تناسب نسبتاً مناسب (کلاس S2) است. متوسط حداقل درجه‌ی حرارت و متوسط درجه‌ی حرارت دوره‌ی رشد، به‌ترتیب، پارامترهای اقلیمی محدودکننده‌ی رشد ذرت علوفه‌ای و یونجه در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشند. نتایج این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران (۱۰، ۱ و ۱۵) مطابقت دارد.

جدول ۱، ارزیابی تناسب کیفی برخی از خاک‌رخ‌ها برای محصولات مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ۵۸ درصد از منطقه‌ی مورد مطالعه برای کشت گندم تناسب S1، S2 و S1-S2 دارند و در بیش‌تر واحدهای اراضی، محدودیت ویژگی‌های فیزیکی خاک (درصد کربنات کلسیم معادل، سنگریزه و عمق خاک) و زهکشی (عمق کرومای کمتر از ۲) وجود دارد. همچنین، اقلیم، ویژگی‌های فیزیکی خاک (درصد کربنات کلسیم معادل) و زهکشی (عمق کرومای کمتر از ۲)، بیش‌ترین محدودیت را برای کشت ذرت علوفه‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه ایجاد می‌کنند (جدول ۱). پهاش منطقه، محدودکننده‌ترین عامل برای کشت سیب‌زمینی می‌باشد؛ به‌طوری که ۳۱ درصد منطقه دارای کلاس تناسب S2 و مابقی آن دارای کلاس تناسب S3 می‌باشد (جدول ۱). طبق جدول نیازهای رویشی (۶) اگر پهاش از ۷ بیش‌تر باشد این ویژگی می‌تواند برای کشت محصول سیب‌زمینی محدودیت ایجاد نماید. بر اساس نتایج این پژوهش، اقلیم و ویژگی‌های اراضی (درصد کربنات کلسیم معادل، سنگریزه، عمق خاک، عمق کرومای کمتر از ۲، پهاش) در منطقه‌ی مورد مطالعه برای کشت یونجه، محدودیت ایجاد می‌کنند.

بر اساس نتایج جدول ۱، در رابطه با برخی از خاک‌رخ‌ها و برای تمامی محصولات مورد مطالعه، پسوند w که حاکی از محدودیت زهکشی می‌باشد؛ استفاده شده است. با کاربرد این پسوند، این‌گونه در ذهن تداعی می‌گردد که در منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ وضعیت زهکشی، خاک‌ها دارای محدودیت می‌باشند. این در حالی است که بازدیدهای صحرایی، خلاف این موضوع را تأیید می‌کنند. در جدول نیازهای رویشی محصولات زراعی، در رابطه با وضعیت زهکشی، دو ویژگی عمق کرومای کوچکتر مساوی ۲ (بر حسب سانتی‌متر) و عمق سطح آب زیرزمینی (بر حسب متر) همزمان با یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند. در رابطه با اکثر خاک‌های مورد مطالعه، در حال حاضر عمق سطح آب زیرزمینی بیش‌تر از ۲ متر می‌باشد. بنابراین، طبق جدول-های مربوطه، کلاس تناسب، S1 می‌شود و هیچ‌گونه محدودیتی از این نظر وجود ندارد. حال آنکه به دلیل شرایط ماندابی که قبلاً در این خاک‌ها وجود داشته است؛ رنگ خاک دارای کرومای کوچکتر از ۲ می‌باشد و در بسیاری از مواقع این ویژگی در لایه‌ی سطحی و عمق کم‌تر از ۲۰ سانتی‌متر مشاهده می‌گردد. این ویژگی سبب می‌گردد که کلاس تناسب به S3 و یا N اختصاص یابد. از این رو، به نظر می‌رسد که این دو ویژگی برای بیان ویژگی‌های اراضی تطابق خوبی با یکدیگر ندارند. بنابراین، در این پژوهش، تنها به‌دلیل استفاده از چارچوب ارایه‌شده توسط گیوی (۶) این پسوند به‌کار برده شده است. به همین دلیل، تصحیح جدول‌های نیازهای زمینی و در نظر گرفتن کرومای کم‌تر از ۲، تنها زمانی‌که این ویژگی ناشی از شرایط اشباع خاک در حال حاضر باشد؛ پیشنهاد می‌گردد.

جدول ۱- ارزیابی تناسب کیفی برخی از خاک‌رخ‌ها برای محصولات مورد مطالعه

Table 1- Qualitative land suitability evaluation for some of the profiles for the studied crops.

شماره خاک‌رخ Number of profile	گندم Wheat	ذرت علوفه‌ای Maize	سیب‌زمینی Potato	یونجه Alfalfa
1	S1	S2sc	S2fs	S2c
10	S2s	S3s	S2sf	S2sc
27	S1	S2c	S2f	S2c
50	S1	S2cf	S2f	S2c
61	S3w	S3w	S3w	S3w
65	Ns	S3ws	Ns	Ns
85	S2s	S3s	S3f	S3s
100	S2s	S3s	S3f	S2csf
104	S3w	S3ws	S3w	S3w
115	S1	S2fc	S3f	S2fc
120	S2s	S3s	S2sfw	S2swc

S1: کلاس تناسب بالا، S2: کلاس تناسب متوسط، S3: کلاس تناسب کم، N: کلاس نامناسب، s: محدودیت ویژگی‌های فیزیکی، w: محدودیت زهکشی،c: محدودیت اقلیم، f: محدودیت حاصلخیزی

S1: highly suitable class, S2: moderately suitable class, S3: marginally, N: unsuitable, s: soil physical limitation, w: wetness limitation, c: climatic limitation, f: fertility limitation

جدول ۲، مقادیر صحت عمومی مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی محصولات مورد مطالعه را نشان می‌دهد.نتایج مدل‌سازی گویای آن است که برای مدل‌های مختلف، مقادیر صحت عمومی در سطح کلاس برای گندم، یونجه، ذرت علوفه‌ای و سیب‌زمینی، به‌ترتیب از ۰/۴۵ تا ۰/۵۴، ۰/۴۱ تا ۰/۵۸، ۰/۵۴ تا ۰/۸۳ و ۰/۴۱ تا ۰/۵۸ متغیر است. همچنین، نتایج نشان داد که در سطوح کلاس و زیرکلاس، برای تمامی محصولات مورد نظر، مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی دارای بالاترین مقدار صحت عمومی می‌باشد؛ هر چند که تفاوت زیادی بین این مدل‌ها وجود ندارد (جدول ۲). بنابراین، می‌توان بیان نمود که مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، توانایی یکسانی برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب کیفی اراضی داشته‌اند.

جدول ۲ -ارزیابی مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی محصولات مورد مطالعه

Table 2- Performance of different models to predict qualitative land suitability classes and subclasses for the studied crops.

نوع مدل Type of model	گندم Wheat		یونجه Alfalfa		ذرت علوفه‌ای Maize		سیب‌زمینی Potato	
	کلاس Class	زیرکلاس Subclass	کلاس Class	زیرکلاس Subclass	کلاس Class	زیرکلاس Subclass	کلاس Class	زیرکلاس Subclass
درختان تصمیم‌گیری تصادفی Random forest	0.54	0.41	0.58	0.33	0.83	0.41	0.58	0.29
رگرسیون درختی توسعه‌یافته Boosted regression tree	0.5	0.4	0.41	0.29	0.7	0.29	0.5	0.2
رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای Multinomial logistic regression	0.5	0.37	0.5	0.2	0.58	0.33	0.52	0.29
شبکه‌های عصبی مصنوعی Artificial neural networks	0.45	0.37	0.5	0.25	0.54	0.33	0.41	0.25

از سوی دیگر، نتایج نشان می‌دهد که صرف‌نظر از نوع مدل و محصول مورد مطالعه، مقادیر صحت عمومی از سطح کلاس به زیرکلاس کاهش می‌یابند. این موضوع احتمالاً به این دلیل می‌باشد که در سطح زیرکلاس، ویژگی‌های خاک با جزئیات بیش‌تری مد نظر قرار می‌گیرند و به‌تبع آن تعداد زیرکلاس‌ها افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش تعداد زیرکلاس‌ها، تعداد مشاهدات کمتری به هر زیرکلاس اختصاص می‌یابد. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که قابلیت اعتماد به نتایج حاصل از پیش‌بینی نیز کاهش یابد. چنین روندی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است (۸، ۱۳، ۲ و ۳).

قابلیت اعتماد به نتایج پیش‌بینی به میزان زیادی متأثر از توانایی پارامترهای محیطی در بیان تغییرات فاکتور مورد بررسی می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که مهم‌ترین پارامترهای محیطی برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی، اجزای سرزمین و شاخص‌های سنجش از دور (شاخص گیاهی عمودی و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده) می‌باشند (شکل‌های ۲ و ۳). برای اکثر محصولات مورد مطالعه، ارتفاع و شاخص کربنات به‌عنوان پارامتری مهم در پیش‌بینی کلاس‌های تناسب انتخاب‌شده است. نقش مثبت ارتفاع در پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی با توجه به تأثیر غیرمستقیم آن بر سایر عوامل محیطی می‌تواند قابل توجیه باشد. شاخص‌های سنجش از دور مانند شاخص کربنات و گچ می‌توانند با مقادیر این ویژگی‌ها به خوبی ارتباط برقرار کنند و در بررسی تغییرات آن‌ها مؤثر باشند. بنابراین، با توجه به محدودیت فیزیکی حاصل از درصد کربنات کلسیم معادل در منطقه‌ی مورد مطالعه برای اکثر محصولات، اهمیت شاخص کربنات برای پیش‌بینی کلاس‌ها و زیرکلاس‌های تناسب اراضی قابل تفسیر است. همچنین، برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی دو محصول گندم و یونجه، شاخص قدرت جریان بیش‌ترین تغییرات را توجیه کرده است. این پارامتر بر هیدرولوژی منطقه مؤثر است و می‌تواند نقش مهمی در تعیین تناسب اراضی منطقه برای یک محصول داشته باشد. پستی و بلندی و پوشش گیاهی جزو عوامل پنج‌گانه (اقلیم، پستی و بلندی، خاک، هیدرولوژی و پوشش گیاهی) تأثیرگذار بر ظرفیت تولید اراضی می‌باشند. بنابراین، نقش این پارامترها در پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی قابل توجیه است. نقشه‌های پیش‌بینی‌شده با استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی، برای محصولات مختلف در سطح کلاس و زیرکلاس، به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند. بر اساس نقشه‌های به‌دست آمده، قسمت‌های جنوبی منطقه‌ی مورد مطالعه برای محصولات گندم، ذرت علوفه‌ای و سیب‌زمینی از کلاس تناسب پایین‌تر برخوردار هستند و تمرکز کلاس N در این قسمت بیش‌تر است. این موضوع احتمالا متأثر از قرار گرفتن این قسمت‌ها در

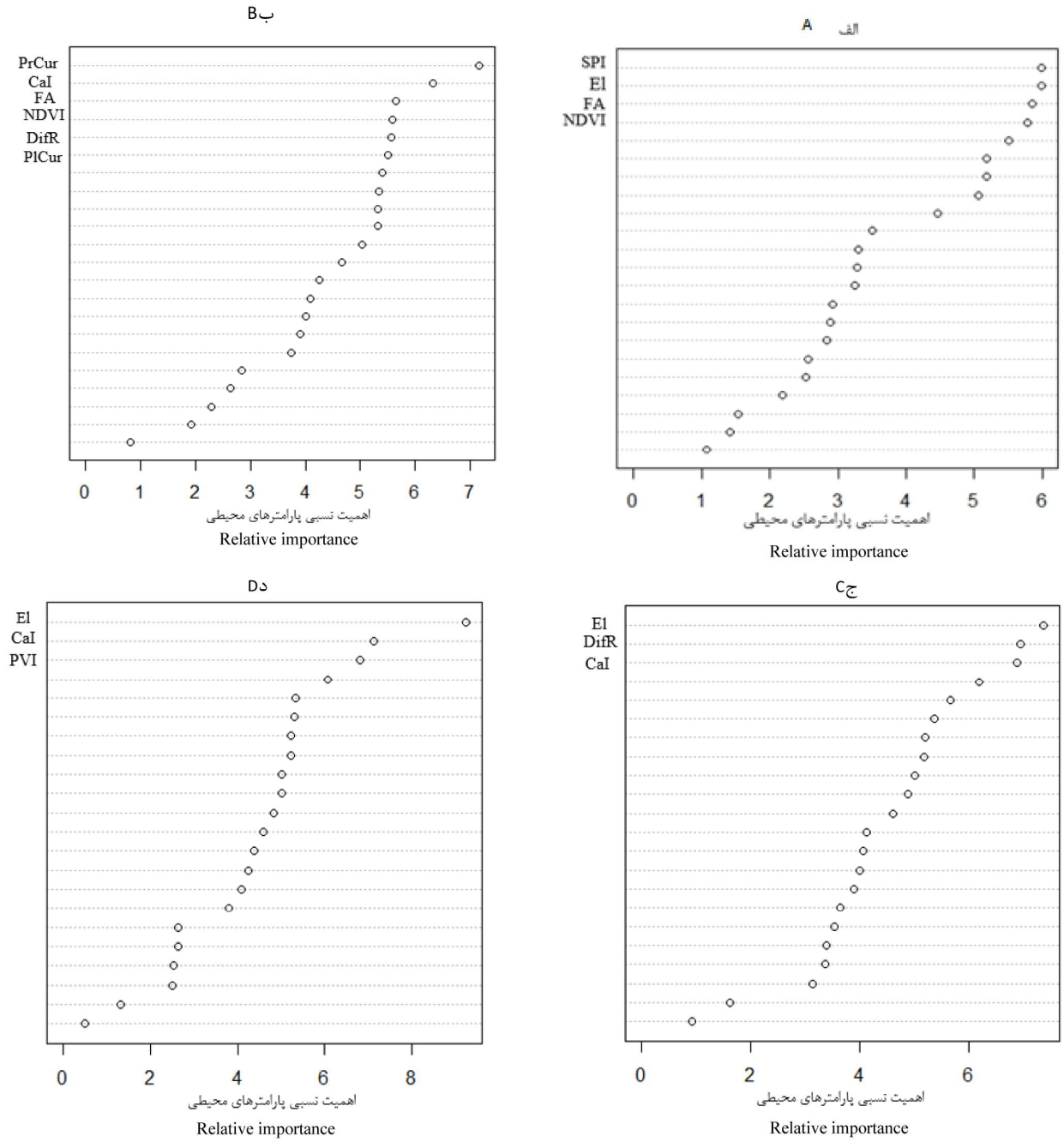
اراضی پست می‌باشد. همچنین، نقشه‌های زیرکلاس‌ها نیز گویای آن است که قسمت‌های جنوبی منطقه بیش‌تر متأثر از محدودیت زهکشی می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شرایط اقلیمی منطقه‌ی مورد مطالعه، برای کشت گندم و سیب‌زمینی بسیار مناسب است اما متوسط درجه حرارت حداقل و متوسط درجه حرارت دوره‌ی رشد، به‌ترتیب، پارامترهای اقلیمی محدودکننده‌ی رشد ذرت علوفه‌ای و یونجه می‌باشند. بر مبنای مقادیر صحت عمومی، مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش توانایی یکسانی برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب کیفی اراضی داشتند. از سوی دیگر، نتایج نشان داد که صرف‌نظر از نوع مدل و محصول مورد مطالعه، مقادیر صحت عمومی از سطح کلاس به زیرکلاس تناسب به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. اجزای سرزمین و شاخص‌های سنجش از دور (شاخص گیاهی عمودی و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده)، مهم‌ترین پارامترهای محیطی برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی و کلاس تناسب کمّی اراضی می‌باشند. اگرچه با استفاده از روش‌های نوین، آگاهی در رابطه با میزان تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی افزایش می‌یابد، اما در عمل، یکپارچه‌سازی اراضی برای مدیریت بهینه اراضی، ضروری است و این موضوع، نیازمند توجه بیش‌تر دستگاه‌های اجرایی می‌باشد. از این رو، اگرچه روش‌های رقومی تا حد زیادی می‌توانند در فراهم آوردن اطلاعات با تفکیک مکانی بالا راهگشا باشند؛ اما هنوز برای ورود به فازهای عملیاتی و کاربردی، نیازمند همراه شدن معیارهای تناسب اراضی با تغییرات پیوسته‌ی خاک هستند. در این راستا، تصحیح جدول‌های نیازهای رویشی گیاهان به‌طوری که بتواند تغییرات تدریجی خاک در فواصل اندک را بهتر نشان دهد؛ ضروری است.

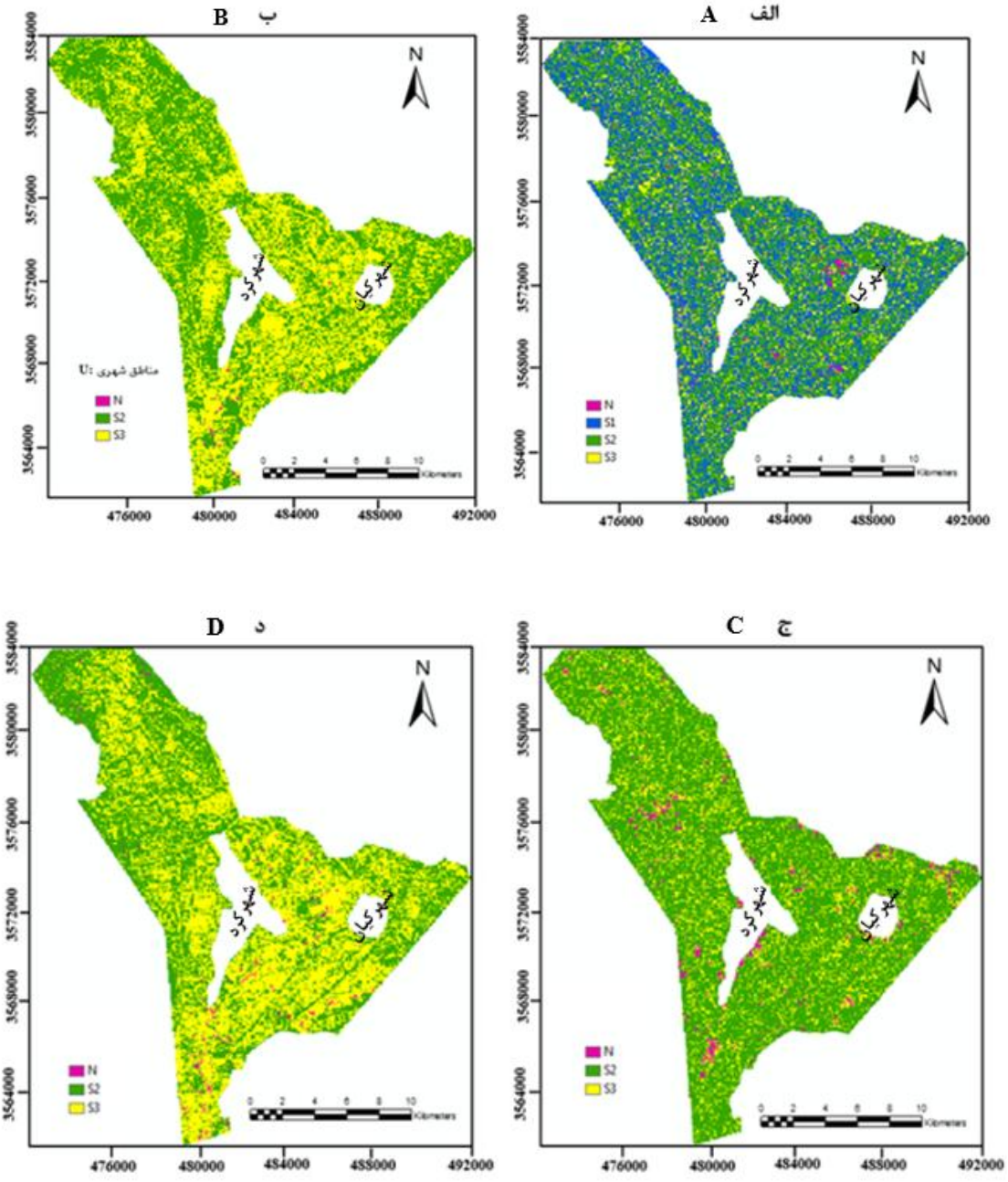
شکل ۲- اهمیت پارامترهای محیطی در پیش‌بینی کلاس‌های تناسب کیفی اراضی با استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی برای گندم (الف)، ذرت علوفه‌ای (ب)،یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د)

Figure 2- Relative importance of auxiliary information used to predict qualitative land suitability classes using random forest model for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato (D)



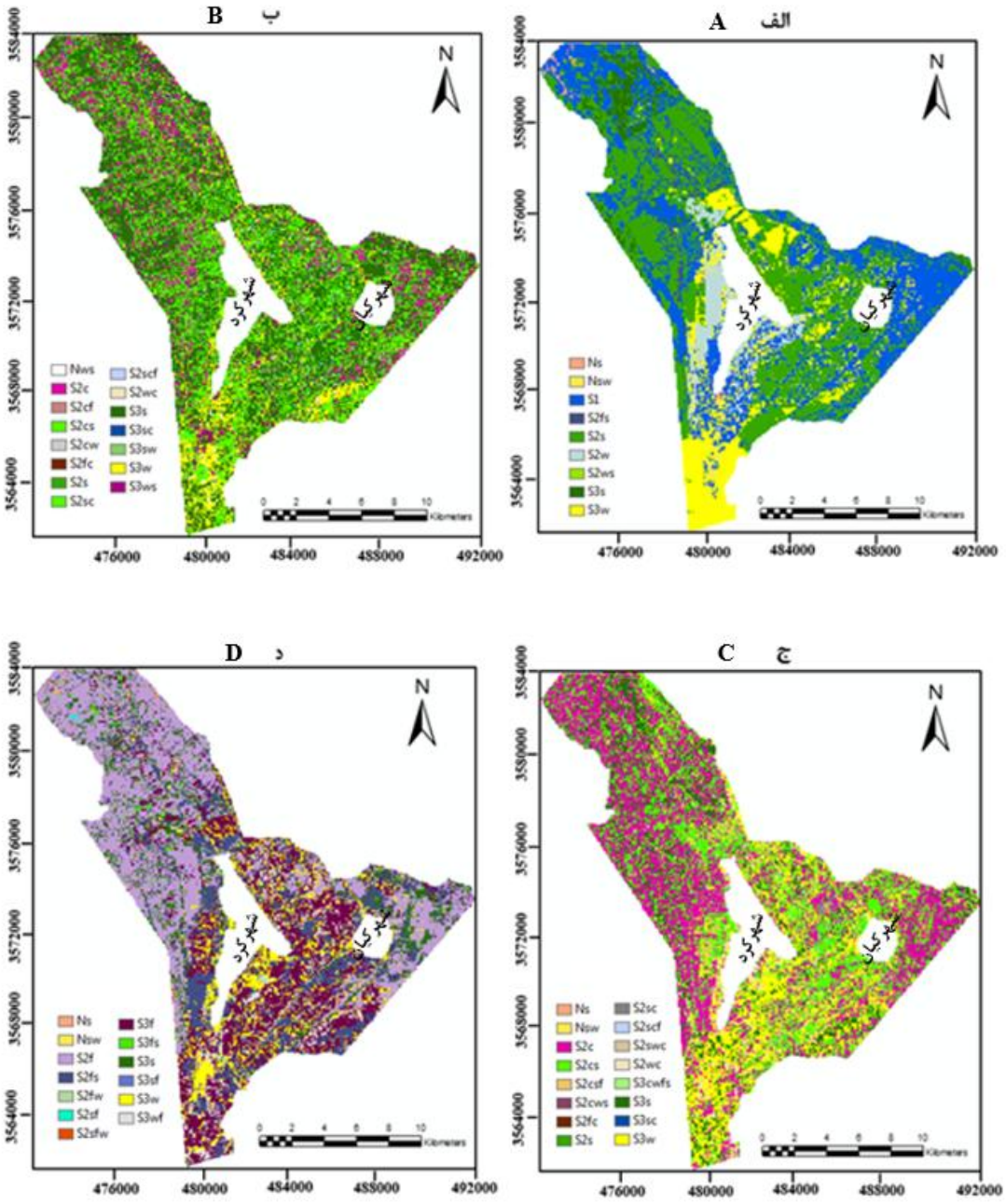
شکل ۳- اهمیت پارامترهای محیطی در پیش‌بینی زیرکلاس‌های تناسب کیفی اراضی با استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی برای گندم (الف)، ذرت علوفه‌ای (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د). SPI: شاخص قدرت جریان؛ El: ارتفاع؛ FA: تجمع جریان؛ NDVI: شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده؛ PrCur: انحنای نیم‌رخ؛ CaI: شاخص کربنات؛ DifR: تابش پخشیده؛ PlCur: انحنای سطحی؛ PVI: شاخص گیاهی عمودی.

Figure 3. Relative importance of auxiliary information used to predict qualitative land suitability subclasses using random forest model for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato (D). SPI: stream power index, El: elevation, FA: flow accumulation, NDVI: normalized difference vegetation index, PrCur: Profile curvature, CaI: carbonate index, DifR: diffuse radiation, PlCur: plan curvature, PVI: perpendicular vegetation index.



شکل ٤- نقشه‌های رقومی تناسب کیفی اراضی با استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی در سطح کلاس برای گندم (الف)، ذرت علوفه‌ای (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د)

Figure 4- Digital qualitative land suitability maps using random forest model at class level for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato (D).



شکل ۵- نقشه‌های رقومی تناسب کیفی اراضی با استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی در سطح زیرکلاس برای گندم (الف)، ذرت علوفه‌ای (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د)

Figure 5- Digital qualitative land suitability mapsusing random forest model at subclass level for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato.

منابع

1- Abedi A., and Salehi M.H. 2009. Optimum Use of Soil and Water Resources in Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province, Iran. Management and planning organization, Islamic Republic of Iran. (in Persian).

2- Bagheri Bodaghabadi M., Martinez-Casasnovas J.A., Salehi M.H., Mohammadi J., EsfandiarpoorBorujeni I., Toomanian N., and Gandomkar A. 2015. Digital soil mapping using artificial neural networks and terrain-related

attributes. Pedosphere, 25: 580-591.
3- Brungard C.W., Boettinger J.L., Duniway M.C., Wills S.A., and EdwardsJr T.C., 2015. Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. Geoderma, 239–240: 68–83.
4- Etedali S., and Givi J. 2013. Qualitative land suitability evaluation for maize in Shahrekord area using FAO method and ALES program. Journal of Water and Soil, 26: 1349-1359. (in Persian).
5- Foody G.M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. Remote Sensing Environment, 80: 185-201.
6- Givi J. 1997. Qualitative evaluation of land suitability for field and fruit. Publication No. 1015.Soil and Water Research Instituteof Iran, Tehran, Iran. (in Persian).
7- Givi J. 1998. Qualitative, quantitative and economic land suitability evaluation and land production potential prediction for the main crops of Felavarjan area, Isfahan. Agricultal Planning and Economic Research Institute. (in Persian).
8- Jafari A., Ayoubi S., Khademi H., Finke P.A., and Toomanian N. 2013. Selection of a taxonomic level for soil mapping using diversity and map purity indices: a case study from an Iranian arid region. Geomorphology, 201: 86–97.
9- Kamali A. 2003. Land suitability assessment for the main agricultural land uses in Abyek region, Qazvin province using remote sensing and GIS. MSc thesis, Tehran University. (in Persian).
10- Mehnatkesh A. 1999. Qualitative, quantitative and economic land suitability evaluation for the main crops of Shahrekord. MSc thesis, Isfahan University of Technology. (in Persian).
11- Mohammadi M. 1986. Semi-detailed soil studies report Chaharmahal-Va-Bakhtiari province (Shahrekord and Borujen area). Iranian Soil and Water Research Institute. (in Persian).
12- MovahediNaeini A. 1993. Land suitability evaluation for main irrigated crops in Gorgan region. MSc thesis, Tarbiat Modares University. (in Persian).
13- Pahlavan Rad M.R., Toomanian N., Khormali F., Brungard C.W., Komaki, C.B., and Bogaert P. 2014. Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. Geoderma, 232–234: 97–106.
14- Rossiter D.G. 2000. Methodology for Soil Resource Inventories. Soil Science Division, International institute for Aerospace Survey & Earth Science (ITC). 2nd Revised Version.
15- Safari Y. 2011. Geostatistical assessing of qualitative land suitability for main irrigated crops in Shahrekord plain. MSc thesis, Vali-E-Asr University of Rafsanjan. (in Persian).
16- SafariY., EsfandiarpourBorujeni I., Kamali A., Salehi M.H. and Bagheri Bodaghabadi M. 2013. Qualitative land suitability evaluation for main irrigated crops in the Shahrekord plain: A geostatistical approach compared with conventional method. Pedosphere,23: 767-778.
17- Salehi M.H., Khademi H., Givi J., and KarimianEghbal M. 2004. Variability of qualitative land suitability evaluation (parametric method) in a detailed map unit in Farrokhshahr area, Chaharmahal-Va-Bakhtiari province. Scientific Journal of Agriculture. 27: 2.115-126. (in Persian).
18- Stoorvogel J., Kempen J., Heuvelink B., and Bruin S. 2009. Implementation and evaluation of existing knowledge for digital soil mapping in Senegal. Geoderma, 149:161-170.
19- Van Diepen C.A., Van Keulen H., and Wolf J. 1991. Land Evaluation: From Intuition to Quantification. Advances in Soil Science. Springer.
20- Zinck J.A. 1989. Physiography and soils. Lecture Notes for Soil Students. Soil Science Division. Soil Survey Courses Subject Matter. The Netherlands.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 1, Mar.-Apr. 2018, p. 87-99

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۱، فروردین –اردیبهشت ۱۳۹۷، ص. ۹۹-۸۷

Assessing the Performance of Digital Mapping Approaches for the Qualitative Land Suitability Evaluation (A Case Study: Shahrekord Plain, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province)

Z. Mosleh[1*]- M. H. Salehi[2]- A. Jafari[3]- A. Mehnatkesh[4]- I. Esfandiarpoor Borujeni[5]

Received:23-05-2017
Accepted:10-12-2017

Introduction: There is a concern with assessment of land performance when used for specific purposes. Land evaluation analysis is considered as an interface between land resources and land use planning and management. However, the conventional soil surveys are usually not useful for providing quantitative information about the spatial distribution of soil properties that are used in many environmental studies. Development of the computers and technology lead to digital and quantitative approaches have been developed. These new techniques rely on finding the relationships between soil and the auxiliary information that explain the soil forming factors or processes and finally predict soil patterns on the landscape. Different types of the machine learning approaches have been applied for digital soil mapping of soil classes, such as the logistic and multinomial logistic regressions, neural networks and classification trees. To our knowledge, most of the previous studiesapplied land suitability evaluation based on the conventional approach. Therefore, the main objective of this study was to assess the performance of digital mapping approaches for the qualitative land suitability evaluation in the Shahrekord plain of Chaharmahal-Va- Bakhtiari province.

Materials and Methods: An area in the Shahrekord plain of Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province, Iran, across 32º13′ and 32º 23′N, and 50º 47′ and 51º 00′E was chosen. The soils in the study area have been formed on Quaternary shale and foliated clayey limestone deposits. Irrigated crops such as wheat, potato, maize and alfalfa are the main land uses in the area. According to the semi-detailed soil survey, 120 pedons with approximate distance of 750 m were excavated and soil samples were taken from different soil horizons. Soil physicochemical properties were determined. The average of soil properties was determined by considering the depth weighted coefficient up to 100 and 150 centimeters for annual and perennial crops, respectively. Qualitative land suitability evaluation for main crops of the area including wheat, maize, alfalfa and potato was determined by matching the site conditions (climatic, hydrology, vegetation and soil properties) with studied crop requirement tables presented by Givi (5). Land suitability classes were determined using parametric method. Land suitability classes reflect degree of suitability as S1 (suitable), S2 (moderately suitable), S3 (marginally suitable) and N (unsuitable). Different machine learning techniques, namely artificial neural networks (ANNs), boosted regression tree (BRT), random forest (RF) and multinomial logistic regression (MLR) were used to test the predictive power for mapping the land suitability evaluation. Terrain attributes, normalized difference vegetation index (NDVI), clay index, carbonate index, perpendicular vegetation index (PVI), geology map, existing soil map (1:50000 scale) and geomorphology map were used as auxiliary information. Finally, all of the environmental covariates were projected onto the same reference system (WGS 84 UTM 39 N) and resampled to 50 * 50 m since the soil samples were collected with approximate distance of 750 m (1:50,000 scale). According to the suggested resolutions for digital soil maps, the pixel size 50 *50 m fits to a 1:50,000 cartographic scale. Training the models was done with 80% of the data (i.e., 96 pedons) and their validation was tested by the remaining 20% of the dataset (i.e., 24 pedons) that were split randomly. The accuracy of the predicted soil classes was determined using error matrices and overall accuracy.

Results and Discussion: The results showed that climatic conditions are suitable (S1) for wheat and potato whereas the most important limiting factors for maize and alfalfa were the average of minimum temperature and average temperature, respectively. Results demonstratedthat among the studied models, random forest showed the highest performance to predict the land suitability classes and subclasses. However, different models had the same ability for prediction. In addition, the overall accuracy decreased from class to subclass for all of the crops. The terrain attributes and remote sensing indices (normalized difference vegetation index and perpendicular

1, 2- Former PhD Student and Professor of Soil Science Department, University of Shahrekord, Respectively
(*-Corresponding Author Email: mosleh.zohreh@yahoo.com)
3- Assistant Professor of Soil Science Department, Shahid Bahonar University of Kerman
4- Research Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center of Shahrekord
5- Associate Professor of Soil Science Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

vegetation index) were the most important auxiliary information to predict the land suitability classes and subclasses.

Conclusion: Results suggest that the DSM approaches have enough accuracy for prediction of the land suitability classes that affecting land use management. Although digital mapping approaches increase our knowledgeabout the variation of soil properties, integrating the management of the sparse lands with different owners should be considered as the first step for optimum soil and land use management.

Keywords: Auxiliary information, Parametric method, Pedon, Terrain attributes