



نتایج به دست آمده از روش‌های مرسوم ارزیابی تناسب سرزمین چقدر با هم انطباق دارند؟

محسن باقری بداغ‌آبادی^{*}، زهره مصلح قهفرخی^۱، محمد جمشیدی^۱ و علیرضا ضیایی جاوید^۱

^۱ مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: انتخاب بهترین روش ارزیابی تناسب سرزمین برای تعیین کلاس‌های تناسب سرزمین همواره مورد پرسش و پژوهش بوده است. بسیاری از پژوهش‌های ارزیابی تناسب سرزمین با چهار روش مرسوم شامل: ۱- محدودیت ساده، ۲- شدت و تعداد محدودیت، ۳- خیدیر (ریشه دوم) و ۴- استوری انجام می‌شوند. در رویکرد پارامتریک، شاخص سرزمین با استفاده از روش خیدیر یا روش استوری به دست آمده و سپس بر اساس این شاخص، کلاس تناسب سرزمین تعیین می‌شود. شاخص سرزمین به دو صورت شاخص اصلاح‌نشده و شاخص اصلاح‌شده می‌باشد. پژوهش‌های بسیاری که در زمینه ارزیابی تناسب سرزمین انجام شده نشان داده‌اند نتایج روش‌های گوناگون ارزیابی تناسب سرزمین تفاوت زیادی با هم دارند. با این وجود نتایج بسیاری از مطالعات، بیانگر انطباق بیش‌تر دو روش محدودیت ساده و خیدیر می‌باشند. چون این پژوهش‌ها برای محصولات مختلف و مناطق گوناگون بوده‌اند، بررسی میزان انطباق روش‌های مختلف بدون در نظر گرفتن نوع محصول و موقعیت مکانی آن، امکان‌پذیر نبوده است. از طرف دیگر میزان عددی انطباق این روش‌ها با یکدیگر تعیین نشده است. بنابراین پرسش اساسی که به وجود می‌آید این است که فارغ از نوع محصول و موقعیت مکانی، روش‌های مختلف ارزیابی چقدر با هم انطباق دارند و آیا میزان انطباق برای کلاس‌های مختلف تناسب سرزمین با هم برابر هستند یا نه؟ پژوهش کنونی می‌کوشد تا به این پرسش پاسخ دهد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تعیین کلاس‌های تناسب سرزمین بدون در نظر گرفتن محصول و مکان خاص و با انجام شبیه‌سازی عددی انجام شد. در شبیه‌سازی عددی، هر کدام از هشت عامل دخیل در تعیین کلاس تناسب، یک عدد تصادفی از صفر تا ۱۰۰ را به خود اختصاص دادند و سپس براساس این اعداد شبیه‌سازی شده کلاس تناسب سرزمین، با چهار روش مرسوم و در دو حالت شاخص اصلاح‌نشده و شاخص اصلاح‌شده تعیین گردیدند. فرآیند شبیه‌سازی برای هر کلاس تناسب شامل کلاس‌های S1 (مناسب)، S2 (نسبتاً مناسب)، S3 (تناسب بحرانی)، N1 (نامناسب موقت) و N2 (نامناسب همیشگی) به تعداد یک میلیون مرتبه انجام شد. بنابراین در کل تعداد پنج میلیون شبیه‌سازی صورت گرفت. در مرحله بعد میزان انطباق روش‌های مرسوم با یکدیگر و برای هر کلاس تناسب سرزمین به‌طور جداگانه، بر اساس رابطه دقت کلی محاسبه شد.

* مسئول مکاتبه: m.baghery@areeo.ac.ir

یافته‌ها: نتایج نشان دادند مقدار عددی میزان انطباق روش‌های مختلف ارزیابی تناسب سرزمین در کلاس‌های گوناگون با هم بسیار متفاوت هستند؛ ولی روی هم رفته می‌توان گفت کم‌ترین و بیش‌ترین انطباق بین روش‌های گوناگون به ترتیب برای کلاس N1 و N2 رخ می‌دهد. پس از کلاس N2 بیش‌ترین انطباق بین روش‌های مختلف در کلاس S1 وجود دارد. برای کلاس‌های S2 و S3 میزان انطباق بین روش‌های مختلف از روند خاصی پیروی نمی‌کند. در بین روش‌های مختلف، در حالت استفاده از شاخص اصلاح‌نشده، روش محدودیت ساده با روش خیدیر تطابق بیش‌تری داشتند. اما با استفاده از شاخص اصلاح‌شده سرزمین بیش‌ترین انطباق بین روش محدودیت ساده با رویکرد پارامتریک (هم روش خیدیر و هم استوری) مشاهده شد و در این حالت تفاوت چندانی بین نتایج روش خیدیر با روش استوری وجود نداشت. به همین دلیل شاخص اصلاح‌شده نسبت به شاخص اصلاح‌نشده برتری دارد.

نتیجه‌گیری: براساس یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های اصلاح‌نشده سرزمین ممکن است تا حد زیادی دور از واقعیت باشند و این موضوع برای روش استوری بسیار شدیدتر است. استفاده از شاخص اصلاح‌نشده سبب می‌شود تفاوت زیاد بین رویکرد پارامتریک با دو روش محدودیت ساده و تعداد و شدت محدودیت به‌وجود آید. بنابراین حتماً باید برای تعیین کلاس‌های تناسب از شاخص‌های اصلاح‌شده استفاده گردد تا نتایج روش‌های مختلف تا حد امکان به هم نزدیک‌تر شوند.

واژه‌های کلیدی: استوری، تعداد و شدت محدودیت، خیدیر، شبیه‌سازی، محدودیت ساده

مقدمه

با توجه به سرعت تغییرات و دگرگونی‌هایی که در دنیای امروزی رخ می‌دهد و نیز رشد جمعیت و نیازهای آدمی، اهمیت کاربرد بهینه و پایدار از منابع سرزمین بسیار بیش از گذشته جلب توجه می‌کند. تنها راه برآورده کردن نیازهای این جمعیت روزافزون رسیدن به توسعه پایدار است. برای این منظور باید کمیت و کیفیت منابع سرزمین و تناسب آن‌ها برای دامنه مشخصی از کاربری‌های سرزمین بررسی و تعیین شود (۱۸). ارزیابی تناسب سرزمین دانشی است که می‌تواند این مهم را به سرانجام برساند. در ارزیابی تناسب سرزمین با تعیین درجه تناسب در هر یگان یا واحد خاک برای کاربری‌های مورد نظر، امکان کاربرد درست و بهینه منابع فراهم می‌شود. ارزیابی تناسب سرزمین عبارت از برآورد کارایی سرزمین برای کاربری‌های مشخص و به‌عبارتی تعیین درجه سازگاری سرزمین برای کاربرد ویژه می‌باشد (۶).

برای ارزیابی تناسب سرزمین روش‌های گوناگونی ارایه شده است و هم‌چنان روش‌های نوینی بوجود می‌آیند. در این بین، روش‌های ارایه شده توسط سائز (۱۹۹۱) از جمله روش‌های بسیار مرسوم می‌باشد که به‌دلیل سادگی و نتایج مطلوب به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۲۵). روش‌های ارایه شده توسط سائز شامل روش‌های: ۱- محدودیت ساده، ۲- شدت و تعداد محدودیت، ۳- خیدیر^۱ (ریشه دوم) و ۴- استوری^۲ می‌باشند. در ایران به‌طور علمی و رسمی، از دهه هفتاد و با پژوهش موحدی نایینی (۱۹۹۳) استفاده از روش‌های سائز آغاز گردید (۱۶) و هم‌چنان پژوهش‌های بسیاری بر اساس آن روش انجام می‌گیرند (۳، ۷، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۱، ۲۶). دو روش خیدیر (۱۱) و استوری (۲۴) در رویکرد عددی یا پارامتریک استفاده می‌شوند. در این رویکرد،

1- Khiddir

2- Storie

همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که روش محدودیت ساده نسبت به تعداد و شدت محدودیت با واقعیت تطابق بیش‌تری دارد (۱۲). بر خلاف پژوهش‌های قبل، برخی پژوهش‌ها نشان دادند که نتایج روش‌های محدودیت ساده و شدت و تعداد محدودیت مشابه یکدیگر هستند (۱، ۸). به نظر می‌رسد تفاوت‌های مشاهده شده بین روش‌های مختلف ارزیابی سرزمین در مطالعات مذکور بیش‌تر به استفاده از شاخص اصلاح‌نشده مربوط می‌باشد. این در حالی است که معدود مطالعاتی که با استفاده از شاخص اصلاح‌شده صورت گرفته نشان دادند که با استفاده از شاخص اصلاح‌شده تا حد زیادی از اختلاف روش استوری و خیدیر کاسته می‌شود و بنابراین نتایج به دست آمده به هم نزدیک‌تر می‌گردند (۲۰، ۲۲). روی هم‌رفته آشکار است که پژوهش‌های گوناگون نتایج متفاوتی را برای روش‌های مختلف ارزیابی ارائه کرده‌اند. حال این پرسش بوجود می‌آید که چگونه با این همه تفاوت می‌توان نتایج را پذیرفت و در پایان کدام روش مناسب‌تر است؟ یافته‌های پژوهش باقری بداغ‌آبادی (۲۰۲۰) نشان دادند تفاوت زیادی که در بسیاری از پژوهش‌ها بین روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی تناسب سرزمین، به‌ویژه در رویکرد عددی یا پارامتریک، به دست آمده است ناشی از بکارگیری شاخص اصلاح‌نشده سرزمین می‌باشد و گرنه نتایج روش‌های گوناگون تا حد قابل توجهی با هم یکسان هستند؛ البته در پژوهش باقری بداغ‌آبادی (۲۰۲۰) هیچ عدد و رقمی در مورد مقدار یا میزان یکسان بودن نتایج ارائه نگردیده است (۵). از آنجایی که پژوهش‌های انجام شده در زمینه ارزیابی تناسب سرزمین برای محصولات مختلف و مناطق گوناگون بوده‌اند، مقایسه نتایج به دست آمده تابعی از نوع محصول و مکان انجام آزمایش می‌باشد و امکان بررسی میزان انطباق روش‌های مختلف بدون در نظر گرفتن نوع محصول و موقعیت مکانی آن، فراهم نبوده

نخست شاخص تناسب سرزمین با یکی از روش‌های مذکور (استوری و یا خیدیر) محاسبه می‌گردد و بر اساس شاخص به‌دست آمده، کلاس تناسب سرزمین تعیین می‌گردد. هرچند در روش معرفی شده توسط سایز پیش از آن‌که شاخص تناسب به کلاس تبدیل شود، بیان شده است که این شاخص (که شاخص اصلاح‌نشده سرزمین^۱ نام دارد) با توجه به مقدار عددی محدودکننده‌ترین عامل یا درجه کمینه (Rmin) تصحیح شود و به شاخص اصلاح‌شده سرزمین^۲ تبدیل گردد، ولی در بسیاری از پژوهش‌ها به اصلاح شاخص‌های تناسب سرزمین، توجهی نشده است و به طور معمول همان شاخص‌های اصلاح‌نشده سرزمین مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این موضوع سبب شده نتایج روش‌های گوناگون ارزیابی تناسب سرزمین تفاوت زیادی را با هم نشان دهند. انتخاب بهترین روش برای تعیین کلاس‌های تناسب سرزمین در بین روش‌های مرسوم در ارزیابی تناسب سرزمین همواره مورد پرسش و پژوهش بوده است. برخی مطالعات با مقایسه روش‌های محدودیت ساده، تعداد و میزان محدودیت، استوری و ریشه دوم نشان داده‌اند که روش خیدیر یا ریشه دوم نسبت به بقیه روش‌ها از دقت و کارایی بالاتری برخوردار می‌باشد (۱۳، ۲۳). ایوبی و همکاران (۲۰۰۱) و جعفرزاده و زینالی (۲۰۰۵) با مقایسه دو روش خیدیر و استوری با روش محدودیت ساده نشان دادند که روش خیدیر نسبت به روش استوری انطباق بیش‌تری با روش محدودیت ساده دارد (۲، ۹). در همین زمینه آزادی و باقرنژاد (۲۰۱۸) و جهانبازی و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند هرچند روش محدودیت ساده و خیدیر تا حدی با هم انطباق دارند اما روش خیدیر با واقعیت تطابق بیش‌تری دارد (۳، ۱۰). در مقایسه روش محدودیت ساده و روش تعداد و شدت محدودیت، محمدی و

1- Uncorrected land index

2- Corrected land index

مواد و روش‌ها

در این پژوهش بدون در نظر گرفتن محصول یا مکان خاص، با در نظر گرفتن ساختار کلی جدول نیازهای گیاهی ارایه شده توسط سایز (۱۹۹۱) اقدام به تعیین کلاس تناسب سرزمین با استفاده از شبیه‌سازی عددی گردید (۲۵). بنابراین، نخست نیاز است ساختار طبقه بندی تناسب سرزمین شرح داده و پس از آن به روش شبیه‌سازی پرداخته شود.

ساختار طبقه‌بندی تناسب سرزمین: طبقه‌بندی تناسب سرزمین دارای ساختاری سلسله‌مراتبی می‌باشد و سطح‌های آن عبارت هستند از ۱- رده ۱، ۲- کلاس ۱، ۳- زیر کلاس ۱ و ۲- یگان‌ها یا واحدهای تناسب سرزمین ۱. رده‌های تناسب شامل رده مناسب (S) و رده نامناسب (N) می‌شود. جدول ۱ طبقات و ویژگی‌های هر طبقه را نشان می‌دهد.

است. البته بر اساس بررسی منابع صورت گرفته حتی در یک منطقه و برای محصول‌های مشخص هم هیچ کوشش و پژوهشی برای محاسبه مقدار عددی انطباق روش‌های ارزیابی با یکدیگر نیز صورت نگرفته است. از آنجایی که انتخاب مناسب‌ترین روش ارزیابی که بیش‌ترین همبستگی را با تولید واقعی نشان دهد، مهم‌ترین دغدغه کارشناسان ارزیابی سرزمین در دو دهه اخیر بوده است (۲۰)، پرسش اساسی که بوجود می‌آید این است که فارغ از نوع محصول و موقعیت مکانی، روش‌های مختلف ارزیابی چقدر با هم انطباق دارند و آیا میزان انطباق در کلاس‌های مختلف تناسب سرزمین با هم برابر هستند یا نه؟ هدف اصلی پژوهش کنونی پاسخ به این پرسش و دغدغه موجود در ارزیابی تناسب سرزمین می‌باشد.

جدول ۱- ویژگی‌ها و معیارهای تعیین کلاس‌های تناسب سرزمین.

Table 1. Properties and criteria for determining land suitability classes.

درجه محدودیت Rating	تعداد و شدت محدودیت Number and intensity of limitations	مقدار شاخص سرزمین Land Index Value		شرح Description	سطح رده‌بندی Classification Level	
		کمینه Min	بیشینه Max		رده Class	S
85-100	بدون محدودیت یا تنها با چهار محدودیت کم No or only 4 slight limitations	75	100	مناسب Suitable	S1	
60-85	بیش از چهار محدودیت کم و یا سه محدودیت متوسط More than 4 slight limitations and/or no more than 3 moderate limitations	50	75	نسبتاً مناسب Moderately suitable	S2	S
40-60	بیش از سه محدودیت متوسط و یا یک یا دو محدودیت شدید more than 3 moderate limitations and/or no more than 2 sever limitations	25	50	تناسب بحرانی Marginally suitable	S3	
25-40	محدودیت‌های خیلی شدید قابل اصلاح Very severe limitations which can be corrected	12.5	25	نامناسب موقت Temporary unsuitable	N1	N
0-25	محدودیت‌های خیلی شدید غیر قابل اصلاح Very severe limitations which can be corrected	0	12.5	نامناسب همیشگی Permanently unsuitable	N2	

- 1- Order
- 2- Class
- 3- Subclass
- 4- Land suitability units
- 5- Suitable
- 6- Non-suitable

سنجش با روش خیدیر (ریشه دوم) و یا روش استوری به صورت زیر با هم ترکیب می‌شوند:

$$LI = R_{\min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots} \quad (1)$$

$$LI = A \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots \quad (2)$$

که در آن، LI شاخص سرزمین، A، B، C درجه یا مقدار عددی هر ویژگی یا عامل، Rmin درجه کمینه یا کوچک‌ترین درجه بین عامل‌ها می‌باشند. در نهایت شاخص‌های به‌دست آمده با استفاده از جدول ۱ تبدیل به کلاس تناسب سرزمین می‌شوند. شاخصی که بدین صورت به‌دست می‌آید شاخص اصلاح‌نشده نام دارد. برای انجام اصلاح این شاخص، سائز و همکاران (۱۹۹۱) توابعی را ارائه دادند (۲۵) که بر اساس این روابط، شاخص اصلاح‌شده تناسب به‌دست می‌آید (جدول ۲).

تعیین کلاس و زیرکلاس تناسب سرزمین: در این پژوهش با استفاده از چهار روش ارائه شده توسط سائز (۱۹۹۱)، شامل روش‌های: ۱- محدودیت ساده، ۲- تعداد و شدت محدودیت و ۳- خیدیر یا ریشه دوم و ۴- استوری اقدام به تعیین کلاس‌های تناسب سرزمین شد (۲۵).

در روش محدودیت ساده، مشخصات سرزمین با نیازهای گیاهان موردنظر مقایسه شده و محدودکننده‌ترین ویژگی سرزمین برای رشد گیاه، تعیین‌کننده کلاس پایانی سرزمین خواهد بود. این روش بر اساس قانون کمینه لیبیگ^۱ است که رشد گیاه را تابع محدودکننده‌ترین عامل می‌داند. ویژگی‌ها و کیفیت‌های سرزمین در روش تعداد و شدت محدودیت شامل پنج طبقه می‌شوند که عبارت هستند از بدون محدودیت^۲ (۰)، با محدودیت کم^۳ (۱)، با محدودیت متوسط^۴ (۲)، با محدودیت شدید^۵ (۳) و با محدودیت خیلی شدید^۶ (۴). در پایان با توجه به جدول ۱ کلاس‌های تناسب تعیین می‌گردند.

در روش پارامتریک یا عددی هر کدام از ویژگی‌ها و یا کیفیت‌های سرزمین بر اساس درجه‌بندی، عددی از صفر (بسیار نامناسب) تا ۱۰۰ (بسیار مناسب) می‌گیرند. برای حالات بینابینی با انجام میان‌یابی، درجه‌ای متناسب با سطح محدودیت ایجاد شده (بین صفر تا ۱۰۰) به آن تعلق می‌گیرد (۲۵). پس از این‌که مقدار عددی هر ویژگی به‌دست آمد به‌منظور تعیین شاخص تناسب سرزمین، ویژگی‌های مورد

-
- 1- Liebig
 - 2- No limitation
 - 3- Slight limitation
 - 4- Moderate limitation
 - 5- Sever limitation
 - 6- Very sever limitation

جدول ۲- رابطه‌های اصلاح شاخص سرزمین و ویژگی‌های مربوطه برای هر کلاس.

Table 2. The relationships to correct the land index and some characteristics of each class.

دامنه تغییرات		دامنه CL ⁺	رابطه	UCLI ⁺⁺		Rmin		دامنه LI [#]	کلاس	روش
Variation range	CL ⁺ range			Relationship	کمینه	بیشینه	کمینه			
Max	Min			Max	Min	Max	Min			
100	27	[75,100]	$75 + (^*SLI - 43) \times 0.439$	100	43	100	85	[75,100]	S1	استوری Storie
85	2	[50,75]	$50 + (SLI - 10) \times 0.333$	85	10	85	60	[50,75]	S2	
60	0	[25,50]	$25 + (SLI - 1) \times 0.424$	60	1	60	40	[25,50]	S3	
40	0	[0,25]	$SLI \times 0.625$	40	0	40	25	[12.5,25]	N1	
25	0	[0,25]	SLI	25	0	25	0	[0,12.5]	N2	
100	48	[75,100]	$75 + (^{**}SQLI - 60) \times 0.625$	100	60	100	85	[75,100]	S1	خیدیر Khiddir
85	10	[50,75]	$50 + (SQLI - 24) \times 0.410$	85	24	85	60	[50,75]	S2	
60	2	[25,50]	$25 + (SQLI - 5) \times 0.445$	60	5	60	40	[25,50]	S3	
40	0	[0,25]	$SQLI \times 0.625$	40	0	40	25	[12.5,25]	N1	
25	0	[0,25]	$SQLI$	25	0	25	0	[0,12.5]	N2	
40	0	[12.5,25]	$12.5 + SLI \times 0.313$	40	0	40	25	[12.5,25]	N1	باقری بداغ‌آبادی (۴) Bagheri Bodaghabadi (4)
25	0	[0,12.5]	$0.5 \times SLI$	25	0	25	0	[0,12.5]	N2	
40	0	[12.5,25]	$12.5 + SQLI \times 0.314$	40	0	40	25	[12.5,25]	N1	
25	0	[0,12.5]	$0.5 \times SQLI$	25	0	25	0	[0,12.5]	N2	

شاخص سرزمین، * شاخص اصلاح‌نشده استوری، ** شاخص اصلاح‌نشده خیدیر، + شاخص اصلاح‌شده سرزمین، ++ شاخص اصلاح‌نشده سرزمین
Land Index; * Storie LI; ** Square root LI; + Corrected LI; ++ Uncorrected LI.

در گیاهی دیگر شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر؛ ولی درجه‌ای که هر ویژگی دریافت می‌کند فارغ از نوع گیاه، عددی از صفر تا ۱۰۰ می‌باشد. بنابراین در این پژوهش با شبیه‌سازی درجه‌هایی که این هشت ویژگی دخیل در محاسبات شاخص تناسب سرزمین دریافت می‌کنند (نه مقدار واقعی هر ویژگی که بستگی به گیاه دارد)، کلاس تناسب سرزمین تعیین گردید. برای این منظور در هر یک از کلاس‌های S1 تا N2 تعداد یک میلیون حالت تصادفی شبیه‌سازی گردید. منطق انتخاب اعداد به گونه‌ای انجام گردید که بیشترین انطباق را با روند تعیین کلاس تناسب سرزمین در دنیای واقعی داشته باشد. برای این منظور انتخاب اعداد مطابق روند انجام محاسبات تناسب سرزمین در روش ارایه شده توسط سایز و همکاران (۲۵) برای چهار روش مورد نظر به صورت نظارت‌شده و تصادفی صورت پذیرفت. به این معنی که نخست

شبیه‌سازی عددی: همان‌طور که در فرمول‌های ارایه شده برای روش خیدیر و استوری دیده شد، شاخص سرزمین بر اساس درجه یا مقدار عددی ویژگی‌هایی از خاک و سرزمین به دست می‌آیند. سایز و همکاران (۱۹۹۱) تعداد ویژگی‌های دخیل برای تعیین شاخص سرزمین را هشت عدد در نظر گرفتند (۲۵). این ویژگی‌ها به همان صورتی که توسط سایز و همکاران (۲۵) بیان کرده‌اند مورد استفاده قرار گرفتند و شامل ۱- اقلیم، ۲- ناهمواری، ۳- زهکشی، ۴- سیل‌گیری، ۵- ترکیب بافت، عمق و سنگریزه و برای مناطق خشک و نیمه خشک سه ویژگی ۶- آهک، ۷- گچ و ۸- شوری و قلیابیت یا برای مناطق مرطوب ۶- CEC، ۷- کاتیون‌ها یا pH و ۸- کربن آلی هستند. برای گیاهان مختلف دامنه هر یک از این ویژگی‌ها متفاوت است (برای نمونه در یک گیاه شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر مشکلی ایجاد نمی‌کند و

که در آن، X_{ii} تعداد نمونه‌هایی که در هر دو روش مورد مقایسه دارای کلاس تناسب یکسان هستند، X_{ij} تعداد نمونه برای طبقه i از یک روش و طبقه j از روش دوم، n_{tot} تعداد کل نمونه‌ها.

همه محاسبات مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار اکسل^۳ (نسخه ۲۰۱۰) و اس.پی.اس.اس.^۴ (نسخه ۲۴) انجام شدند.

نتایج و بحث

به منظور بررسی مناسب بودن فرآیند شبیه‌سازی برای کلاس‌های مختلف تناسب سرزمین، برخی از ویژگی‌های آماری کلاس‌های شبیه‌سازی شده تناسب سرزمین محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس آماره‌های موجود از جمله کمینه، بیشینه و میانگین می‌توان بیان کرد که شبیه‌سازی کلاس‌های تناسب به خوبی انجام شده است. برای نمونه، بیش‌ترین مقدار شاخص اصلاح‌نشده سرزمین برای کلاس S1 برابر ۱۰۰ است، یعنی حالتی که هر هشت ویژگی دارای مقدار ۱۰۰ باشند شبیه‌سازی شده است. هم‌چنین کم‌ترین مقدار شاخص اصلاح‌نشده زمانی است که همه ویژگی‌ها دارای مقدار ۸۵ باشند که در این حالت مقدار آن با روش استوری و خیدیر به ترتیب برابر ۲۷ و ۴۸ است (جدول ۲ ستون دامنه تغییرات). حال همانطور که نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد و در جدول ۳ می‌توان دید، بیش‌ترین مقدار شاخص اصلاح‌نشده سرزمین برای کلاس S1 برابر ۱۰۰ و کم‌ترین مقدار آن برای روش استوری و خیدیر به ترتیب برابر ۲۷/۵۱ و ۴۸/۶۶ هستند. این مقادیر برای کلاس‌های دیگر نیز تقریباً در همان دامنه تغییرات تعریف شده برای هر کلاس می‌باشند (جدول ۲ ستون دامنه تغییرات). این اعداد نشان می‌دهند که در فرآیند شبیه‌سازی از بهترین حالت تا

به صورت نظارت‌شده کلاس مورد نظر انتخاب می‌شد (برای نمونه کلاس S3) و سپس عددی تصادفی ولی به صورت نظارت‌شده در دامنه تعریف شده (درجه Rmin در جدول ۱) به عنوان درجه کمینه انتخاب می‌گردید (برای نمونه یک عدد تصادفی بین ۴۰ تا ۶۰) و در پایان هفت ویژگی دیگر درجه‌ای که یک عدد تصادفی بین Rmin و ۱۰۰ بود را به خود اختصاص می‌دادند. برای نمونه اگر عدد درجه کمینه ۵۱ انتخاب گردید، هفت ویژگی دیگر هر عدد تصادفی بین ۵۱ تا ۱۰۰ را دریافت می‌کنند. بنابراین هفت عدد دیگر بر حسب تصادف می‌توانند حتی همه ۵۱ و یا همه ۱۰۰ باشند. به این صورت محتمل‌ترین حالتی که ممکن است در واقعیت رخ بدهند در این شبیه‌سازی نیز بوجود آمدند. براساس شبیه‌سازی، در کل تعداد پنج میلیون حالت بوجود آمد که در آن هر یک از عامل‌های هشت‌گانه (A, B, C و غیره) درجه‌ای از صفر تا ۱۰۰ را شامل می‌شدند. در مرحله بعد بر اساس چهار روش مرسوم کلاس‌های تناسب برای هر کدام از حالت‌های شبیه‌سازی شده، به دست آمد. شایان ذکر است که در روش عددی، کلاس‌های تناسب بر اساس هر دو حالت شاخص اصلاح‌نشده سرزمین و شاخص اصلاح‌شده محاسبه شدند. سپس کلاس‌های به دست آمده از روش‌های مذکور به صورت دو به دو با هم مقایسه شدند و ماتریس درهمی^۱ برای هر یک تهیه گردید. بنابراین، در کل تعداد ۷۵ ماتریس درهمی تهیه گردید و در پایان، با استفاده از رابطه ۳ دقت کلی^۲ (۶) میزان تطابق کلاس‌های تناسب سرزمین در هر روش نسبت به سایر روش‌ها محاسبه شد.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} = n_{tot} \quad (3)$$

3- Excel (2010)
4- SPSS 24

1- Confusion matrix
2- Overall accuracy

کلاس S3 میانگین شاخص اصلاح‌نشده سرزمین به روش استوری و خیدیر به ترتیب حدود ۷/۹ و ۱۸/۳ است که تفاوتی حدود ۸ واحد دارند، اما با به‌کارگیری شاخص اصلاح‌شده این مقادیر به ترتیب حدود ۲۷/۹ و ۳۰/۹ می‌شوند که سه واحد تفاوت دارند. این تفاوت‌ها به‌ویژه برای مقادیر کمینه و بیشینه، بیش‌تر قابل‌ملاحظه هستند. برای نمونه مقدار کمینه برای کلاس S3 با روش استوری برابر ۰/۱۷ است ولی پس از اصلاح شاخص سرزمین این مقدار به حدود ۲۴/۶ می‌رسد که با کم‌ترین مقدار دامنه S3، یعنی ۲۵ هم‌خوانی دارد.

بدترین حالت شبیه‌سازی شده است و به بیان دیگر همه حالاتی که ممکن است در واقعیت رخ بدهند در شبیه‌سازی نیز رخ داده‌اند. از طرف دیگر این نتایج به خوبی اهمیت کاربرد شاخص اصلاح‌شده و تفاوت بین نتایج به‌دست آمده از شاخص اصلاح‌شده با شاخص اصلاح‌نشده را نشان می‌دهند. همان‌طور که دیده می‌شود هر چند مقادیر میانگین شاخص اصلاح‌نشده سرزمین برای روش خیدیر بسیار بیش‌تر از روش استوری است، اما مقادیر میانگین برای شاخص اصلاح‌شده چه در روش خیدیر و چه استوری تفاوت زیادی با هم ندارند. برای نمونه، در

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های آماری شبیه‌سازی شاخص سرزمین در کلاس‌های تناسب سرزمین.

Table 3. Some statistical descriptions of the simulation of land suitability classes.

Method روش	Statistic آماره	Class کلاس				
		S1	S2	S3	N1	N2
استوری Storie	Mean میانگین	73.12	26.52	7.91	1.82	0.24
	Std. Deviation انحراف معیار	16.26	12.01	4.55	1.79	0.54
	Minimum کمینه	27.51	2.51	0.17	0.00	0.00
	Maximum بیشینه	100.00	82.08	55.03	37.49	22.66
	Skewness چولگی	0.05	0.45	1.32	2.51	6.71
	Kurtosis افراشتگی	-1.03	-0.58	2.68	10.29	91.13
خیدیر Khiddir	Mean میانگین	82.37	44.11	18.27	8.09	1.53
	Std. Deviation انحراف معیار	11.22	11.94	7.12	3.43	1.62
	Minimum کمینه	48.66	12.94	2.45	0.38	0.00
	Maximum بیشینه	100.00	82.77	57.95	37.91	23.51
	Skewness چولگی	-0.04	0.13	0.55	0.99	1.84
	Kurtosis افراشتگی	-1.07	-0.91	0.01	1.24	5.23
استوری اصلاح‌شده Corrected Storie	Mean میانگین	88.22	55.50	27.93	13.07	0.12
	Std. Deviation انحراف معیار	7.12	4.01	1.94	0.55	0.35
	Minimum کمینه	63.26	55.83	24.65	12.50	0.00
	Maximum بیشینه	100.00	74.00	47.91	24.23	11.33
	Skewness چولگی	0.05	0.45	1.32	2.51	6.71
	Kurtosis افراشتگی	-1.03	-0.58	2.68	10.29	91.13
خیدیر اصلاح‌شده Corrected Khiddir	Mean میانگین	88.98	58.25	30.91	15.04	0.77
	Std. Deviation انحراف معیار	7.01	4.71	2.99	1.13	0.78
	Minimum کمینه	67.91	45.47	23.87	12.62	0.00
	Maximum بیشینه	100.00	74.10	48.56	24.40	11.76
	Skewness چولگی	-0.04	0.13	0.55	0.99	1.84
	Kurtosis افراشتگی	-1.07	-0.91	0.01	1.24	5.23

انطباق یا دقت کلی برای دو روش تعداد و شدت محدودیت و روش استوری به ترتیب برابر ۳۵۳۳۳ (۳/۵ درصد) برای S2 و ۱۶۳۵۵۱ (۱۶/۳ درصد) برای S3 می‌باشد، که در کل برابر ۱۹/۸ درصد کل داده‌ها است. از آنجا که این یک میلیون بار شبیه‌سازی برای کلاس S2 انجام شده است، میزان انطباق واقعی برای این دو روش در کلاس S2 تنها ۳/۵ درصد می‌باشد (یعنی هر دو روش، تنها در ۳/۵ درصد موارد کلاس تناسب را S2 نشان داده‌اند). به بیان دیگر در ۱۶/۳ درصد موارد هرچند هر دو روش مورد نظر کلاس تناسب یکسانی را به دست داده‌اند اما در هر دو روش، کلاس تناسب نادرست تعیین شده است و همانطور که در جدول ۴ می‌توان دید در ۱۶۳۵۵۱ مورد (۱۶/۳ درصد) کلاس تناسب به نادرستی کلاس S3 به دست آمده است.

از آنجا که محاسبات تعیین مقدار انطباق کلاس‌های تناسب در روش‌های مختلف دارای حجم زیادی می‌باشند، برای نمونه تنها یک ماتریس درهمی ارایه می‌گردد و برای موارد دیگر تنها به ذکر دقت کلی پایانی بسنده می‌شود.

جدول ۴ ماتریس درهمی مقایسه روش تعداد و شدت محدودیت و روش استوری را برای یک میلیون بار شبیه‌سازی در کلاس S2 نشان می‌دهد. براساس روش تعداد و شدت محدودیت از این یک میلیون بار شبیه‌سازی برای کلاس S2، به ترتیب تعداد ۳۶۶۹۸۳ و ۶۳۳۰۱۷ مورد در کلاس‌های S2 و S3 قرار گرفته‌اند؛ ولی بر اساس روش استوری ۳۵۳۳۳ مورد دارای کلاس S2 بوده و ۵، ۴۷۱۳۰۷، ۳۷۸۰۵۷ و ۱۱۵۲۹۶ مورد به ترتیب در کلاس‌های S1، S3، N1 و N2 جای دارند. همان‌طور که دیده می‌شود میزان

جدول ۴- ماتریس درهمی بین روش تعداد و شدت محدودیت و روش استوری برای شبیه‌سازی کلاس S2.

Table 4. Confusion matrix between the methods of Number and intensity of limitations and Storie for simulation of S2 class.

*	S1	S2	S3	N1	N2	کل Total
S1	0	5	0	0	0	5
S2	0	35333	2	0	0	35335
S3	0	307756	163551	0	0	471307
N1	0	23883	354174	0	0	378057
N2	0	6	115290	0	0	115296
کل Total	0	366983	633017	0	0	1000000

* ستون‌ها و سطرها به ترتیب نشان‌دهنده روش تعداد و شدت محدودیت و روش استوری هستند.

* Columns and rows present methods of Number and intensity of limitations and Storie, respectively.

کلاس به دست آمده دارای کلاس S1 است و به بیان دیگر روش استوری در این پنج مورد کلاس تناسب را بهتر از واقعیت تعیین کرده است. چنین نتایجی

همان‌طور که در جدول ۴ می‌توان دید هر چند این یک میلیون بار شبیه‌سازی برای کلاس S2 انجام شده است اما بر اساس روش استوری در پنج مورد،

برای دیگر روش‌ها هم دیده شد (نتایج به دلیل حجم زیاد ارایه نشده است)، یعنی این که روش‌های مختلف تناسب سرزمین ممکن است کلاس تناسب را بدتر و یا بهتر از واقعیت نشان دهند. چنین یافته‌هایی توسط باقری بداغ‌آبادی (۲۰۲۰) نیز تأیید گردیده است (۵). این بدان معنی است که با وجود اختلاف‌هایی که در روش‌های گوناگون ارزیابی تناسب سرزمین وجود دارد و گاه نتایج متضادی دیده می‌شود اما این احتمال وجود دارد که همه نتایج با واقعیت منطبقه مطالعاتی همخوانی داشته باشند، چون این نتایج به نوع محصول و مکان پژوهش مرتبط هستند. برای نمونه هرچند پژوهش‌های بسیاری نشان داده‌اند روش خیدیر نسبت به استوری به واقعیت نزدیک‌تر بوده است (۲، ۳، ۹، ۱۰) اما در پژوهش محمدی و همکاران (۲۰۰۷) روش استوری نسبت به خیدیر انطباق بیشتری با واقعیت نشان داد (۱۲).

جدول ۵ میزان انطباق و یا دقت کلی را برای روش‌های مختلف ارزیابی تناسب سرزمین نشان می‌دهد. در این جدول صرف‌نظر از این که کلاس محاسبه شده درست بوده یا نبوده است، فقط مقدار انطباق کلاس‌های تناسب با هم مد نظر قرار گرفته است. عدد ۱۹/۸ که در نمونه بالا برای میزان انطباق دو روش تعداد و شدت محدودیت و روش استوری به آن اشاره شد به صورت پررنگ و با خط زیر نشان داده شده است. جدول ۶ میزان انطباق واقعی روش‌های مختلف ارزیابی تناسب سرزمین را نشان می‌دهد. در این جدول فقط مواردی که توسط روش‌های مختلف به درستی در همان کلاس موردنظر قرار گرفته‌اند نشان داده شده‌اند. عدد ۳/۵ که در نمونه بالا برای میزان انطباق دو روش تعداد و شدت

محدودیت و روش استوری برای کلاس S2 به آن اشاره شد به صورت پررنگ و با خط زیر نشان داده شده است. برای یک نمونه موردی دیگر، میزان انطباق روش تعداد و شدت محدودیت با روش استوری بر اساس شاخص اصلاح‌شده را در همان کلاس S2 در نظر می‌گیریم. میزان انطباق کلی این دو روش برابر ۴۱/۳ درصد می‌باشد (جدول ۵ ستون هشتم). به عبارت دیگر وقتی از شاخص اصلاح‌شده استفاده گردیده است میزان انطباق دو روش مذکور بیش از دو برابر افزایش یافته است (۴۱/۳ درصد برای شاخص اصلاح‌شده در برابر ۱۹/۸ درصد برای شاخص اصلاح‌نشده). همین مورد اهمیت استفاده از شاخص‌های اصلاح‌شده را نسبت به شاخص اصلاح‌نشده نشان می‌دهد. اما نکته جالب‌تر افزایش بیش از ده برابر میزان انطباق واقعی برای دو روش مذکور در کلاس S2 است که از ۳/۵ درصد برای شاخص اصلاح‌نشده به ۳۶/۷ درصد (جدول ۶ ستون هشتم) برای شاخص اصلاح‌شده افزایش یافته است. این موضوع بیش از پیش اهمیت استفاده از شاخص‌های اصلاح‌شده را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که همواره اینطور نیست که میزان انطباق کل برای دو روش مختلف از میزان انطباق واقعی آن‌ها بیشتر باشد. برای نمونه میزان انطباق کل و واقعی برای دو روش تعداد و شدت محدودیت و روش استوری برای سه کلاس S3، N1 و N2 کاملاً یکسان است (جدول‌های ۵ و ۶). هم‌چنین گاه ممکن است در ظاهر شاخص اصلاح‌نشده مقدار بیش‌تری نسبت به شاخص اصلاح‌شده نشان دهد، برای نمونه شاخص اصلاح‌نشده برای انطباق روش تعداد و شدت محدودیت با روش خیدیر بر اساس شاخص

همان طور که در هر دو جدول‌های ۵ و ۶ می‌توان دید به‌طور معمول استفاده از شاخص اصلاح‌شده تناسب سرزمین سبب بهبود نتایج مقایسه‌ها شده است. در این بین، میزان انطباق دو روش خیدیر و استوری با واقعیت، که همواره جای بحث و جدل بوده‌اند، بسیار قابل توجه است. بر اساس نتایج جدول ۶ که مقدار انطباق دو روش استوری و خیدیر با واقعیت را نشان می‌دهد می‌توان دید وقتی شاخص اصلاح‌نشده مورد استفاده قرار گرفته است میزان انطباق دو روش خیدیر و استوری برای کلاس‌های S1، S2، S3، N1 و N2 به ترتیب برابر ۴۳/۷، ۳/۵، ۰/۴، ۰/۲ و ۹۹/۹ است؛ ولی مقدار انطباق با استفاده از شاخص اصلاح‌شده برای کلاس‌های مذکور به‌ترتیب برابر ۹۸/۵، ۹۵/۳، ۹۷/۹، ۰ و ۱۰۰ درصد هستند. کلاس N1 در هر دو حالت، به همان دلایل ذکر شده در بالا مقدار انطباقی در حد صفر دارد. بر اساس این نتایج می‌توان گفت چنانچه از شاخص اصلاح‌شده تناسب سرزمین استفاده گردد هر دو روش خیدیر و استوری تقریباً نتایج یکسانی را به دست می‌دهند (البته با در نظر گرفتن روابط ارایه شده توسط باقری بداغ‌آبادی (۴) برای دو کلاس N1 و N2). بنابراین با به‌کارگیری شاخص‌های اصلاح‌شده بحث و جدل در مورد برتری روش خیدیر یا استوری خاتمه می‌یابد، چرا که هر دو روش بیش از ۹۵ درصد انطباق با یکدیگر و با واقعیت دارند (جدول ۶). شایان ذکر است، مواردی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند برای انطباق کلاس تناسب سرزمین می‌باشند و برای بررسی ارتباط بین شاخص اصلاح‌شده یا اصلاح‌نشده سرزمین با عملکرد واقعی نیاز به پژوهش‌های جداگانه می‌باشد.

اصلاح‌نشده برابر ۷۹/۶ درصد است و برای شاخص اصلاح‌شده این مقدار به ۴۰/۶ درصد کاهش یافته است. این به دلیل آن است که هر دو روش تعداد و شدت محدودیت و خیدیر بخش قابل‌توجهی از کلاس S2 را نادرست ولی یکسان تعیین کرده‌اند (شرح جدول ۴ را ببینید). برای نمونه هر دو روش حدود ۴۳ درصد موارد را کلاس S3 نشان داده‌اند. اگر به جدول ۶ توجه گردد مشخص است که عدد ۷۹/۶ به ۲۶/۳ کاهش یافته است. یعنی میزان انطباق این دو روش با واقعیت حدود ۲۶/۳ درصد است و ۵۳/۳ درصد انطباق این دو روش هرچند کلاس یکسانی را نشان داده‌اند اما آن کلاس، کلاس‌هایی غیر از S2 بوده‌اند.

در بین کلاس‌های تناسب، کلاس N1 در همه روش‌ها کم‌ترین انطباق را با روش‌های عددی، چه استوری و چه خیدیر، نشان داده است. حتی استفاده از شاخص اصلاح‌شده هم تفاوتی در بهبود انطباق این روش‌ها بوجود نیاورده است. باقری بداغ‌آبادی (۲۰۲۱) ثابت کرد به دلیل عدم پیوستگی روابط ارایه شده توسط سایز در نقطه مرزی بین کلاس S3 و N، تعیین کلاس‌های N1 و N2 با روابط سایز به شدت ابهام‌آمیز و با مشکل همراه است (۴). بر اساس یافته‌های این پژوهش نیز می‌توان گفت از جمله دلایل اصلی عدم انطباق بین روش‌های مذکور برای کلاس N1 همین عدم پیوستگی رابطه ارایه شده توسط سایز باشد. باقری بداغ‌آبادی (۲۰۲۱) روابط جدیدی را برای تعیین کلاس‌های N1 و N2 ارایه کرد (۴). بر اساس این روابط میزان انطباق برای روش تعداد و شدت محدودیت و استوری و خیدیر برابر ۱۰۰ درصد به دست آمد (جدول‌های ۵ و ۶).

جدول ۵- میزان انطباق و یا دقت کلی برای روش‌های ارزیابی تناسب سرزمین در کلاس‌های مختلف.

Table 5. The degree of adaptation or overall accuracy for land suitability evaluation methods in different classes.

CS	K		S			NL				SL*					
	CK	CS	CK	CS	K	CK	CS	K	S	CK*	CS*	K*	S*	NL*	
99.8	80.6	81.9	43.7	43.7	67.7	87.4	88.7	88.6	61.0	98.7	98.5	67.2	43.7	74.1	S1
99.3	30.8	30.8	3.5	3.5	23.3	40.6	41.3	79.6	<u>19.8</u>	96.0	95.4	30.9	3.5	36.7	S2
99.6	14.0	14.0	0.4	0.4	24.6	98.3	98.0	14.0	0.4	98.3	98.0	14.0	0.4	100	S3
99.5	91.3	90.9	99.7	99.8	91.1	0.5	0.0	9.0	0.2	0.5	0.0	9.0	0.2	100	N1
100	100	100	99.9	100	99.9	99.9	100	99.9	100	99.9	100	99.9	100	100	N2
100	100	100	100	100	-	100	100	-	-	100	100	-	-	-	N1 ⁺
100	100	100	100	100	-	100	100	-	-	100	100	-	-	-	N2 ⁺

*: SL= محدودیت ساده، NL= تعداد و شدت محدودیت، S= استوری، K= خیدیر، CS= شاخص اصلاح‌شده استوری، CK= شاخص اصلاح‌شده خیدیر.

+ بر اساس باقری بدآبادی (۲۰۲۱)

*: SL= Simple limitation, NL= Number and intensity of limitations, S= Storie, K= Khiddir, CS= Storie Corrected land index, CK= Khiddir Corrected Land Index.

+ based on Bagheri Bodaghabadi (2021)

جدول ۶- میزان انطباق یا دقت کلی منطبق بر واقعیت برای روش‌های ارزیابی تناسب سرزمین در کلاس‌های مختلف.

Table 6. The actual degree of adaptation or actual overall accuracy for land suitability evaluation methods in different classes.

CS	K		S			NS				SL*					
	CK	CS	CK	CS	K	CK	CS	K	S	CK*	CS*	K*	S*	NL*	
98.5	67.2	67.2	43.7	43.7	43.7	74.0	74.0	64.9	43.7	98.7	98.5	67.2	43.7	74.1	S1
95.3	30.8	30.8	3.5	3.5	3.5	36.7	36.7	26.3	<u>3.5</u>	96.0	95.4	30.9	3.5	36.7	S2
97.9	14.0	14.0	0.4	0.4	0.4	98.3	98.0	14.0	0.4	98.3	98.0	14.0	0.4	100	S3
0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.2	0.5	0.0	9.0	0.2	0.5	0.0	9.0	0.2	100	N1
100	100	100	99.9	100	99.9	99.9	100	99.9	100	99.9	100	99.9	100	100	N2
100	100	100	100	100	-	100	100	-	-	100	100	-	-	-	N1 ⁺
100	100	100	100	100	-	100	100	-	-	100	100	-	-	-	N2 ⁺

*: SL= محدودیت ساده، NL= تعداد و شدت محدودیت، S= استوری، K= خیدیر، CS= شاخص اصلاح‌شده استوری، CK= شاخص اصلاح‌شده خیدیر.

+ بر اساس باقری بدآبادی (۲۰۲۱)

*: SL= Simple limitation, NL= Number and intensity of limitations, S= Storie, K= Khiddir, CS= Storie Corrected land index, CK= Khiddir Corrected Land Index.

+ based on Bagheri Bodaghabadi (2021)

از شاخص‌های اصلاح‌شده تناسب سرزمین سبب می‌شود تفاوت قابل‌توجهی در نتایج و تعیین کلاس‌ها به‌وجود آید و نتایج تا حد زیادی دور از واقعیت باشند. این موضوع برای روش استوری بسیار شدیدتر است. این در حالی است که با به‌کارگیری شاخص‌های اصلاح‌شده، نتایج روش‌های پارامتریک یا عددی (یعنی روش استوری و روش خیدیر) تا حد بسیار زیادی (بیش از ۹۵ درصد) یکسان می‌باشند. بر این اساس، دغدغه و یا بحث و جدل در مورد بهتر بودن روش استوری یا خیدیر تا حد زیادی رفع گردید. هم‌چنین یافته‌ها نشان دادند روش محدودیت ساده با وجود سادگی از دقت بسیار خوبی برخوردار می‌باشد و انطباق زیادی را با رویکرد عددی (هم استوری و هم خیدیر) به شرط استفاده از شاخص‌های اصلاح‌شده دارد. بنابراین برای تعیین کلاس‌های تناسب باید از شاخص‌های اصلاح‌شده استفاده گردد تا نتایج روش‌های مختلف تا حد امکان به هم نزدیک‌تر شوند.

نتیجه‌گیری

از آنجا که روش‌های مرسوم در ارزیابی تناسب سرزمین نتایج متفاوتی را به دست می‌دهند، تعیین میزان انطباق این روش‌ها با یکدیگر و با واقعیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پژوهش کنونی به خوبی پاسخی برای ابهام و تردید در مورد برتری روش‌های مرسوم ارزیابی تناسب سرزمین و تفاوت بین این روش‌ها ارائه داد. یافته‌های این پژوهش نشان داد انطباق روش‌های مرسوم ارزیابی تناسب سرزمین با یکدیگر در کلاس‌های مختلف تناسب سرزمین متفاوت است و می‌تواند از صفر تا صد در صد متغیر باشد. منطبق و یا یکسان نبودن کلاس‌های تناسب سرزمین در روش‌های مختلف گاه واقعی است و به ذات آن روش مرتبط می‌شود و گاه ناشی از کاربرد نادرست روش می‌باشد. براساس یافته‌های این پژوهش مشخص گردید کلاس NI کم‌ترین میزان انطباق بین روش‌های گوناگون ارزیابی تناسب سرزمین را دارد. به نظر می‌رسد از جمله دلایل آن مناسب نبودن روابط ارائه شده برای اصلاح شاخص سرزمین در این کلاس است. هم‌چنین استفاده نکردن

منابع

1. Alamdari, P., and Amanifar, S. 2016. Land suitability classification of east Azerbaijan research station for tomato, potato, onion and bean. International Journal of Agricultural Management and Development. 6: 117-122.
2. Ayoubi, Sh., Jalalian, A., and Givi, J. 2001. Qualitative land suitability evaluation for important agricultural crops of north Baraan region in Isfahan Province. Isfahan, Journal of Water and Soil Science. 5: 1. 57-76. (In Persian)
3. Azadi, A., and Baghernejad, M. 2018. Qualitative land suitability assessment and estimating land production potential for main irrigated crops in northern of Fars Province. Agriculture and Forest. 64: 4. 263-276.
4. Bagheri Bodaghabadi, M. 2020. Assessment of corrected land index in land suitability evaluation and adjusting its functions. Mashhad. Journal of Water and Soil. 34: 4. 961-972. (In Persian)
5. Bagheri Bodaghabadi, M. 2021. The importance of correcting land indices in determining land suitability classes. Mashhad. Journal of Water and Soil. 34: 6. 1287-1298. (In Persian)
6. Bagheri Bodaghabadi, M., Martínez-Casasnovas, José A., Khalili, P., and Masihabadi, M. 2015. Assessment of the FAO traditional land evaluation methods, A case study: Iranian Land Classification method. Soil Use and Management. 31: 384-396.

7. Delsouz Khaki, B., Honarjoo, N., Davatgar, N., Jalalian, A., and Torabi Golsefidi, H. 2018. Land suitability evaluation and inherent soil fertility quality for Rice cultivation in paddy fields of Shaft and Fouman Counties. Tehran. Iranian Journal of Soil Research. 32: 1. 115-127.
8. Hashemi, S., and Kiani, F. 2018. Qualitative land suitability evaluation for Canola and Sugar beet cultivations with FAO different methods (Gyan area, Hamedan province). Applied Soil Research. 5: 2. 16-30. (In Persian)
9. Jafarzadeh, A., and Zeinali, M. 2005. Qualitative assessment of part of the Firoorgh (Khoi) lands for potato, tomato and corn products, 9th Iranian Soil Science Congress, 28-31 August, Tehran, Soil Conservation and Watershed Management Research Center.
10. Jahanbazi, L., Jafarzadeh, A., Shahbazi, F., and Momtaz, H. 2014. Qualitative land suitability evaluation of Ahar Yakhfarvazan for sugar beet, onion and maize by simple limitation and parametric square root methods. Mashhad, Water and Soil Sci. 24: 3. 121-132. (In Persian)
11. Khiddir. S.M. 1986. A statistical approach in the use of parametric systems applied to the FAO framework for land evaluation. Unpublished thesis. State University Ghent.
12. Mohammadi, A., Pashaei, I.A., and Sadeghi, S. 2007. Evaluation of soil quality fit for major agricultural products in Gonbad Kavous region. Gorgan, Journal of Agricultural Science and Natural Resource. 14: 5. 111-99. (In Persian)
13. Momtaz, H., Jafarzadeh, A.A., and Neyshabouri, M.R. 2006. Qualitative evaluation of the proportion of arable land in Ahar city for some common cultivated crops in the region. Agricultural Science. 16: 3. 67-81. (In Persian)
14. Mosleh, Z., Salehi, M.H., Amini Fasakhodi, A., Jafari, A., Mehnatkesh, A., and Esfandiarpour Borujeni, I. 2017. Sustainable allocation of agricultural lands and water resources using suitability analysis and mathematical multi-objective programming. Geoderma. 303: 52-59.
15. Mosleh, Z., Salehi, M.H., Jafari, A., Mehnatkesh, A., and Esfandiarpour Borujeni, I. 2018. Assessing the performance of digital mapping approaches for the qualitative land suitability evaluation (A Case Study: Shahrekord Plain, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province). Mashhad, Journal of Water and Soil. 32: 1. 87-99.
16. Movahedi Naeini, S. 1993. Evaluation of land suitability of important agricultural products in Gorgan region. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares Univ. Press, 217p.
17. Neswati, R., Lopulisa, C., Nathan, M., and Ramlan, A. 2017. Land suitability index for estimating sugar cane productivity in the humid tropics of south Sulawesi Indonesia. Journal of Tropical Soils. 21: 2. 115-122.
18. Rabia, A.H., and Terribile, F. 2013. Introducing a new parametric concept for land suitability assessment. International Journal of Environmental Science and Development. 4: 1. 15-19.
19. Sarmadian, F., and Ghavami, M. 2020. Land suitability evaluation using TOPSIS method and its comparison with parametric methods for maize production in part of Qazvin. Tehran, Iranian Journal of Soil and Water Research. 50: 9. 2275-2287. (In Persian)
20. Servati, M. 2018. ELECTRE Tri method performance on land suitability evaluation in Chalderan region for potato. Gorgan, Journal of Water and Soil Conservation. 25: 1. 271-284. (In Persian)
21. Servati, M., Momtaz, H., Zali Vargahan, B., and Mohammadi, H. 2016. Performance evaluation of corrected land indices to determine the Potential of Maize production using FAO Method. Urmia, Applied Soil Research. 3: 1. 65-77. (In Persian)
22. Seyed Jalali, S., Sarmadian, F., and Shorafa, M. 2014. Comparison of corrected and uncorrected land indices

- in parametric method of land suitability evaluation. Tehran, Iranian Journal of Soil Research. 28: 1. 127-141. (In Persian)
23. Shahbazi, F., and Jafarzadeh, A. 2004. Qualitative evaluation of landscapes of Mehr Bonab cluster production cooperative for wheat, barley, alfalfa, onion, sugar beet and corn. Tabriz, Agricultural Science. 14: 4. 69-86. (In Persian)
24. Storie, R.E. 1978. The Storie Index Soil Rating Revised. Davis, CA, University of California, Division of Agricultural Science, Special Publication No 3203.
25. Sys, C., Van Ranst, E., and Debaveye, J. 1991. Land evaluation, Part II. Methods in Land Evaluation. International Training center for post graduate soil scientists, Ghent University, Ghent. 247p.
26. Vasu, D., Srivastava, R., Patil, N.G., Tiwary, P., Chandran, P., and Kumar Singh, S. 2018. A comparative assessment of land suitability evaluation methods for agricultural land use planning at village level. Land Use Policy. 79: 146–163.



How well do the results of conventional land suitability methods fit together?

M. Bagheri-Bodaghabadi^{*1}, Z. Mosleh Ghahfarokhi¹, M. Jamshidi¹
and A.R. Ziaei Javid¹

¹Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 06.02.2020; Accepted: 12.19.2020

Abstract

Background and objectives: Choosing the best land suitability method to determine land suitability classes has always been questioned and researched. Many land suitability surveys are conducted using four conventional methods, including: 1-simple limitation, 2- number and intensity of limitations, 3- Khiddir (square root) and 4- storie. In the parametric approach, the land index is calculated using the Khiddir method or the Storie method, and then based on this index, the land suitability classes are determined. The land index is in two forms: the uncorrected land index and the corrected land index. Numerous studies on land suitability evaluation have shown that the results of different land suitability methods are very different. However, the results of many studies suggest that the two methods of simple limitation and Khiddir are more consistent. Since these researches have been for different products and different regions, it has not been possible to evaluate the degree of adaptation of different methods without considering the type of product and its location. On the other hand, the numerical value of the adaptation or conformity of these methods with each other has not been determined. So, regardless of the type of product and location, a basic question that arises is how well do the different land suitability methods fit together, and are the degree of adaptation different for various land suitability classes? Current research seeks to answer this question.

Materials and Methods: In this study, land suitability classes were determined using numerical simulation, without considering any product and location. In numerical simulation, each of the eight factors involved in determining the suitability classes accounted for a random number from zero to 100, and then based on these simulated numbers the land suitability classes were determined with the four conventional methods and in two forms of the uncorrected land index and the corrected land index. The simulation process for each proportional class, including classes S1 (suitable), S2 (Moderately suitable), S3 (Marginally suitable), N1 (temporary unsuitable), and N2 (permanently unsuitable), was performed one million times. So a total of five million simulations were done. In the next step, the degree of adaptation for each class and each method was calculated based on the Overall Accuracy (OA) formula.

Results: The results showed that the numerical value of the degree of adaptation of different land suitability methods in various classes are very different; Overall, however, the least and most adaptation between the different methods occurs for Class N1 and N2, respectively. After class N2, there is the greatest adaptation between the different methods in class S1. For classes S2 and S3, the degree of adaptation between different methods does not follow a specific trend. Among the various methods, in the case of using the uncorrected index, the simple limitation method was more consistent with the Khiddir method. However, using the corrected land index,

* Corresponding Author; Email: m.baghery@areeo.ac.ir

the greatest correlation was observed between the simple limitation method and the parametric approach (both Khiddir and Storie method) and in this case there was not much difference between the results of Khiddir method and Storie method. Therefore, the corrected land index is superior to the uncorrected land index.

Conclusion: Based on the findings of this study, it can be said that the results obtained from the uncorrected land indices may be far from reality, and this issue is much more severe for the Storie method. The use of the uncorrected index causes a large difference between the parametric approach with the two methods of simple limitation and the number and intensity of limitations. Therefore, it is necessary to use corrected indices to determine the suitability classes so that the results of different methods are as close as possible.

Keywords: Khiddir, Number and Intensity of Limitations, Simple Limitation, Simulation, Storie

