نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۹، ص. ۹۷۲-۹۶۱

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 4, Sept-Oct 2020, p. 961-972

مقاله علمی-پژوهشی

اهمیت تصحیح شاخص‌های سرزمین در تعیین کلاس تناسب سرزمین

محسن باقری بداغ‌آبادی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۸

چکیده

ارزیابی تناسب سرزمین نقش تعیین‌کننده‌ای در تعیین تناسب سرزمین برای کاربری‌های مورد نظر دارد. برای این منظور مدل‌های گوناگونی ارایه شده که در این بین رویکرد پارامتریک جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. در این رویکرد، شاخص سرزمین با استفاده از روش خیدیر (ریشه دوم) یا روش استوری محاسبه می‌شود و سپس بر اساس این شاخص، کلاس تناسب سرزمین تعیین می‌شود. متأسفانه در بسیاری از پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده‌اند، شاخص سرزمین بدون اینکه اصلاح شود استفاده شده است. این موضوع سبب شده نتایج روش‌های گوناگون ارزیابی تناسب سرزمین تفاوت زیادی را با هم نشان دهند. در این پژوهش اهمیت استفاده از شاخص اصلاح‌شده سرزمین و تأثیر آن بر کلاس‌های تناسب سرزمین نشان داده شده است. برای این منظور با انجام شبیه‌سازی عددی، کلاس‌های تناسب سرزمین با چهار روش شامل ۱-محدودیت ساده، ۲-شدت و تعداد محدودیت، ۳-خیدیر و ۴-استوری و در دو حالت شاخص اصلاح‌نشده و شاخص اصلاح‌شده تعیین گردیدند. یافته‌ها نشان دادند با استفاده از شاخص‌های اصلاح‌شده، نتایج چهار روش مورد استفاده به هم نزدیکتر شدند و بویژه برای دو روش استوری و خیدیر به بیش از ۹۵ درصد افزایش یافت؛ اما به طور کلّی روش محدودیت ساده با روش خیدیر هماهنگی بیشتری داشت. از سوی دیگر، استفاده از شاخص‌های اصلاح‌نشده سبب شد روش‌های مورد استفاده تفاوت زیادی را با هم نشان دهند. البته نتایج متضاد مربوط به روش‌های گوناگون ارزیابی تناسب سرزمین از نظر ریاضی و احتمالات می‌توانند کاملاً منطقی و درست باشند، اما احتمال رخداد آنها متفاوت است. روی‌هم‌رفته می‌توان گفت، نتایج حاصل از شاخص‌های اصلاح‌نشده سرزمین ممکن است تا حد زیادی نادرست و گمراه‌کننده باشند و نتایج را غیرواقعی نشان دهند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد در تعیین کلاس‌های تناسب حتماً از شاخص‌های اصلاح‌شده استفاده گردد و سپس نتایج با واقعیت مقایسه شوند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی تناسب سرزمین، شبیه‌سازی، روش عددی (پارامتریک)

مقدمه

برای اطمینان از بهره‌وری آتی و پایداری تنوع زیستی در یک اکوسیستم باید کمیت و کیفیت منابع سرزمین و تناسب آنها برای دامنه مشخصی از کاربری‌های سرزمین بررسی و تعیین شود (۲۱). ارزیابی تناسب سرزمین با تعیین درجه تناسب در هر یگان یا واحد سرزمین برای کاربری‌های مورد نظر امکان کاربرد درست و بهینه منابع را فراهم می‌کند. این موضوع نقش بسیار مهمی را در توسعه پایدار به ویژه در بخش کشاورزی به همراه دارد. ارزیابی تناسب سرزمین عبارت از برآورد کارآیی سرزمین برای کاربری‌های مشخص و به عبارتی تعیین درجه‌ی سازگاری سرزمین برای کاربردی ویژه می‌باشد (۷).

از جمله روش‌های بسیار مرسوم برای ارزیابی تناسب سرزمین بویژه در ایران روش‌های ارایه شده توسط سایز (۲۹) می‌باشد. مطالعات ارزیابی تناسب سرزمین در ایران به طور علمی و رسمی، از دهه هفتاد و با پژوهش موحدی نایینی (۱۹) آغاز گردید. هرچند در سال‌های اخیر و همگام با پیشرفت‌های دانش و فن‌آوری، روش‌های نوینی در پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی تناسب سرزمین بوجود آمده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند (مانند ۸، ۲۶، ۳۲، ۵، ۱۳ و ۳۱) اما همچنان پژوهش‌های بسیاری به همان شکل سنتی خود و بر اساس روش سایز انجام می‌گیرند (برای نمونه: ۲۲، ۳، ۳۰، ۲۰، ۷، ۱۷ و ۱۸). در این بین، رویکردهای عددی یا پارامتریک برای ارزیابی تناسب سرزمین به طور گسترده‌ای استفاده شده‌اند (۲۱). در رویکرد

۱- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.baghery@areeo.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v34i4.86305

عددی، شاخص سرزمین[1] (LI) با یکی از روش‌های استوری و یا خیدیر (ریشه دوم) محاسبه می‌گردد و بر اساس شاخص به دست آمده کلاس سرزمین تعیین می‌شود. البته پیش از آنکه شاخص به دست آمده به کلاس تبدیل شود باید این شاخص با توجه به مقدار عددی محدودکننده‌ترین عامل یا درجه کمینه (Rmin) تصحیح شود و به شاخص اصلاح‌شده سرزمین[2] (CLI) تبدیل گردد و پس از آن کلاس تناسب مربوطه تعیین شود. در بسیاری از پژوهش‌ها به این مرحله، یعنی اصلاح شاخص‌های تناسب سرزمین پیش از تعیین کلاس تناسب، توجهی نشده است و به طور معمول همان شاخص‌های اصلاح‌نشده سرزمین[3] (UCLI) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بنابراین بعید نیست نتایج چنین پژوهش‌هایی با شک و تردید همراه باشد و در مورد درستی و دقت آنها ممکن است ابهاماتی وجود داشته باشد. عدم استفاده از شاخص اصلاح‌شده سرزمین سبب شده نتایج روش‌های گوناگون ارزیابی تناسب سرزمین تفاوت زیادی را با هم نشان دهند (۲۲، ۳، ۳۰، ۲۰، ۷، ۱۷ و ۱۸). در عمل بدون انجام عملیات میدانی و یا بررسی عملکرد محصولات نمی‌توان فهمید کدام روش ارزیابی تناسب سرزمین بهتر است و با واقعیت انطباق بیشتری دارد. ازطرفی پژوهش‌هایی که با استفاده از شاخص اصلاح‌شده سرزمین انجام شده‌اند و یا شاخص اصلاح‌شده و اصلاح‌نشده را مقایسه کرده‌اند، نتایج متفاوتی را نشان داده و بر استفاده از شاخص اصلاح‌شده تاکید کرده‌اند (۱۶، ۲۳، ۲۴ و ۲۵). با توجه به اهمیت پژوهش‌های ارزیابی تناسب سرزمین و اینکه هنوز از روش‌های سایز به طور گسترده استفاده می‌شود، لازم است اهمیت تصحیح شاخص‌های سرزمین روشن گردد تا تأثیر کاربرد شاخص‌های اصلاح‌نشده و شاخص‌های اصلاح‌شده سرزمین در نتایج تعیین کلاس تناسب سرزمین مشخص شود. این موضوع می‌تواند به خوبی نشان دهد پژوهش‌هایی که در آنها شاخص تناسب، اصلاح‌نشده است تا چه‌اندازه می‌توانند نتایج ابهام آمیز و دور از واقعیتی را ارایه دهند. بنابراین، در پژوهش کنونی تلاش شده است با انجام شبیه‌سازی، میزان درستی و اعتبار نتایج به دست آمده از کاربرد شاخص‌های اصلاح‌نشده و شاخص‌های اصلاح‌شده سرزمین را مقایسه نمود تا بدین صورت اهمیت تصحیح شاخص‌های تناسب در ارزیابی تناسب سرزمین را نشان داد.

مواد و روش‌ها

ساختار طبقه‌بندی تناسب سرزمین

طبقه‌بندی تناسب سرزمین دارای چهار سطح به صورت سلسله مراتبی است؛ که شامل رده[4]، کلاس[5]، زیر کلاس[6] و یگان‌ها یا واحدهای تناسب سرزمین[7] می‌باشد. رده‌های تناسب سرزمین تعیین‌کننده‌ی مناسب و یا نامناسب بودن سرزمین هستندکه به ترتیب با علامت‌های S[8] و N[9] نمایش داده می‌شوند. جدول ۱ طبقات و ویژگی‌های هر طبقه را نشان می‌دهد.

تعیین کلاس و زیرکلاس تناسب سرزمین

برای ارزیابی تناسب سرزمین روش‌های گوناگونی ارایه شده‌است. در این پژوهش از روش‌های ارایه شده توسط سایز (۲۹)، شامل ۱- روش محدودیت ساده، ۲- روش تعداد و شدت محدودیت و ۳- روش عددی یا پارامتریک استفاده شده است.

روش محدودیت ساده بر اساس قانون کمینه‌ی لیبیگ است که رشد گیاه را تابع محدودکننده‌ترین عامل می‌داند. بنابراین در این روش، مشخصات سرزمین با نیازهای گیاهان مورد نظر مقایسه شده و محدودکننده‌ترین ویژگی سرزمین برای رشد گیاه، تعیین‌کننده‌ی کلاس پایانی سرزمین خواهد بود (۶ و ۲۹).

در روش تعداد و شدت محدودیت، ویژگی‌ها و کیفیت‌های سرزمین با اعداد ۰ تا ۴ و به صورت: بدون محدودیت[10] (۰)، با محدودیت کم[11] (۱)، با محدودیت متوسط[12] (۲)، با محدودیت شدید[13] (۳) و با محدودیت خیلی شدید[14] (۴) در نظر گرفته می‌شوند. کلاس پایانی با توجه به جدول ۱ تعیین می‌گردد (۶ و ۲۹).

در روش عددی، سطح هر کدام از محدودیت‌ها بر اساس درجه‌بندی، عددی از صفر تا ۱۰۰ می‌گیرد. درجه‌بندی‌های کلاس‌های تناسب سرزمین و شدت محدودیت آن‌ها در جدول ۱ ارایه شده است. اگر یک ویژگی برای کاربرد مورد نظر به طور کامل مناسب باشد مقدار عددی ۱۰۰ و اگر به طور کامل نامناسب باشد، مقدار عددی صفر را دریافت می‌کند. برای حالات بینابینی با انجام میان‌یابی، درجه‌ای متناسب با سطح محدودیت ایجاد شده (بین صفر تا ۱۰۰) به آن تعلق می‌گیرد (۶ و ۲۸). پس از اینکه مقدار عددی هر ویژگی به دست آمد، به منظور تعیین شاخص تناسب سرزمین، ویژگی‌های مورد سنجش با روش خیدیر یا ریشه دوم (۱۲) و یا روش

1- Land index; CLI
2- Corrected land index; CLI
3- Uncorrected land index; UCLI

4- Order
5- Class
6- Subclass
7- Land suitability units
8- Suitable
9- Non-suitable
10- No limitation
11- Moderate limitation
12- Slight limitation
13- Sever limitation
14- Very sever limitation

استوری (۲۸) به صورت زیر با هم ترکیب می‌شوند:

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

$$LI = A \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times ..... \quad (۲)$$

که در آن LI= شاخص سرزمین؛ A، B،C = درجه یا مقدار عددی هر عامل؛ Rmin = درجه کمینه یا کوچک‌ترین درجه بین عامل‌ها می‌باشند. در نهایت شاخص‌های بدست آمده با استفاده از جدول ۱ تبدیل به کلاس تناسب سرزمین می‌شوند.

در روش عددی با افزایش تعداد عوامل محدودیت‌دار، شاخص تناسب سرزمین به طور غیرمعقولی کاهش می‌یابد. برای نمونه اگر فرض شود چهار عامل، درجه‌ی ۹۰ دارند و بقیه همه ۱۰۰ هستند؛ بر اساس روش استوری درجه‌ی پایانی ۶۵/۶ می‌شود، که این نامعقول و دور از واقعیت است (۶). به منظور برطرف شدن این نقیصه سایز و همکاران (۲۹) توابعی را ارایه دادند تا شاخص تناسب به دست آمده اصلاح گردد (جدول ۲). شایان ذکر است که این روابط براساس تعاریف و شاخص‌های مربوط به هر کلاس و با استفاده از محاسبات ریاضیاتی به دست آمده‌اند (۲۹).

در پژوهش کنونی با شبیه‌سازی هشت ویژگی دخیل در محاسبات شاخص تناسب سرزمین اقدام به مقایسه شاخص‌های سرزمین به دست آمده گردید. این ویژگی‌ها به همان صورتی که توسط سایز و همکاران (۲۹) 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 قلیاییت یا برای مناطق مرطوب ۶- CEC، ۷- کاتیون‌ها یا pH و ۸ – کربن آلی هستند. بدین منظور تعداد یک میلیون حالت تصادفی برای هر یک از کلاس‌های S1 تا N2 ایجاد شد به طوری که درجه کمینه (Rmin) برای هر کلاس، یک عدد تصادفی در دامنه تعریف شده (درجه محدودیت در جدول ۱) بود و هفت عامل دیگر عددهایی تصادفی بین Rmin و ۱۰۰ را به خود اختصاص می‌دادند. برای نمونه در کلاس S2 درجه کمینه عددی تصادفی در دامنه ۶۰ تا ۸۵ و هفت عامل دیگر عددهایی بین Rmin و ۱۰۰ انتخاب شدند. بنابراین در کل تعداد پنج میلیون حالت تصادفی ایجاد گردید. سپس براساس روش‌های محدودیت ساده، تعداد و شدت محدودیت، خیدیر و استوری کلاس تناسب به دست آمد. کلاس‌های تناسب در روش عددی، هم بر اساس شاخص اصلاح‌نشده سرزمین و هم بر اساس شاخص اصلاح‌شده محاسبه شدند. در پایان کلاس‌های به دست آمده از روش‌های مذکور با هم مقایسه شدند و میزان تطابق کلاس‌های تناسب سرزمین در این روش‌ها با استفاده فراوانی نسبی هر یک از کلاس‌های تناسب به دست آمده در هر روش نسبت به سایر روش‌ها محاسبه شد. همه محاسبات مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار اکسل و اس.پی.اس.اس انجام شدند.

جدول ۱- تعاریف و شاخص‌های کلاس‌های تناسب سرزمین

Table 1- Definitions and criteria for determining land suitability classes

سطح رده‌بندی Classification level		شرح	مقدار شاخص سرزمین Land index value		تعداد و شدت محدودیت	درجه‌ی محدودیت
رده Order	کلاس Class	Description	بیشینه Max	کمینه Min	Number and intensity of limitations	Rating
S	S1	مناسب Suitable	100	75	بدون محدودیت یا تنها با چهار محدودیت کم No or only 4 slight limitations	85-100
	S2	نسبتاً مناسب Moderately suitable	75	50	بیش از چهار محدودیت کم و یا سه محدودیت متوسط More than 4 slight limitations and/or no more than 3 moderate limitations	60-85
	S3	تناسب بحرانی Marginally suitable	50	25	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	40-60
N	N1	نامناسب موقت[1] Temporary unsuitable	25	12.5	محدودیت‌های خیلی شدید قابل اصلاح Very severe limitations which can be corrected	25-40
	N2	نامناسب همیشگی[2] Permanently unsuitable	12.5	0	محدودیت‌های خیلی شدید غیر قابل اصلاح Very severe limitations which can be corrected	0-25

1- Actually unsuitable but potentially suitable
2- Actually and potential unsuitable

جدول ۲- رابطه‌های اصلاح شاخص سرزمین و برخی از مشخصات مربوطه برای هر کلاس

Table 2- The defined relationships to correct the land index, and some characteristics of classes

روش Method	کلاس Class	دامنه CLI+ CLI range	رابطه Relationship	UCLI++ بیشینه Max	UCLI++ کمینه Min	Rmin بیشینه Max	Rmin کمینه Min	دامنه LI# LI range
استوری (۲۸) Storrie (28)	S1	[75,100]	$75 + (^{*}SLI - 43) \times 0.439$	100	43	100	85	[75,100]
	S2	[50,75]	$50 + (SLI - 10) \times 0.333$	85	10	85	60	[50,75]
	S3	[25,50]	$25 + (SLI - 1) \times 0.424$	60	1	60	40	[25,50]
	N1	[0,25]	$SLI \times 0.625$	40	0	40	25	[12.5,25]
	N2	[0,25]	SLI	25	0	25	0	[0,12.5]
خیدیر (۱۲) Khiddir (12)	S1	[75,100]	$75 + (^{**}SQLI - 60) \times 0.625$	100	60	100	85	[75,100]
	S2	[50,75]	$50 + (SQLI - 24) \times 0.410$	85	24	85	60	[50,75]
	S3	[25,50]	$25 + (SQLI - 5) \times 0.445$	60	5	60	40	[25,50]
	N1	[0,25]	$SQLI \times 0.625$	40	0	40	25	[12.5,25]
	N2	[0,25]	$SQLI$	25	0	25	0	[0,12.5]
باقری (۴) Bagheri (4)	N1	[12.5,25]	$12.5 + SLI \times 0.313$	40	0	40	25	[12.5,25]
	N2	[0,12.5]	$0.5 \times SLI$	25	0	25	0	[0,12.5]
	N1	[12.5,25]	$12.5 + SQLI \times 0.314$	40	0	40	25	[12.5,25]
	N2	[0,12.5]	$0.5 \times SQLI$	25	0	25	0	[0,12.5]

#: Land Index; *: Storrie LI; **: Square root LI; +: Corrected LI; ++: Uncorrected LI.

نتایج و بحث

جدول ۳ برخی از ویژگی‌های آماری شبیه‌سازی کلاس‌های تناسب سرزمین در روش عددی را برای شاخص اصلاح‌نشده و شاخص اصلاح‌شده نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین به دست آمده می‌توان بیان کرد که شبیه‌سازی انجام شده قابل قبول می‌باشد. برای نمونه، بیشترین مقدار شاخص اصلاح‌نشده سرزمین برای کلاس S1 برابر ۱۰۰ است، یعنی هر هشت ویژگی دارای مقدار ۱۰۰ باشند، و نیز 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. حال همانطور که نتایج شبه‌سازی نشان می‌دهد و در جدول ۳ می‌توان دید، بیشترین و کمترین مقدار شاخص اصلاح‌نشده سرزمین برای کلاس S1 برابر ۱۰۰، ۲۷ (استوری) و ۴۸ (خیدیر) هستند. برای دیگر کلاس‌ها نیز این مقادیر تقریباً با دامنه‌های مورد انتظار در هر کلاس هم‌خوانی دارند. این اعداد نشان می‌دهند که شبیه‌سازی انجام شده تقریباً همه حالاتی که ممکن است در واقعیت رخ بدهند یعنی از بهترین حالت تا بدترین حالت را شبیه‌سازی کرده است. براساس نتایج مشخص است مقادیر میانگین شاخص اصلاح‌نشده سرزمین برای روش استوری بسیار کمتر از روش خیدیر است، لیکن مقادیر میانگین برای شاخص اصلاح‌شده چه در روش استوری و چه خیدیر تفاوت زیادی با هم ندارند. برای نمونه، در کلاس S2 میانگین شاخص اصلاح‌نشده سرزمین به روش استوری و خیدیر به ترتیب حدود ۲۷ و ۴۳ است که تفاوتی برابر ۱۶ واحد دارند، اما با بکارگیری شاخص اصلاح‌شده این مقادیر به ترتیب حدود ۵۶ و ۵۸ می‌شوند که تنها دو واحد تفاوت دارند. چنین تفاوت‌هایی بویژه برای مقادیر کمینه و بیشینه، بیشتر قابل ملاحظه هستند. برای نمونه مقدار کمینه برای کلاس S3 با روش استوری برابر ۰/۱۵ است ولی پس از اصلاح شاخص سرزمین این مقدار به حدود ۲۷ می‌رسد که با تعریف دامنه S3 (یعنی ۲۵ تا ۵۰) کاملاً هم‌خوانی دارد. همین موارد کافی هستند تا اهمیت کاربرد شاخص اصلاح شده و تفاوت بین نتایج به دست آمده از شاخص اصلاح‌شده با شاخص اصلاح‌نشده به خوبی نمایان شود.

پس از بررسی اجمالی و کلّی فرآیند شبیه‌سازی در ادامه نتایج شبیه‌سازی به دست آمده برای هر کلاس تناسب سرزمین به صورت جداگانه ارایه می‌گردند.

در جدول ۴ شبیه‌سازی برای اعدادی انجام شده است که درجه کمینه (Rmin) عددی بین ۸۵ تا ۱۰۰ و هفت ویژگی دیگر عددی بین Rmin و ۱۰۰ را شامل می‌شوند. با روش محدودیت ساده، کلاس تناسب سرزمین برای این یک میلیون شبیه‌سازی S1 می‌باشد، اما براساس روش تعداد و شدت محدودیت حدود ۲۶ درصد موارد در کلاس S2 جای گرفته‌اند. برای نمونه هرگاه پنج ویژگی مقدار ۹۴ را داشته باشند، در روش تعداد و شدت محدودیت کلاس تناسب سرزمین برابر S2 خواهد بود هرچند بر اساس روش خیدیر مقدار شاخص اصلاح‌نشده و اصلاح‌شده به ترتیب برابر ۸۳ و ۸۹ می‌شوند که بیانگر کلاس S1 هستند.

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های آماری شبیه‌سازی کلاس‌های تناسب سرزمین

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

رویکرد Approach	آماره Statistic	کلاس Class				
		S1	S2	S3	N1	N2
استوری Storrie	Mean	72.24	26.72	6.87	1.93	0.31
	Std. Deviation	16.28	12.04	4.53	1.88	0.61
	Minimum	27.89	2.82	0.15	0.00	0.00
	Maximum	100.00	81.38	55.63	36.69	22.58
	Skewness	0.05	0.44	1.35	2.48	6.32
	Kurtosis	-1.04	-0.54	2.67	10.24	91.02
خیدیر Khiddir	Mean	81.41	43.07	17.67	7.26	1.64
	Std. Deviation	11.26	11.92	6.52	3.65	1.78
	Minimum	48.69	13.04	2.44	0.35	0.00
	Maximum	100.00	82.62	57.82	38.25	23.76
	Skewness	-0.03	0.13	0.51	0.99	1.88
	Kurtosis	-1.05	-0.86	0.00	1.30	5.19
استوری اصلاح‌شده Corrected Storrie	Mean	87.93	55.68	27.44	13.10	0.15
	Std. Deviation	7.08	3.99	1.92	0.59	0.31
	Minimum	68.64	47.76	24.59	12.50	0.00
	Maximum	100.00	73.77	48.16	23.34	11.29
	Skewness	0.05	0.44	1.35	2.48	6.32
	Kurtosis	-1.04	-0.54	2.67	10.24	91.02
خیدیر اصلاح‌شده Corrected Khiddir	Mean	88.35	57.82	30.15	14.72	0.82
	Std. Deviation	7.06	4.88	3.06	1.15	0.89
	Minimum	67.84	45.52	23.00	12.55	0.00
	Maximum	100.00	74.03	48.04	24.14	11.88
	Skewness	-0.03	0.13	0.51	0.99	1.88
	Kurtosis	-1.05	-0.86	0.00	1.30	5.19

جدول ۴- نتایج یک میلیون شبیه‌سازی برای تناسب سرزمین با درجه کمینه (Rmin) بین ۸۵ تا ۱۰۰

Table 4- Results of one million simulations for land suitability with an Rmin value between 85 and 100

کلاس Class	خیدیر (اصلاح‌شده) Corrected-Khiddir		استوری (اصلاح‌شده) Corrected-Storrie		خیدیر (اصلاح‌نشده) Uncorrected-Khiddir		استوری (اصلاح‌نشده) Uncorrected-Storrie		شدت و تعداد Number and intensity	
	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency
S1	98.7	986576	98.5	985291	67.2	672054	43.7	437370	74.1	740535
S2	1.3	13424	1.5	14709	32.8	327944	47.5	475051	25.9	259465
S3	0	0	0	0	0.0	2	8.8	87579	0	0

نکته بسیار قابل توجه این است که چنانچه از شاخص اصلاح‌نشده استفاده شود در روش استوری ۴۷ و ۹ درصد موارد به ترتیب در کلاس‌های S2 و S3 قرار می‌گیرند، لیکن در روش خیدیر حدود ۳۳ درصد موارد در کلاس S2 جای دارند. اما چنانچه از شاخص اصلاح‌شده استفاده شود در هر دو روش استوری و خیدیر حدود ۹۹ درصد موارد دارای کلاس S1 می‌شوند. بنابراین می‌توان گفت استفاده از شاخص اصلاح‌نشده سرزمین سبب می‌شود درصد قابل توجهی از کلاس تناسب S1 به طور نادرست در کلاس S2 و یا حتی S3 قرار گیرد. این موضوع سبب می‌گردد نتایج به دست آمده از شاخص اصلاح‌نشده با ابهام بسیار زیادی همراه شود، به طوری که در روش استوری بیش از ۵۶ درصد کلاس‌های تناسب به صورت نادرست تعیین می‌شوند.

جدول ۵ شبیه‌سازی برای Rmin بین ۶۰ تا ۸۵ و هفت ویژگی دیگر عددی بین Rmin و ۱۰۰ را نشان می‌دهد. با روش محدودیت ساده، کلاس تناسب سرزمین برای این یک میلیون شبیه‌سازی S2 می‌باشد، اما براساس روش تعداد و شدت محدودیت تنها حدود ۳۷ درصد موارد در کلاس S2 جای گرفته‌اند و ۶۳ درصد موارد دارای کلاس S3 هستند. برای روش استوری وضعیت بسیار بدتر از روش شدت و تعداد محدودیت است به طوری که نتایج به دست آمده برای روش استوری با استفاده از شاخص اصلاح‌نشده تنها در ۳/۵ درصد

موارد کلاس تناسب را S2 نشان داده‌اند. مشکل کاربرد شاخص تناسب سرزمین بدون انجام عملیات تصحیح، جایی بیشتر نمایان می‌گردد که در حدود ۴۹ درصد موارد حتی رده تناسب تغییر کرده و رده نامناسب (N) به دست آمده است به طوری که در ۱۱/۵ درصد موارد کلاس تناسب در بدترین وضعیت یعنی کلاس N2 تعیین شده است. اما چنانچه از شاخص اصلاح‌شده استفاده شود هر دو روش استوری و خیدیر بیش از ۹۵ درصد موارد کلاس تناسب را همان کلاس S2 نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان گفت همانند کلاس S1 (جدول ۴) برای کلاس S2 نیز استفاده از شاخص اصلاح‌نشده سرزمین سبب می‌شود درصد بسیار زیادی از کلاس تناسب به طور نادرست در کلاسی غیر از S2 قرار گیرند، به طوری که در روش استوری بیش از ۹۶ درصد کلاس‌های تناسب نادرست تعیین می‌شوند. حتی در روش خیدیر نیز بیش از ۶۹ درصد تعیین کلاس تناسب به صورت نادرست انجام شده است. از طرف دیگر این احتمال نیز وجود دارد که کلاس تناسب تعیین شده کلاس بهتری را نشان دهد، هرچند این احتمال بسیار کم است اما غیرممکن نیست. برای نمونه استفاده از شاخص اصلاح‌نشده سبب شده است در روش‌های استوری و خیدیر به ترتیب در ۵ و ۲۲۳ مورد، کلاس S1 تعیین گردد. لیکن استفاده از شاخص اصلاح‌شده سرزمین تا حد زیادی مشکل‌های مذکور برطرف شده و با دقت بسیار خوبی (حدود ۹۶ درصد) کلاس تناسب درست تعیین گردیده است.

جدول ۶ شبیه‌سازی برای Rmin بین ۴۰ تا ۶۰ و هفت ویژگی دیگر عددی بین Rmin و ۱۰۰ را نشان می‌دهد. با روش محدودیت ساده، کلاس تناسب سرزمین برای این یک میلیون شبیه‌سازی S3 می‌باشد. براساس روش تعداد و شدت محدودیت نیز همه موارد درست تعیین شده و ۱۰۰ درصد موارد در کلاس S3 جای گرفته‌اند. با استفاده از شاخص اصلاح‌نشده تناسب برای روش استوری تقریبا همه کلاس‌های تعیین شده (۹۹/۸) نادرست بوده‌اند که ۱۰/۸ در کلاس N1 و ۸۸/۸ در کلاس N2 می‌باشند. در روش خیدیر نیز تنها ۱۴ درصد تعیین کلاس تناسب به صورت درست انجام شده است و دارای کلاس S3 هستند. اما چنانچه از شاخص اصلاح‌شده استفاده شود هر دو روش استوری و خیدیر بیش از ۹۸ درصد موارد کلاس تناسب را همان کلاس S3 نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان گفت همانند کلاس‌های S1 و S2 استفاده از شاخص اصلاح‌نشده سرزمین سبب می‌شود درصد بسیار زیادی از کلاس تناسب به طور نادرست در کلاسی غیر از S3 قرار گیرند. البته همانطور که در جدول ۶ می‌توان دید برای روش‌های استوری و خیدیر به ترتیب در ۵ و ۲۰ مورد، کلاس تعیین شده S2 می‌باشد. به بیان دیگر این امکان نیز وجود دارد که کلاس تعیین شده به اشتباه در کلاس بهتری قرار گیرد اما احتمال آن بسیار بسیار کم است.

جدول ۵- نتایج یک میلیون شبیه‌سازی برای تناسب سرزمین با درجه کمینه (Rmin) بین ۶۰ تا ۸۵

Table 5- Results of one million simulations for land suitability with an Rmin value between 60 and 85

کلاس Class	خیدیر (اصلاح‌شده) Corrected-Khiddir		استوری (اصلاح‌شده) Corrected-Storrie		خیدیر (اصلاح‌نشده) Uncorrected-Khiddir		استوری (اصلاح‌نشده) Uncorrected-Storrie		شدت و تعداد Number and intensity	
	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency
S1	0	0	0	0	0.0	223	0.0	5	0	0
S2	96.0	960179	95.4	953541	30.9	308664	3.5	35335	36.7	366983
S3	4.0	39821	4.6	46459	63.7	637111	47.1	471307	63.3	633017
N1	0	0	0	0	5.4	54002	37.8	378057	0	0
N2	0	0	0	0	0	0	11.5	115296	0	0

جدول ۶- نتایج یک میلیون شبیه‌سازی برای تناسب سرزمین با درجه کمینه (Rmin) بین ۴۰ تا ۶۰

Table 6- Results of one million simulations for land suitability with an Rmin value between 40 and 60

کلاس Class	خیدیر (اصلاح‌شده) Corrected-Khiddir		استوری (اصلاح‌شده) Corrected-Storrie		خیدیر (اصلاح‌نشده) Uncorrected-Khiddir		استوری (اصلاح‌نشده) Uncorrected-Storrie		شدت و تعداد Number and intensity	
	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency
S2	0	0	0	0	0.0	20	0.0	9	0	0
S3	98.3	982530	98.0	979626	14.0	139932	0.4	3693	100.0	1000000
N1	1.7	17470	2.0	20374	62.2	622293	10.8	108521	0	0
N2	0	0	0	0	23.8	237755	88.8	887777	0	0

جدول ۷ شبیه‌سازی برای Rmin بین ۲۵ تا ۴۰ و هفت ویژگی دیگر عددی بین Rmin و ۱۰۰ را نشان می‌دهد. با روش محدودیت ساده، کلاس تناسب سرزمین برای این یک میلیون شبیه‌سازی N1 می‌باشد. براساس روش تعداد و شدت محدودیت نیز همه موارد درست تعیین کلاس شده و ۱۰۰ درصد موارد در کلاس N1 جای گرفته‌اند. با استفاده از شاخص اصلاح‌نشده تناسب برای روش استوری تقریبا همه کلاس‌های تعیین شده (۹۹/۸) نادرست بوده‌اند و دارای کلاس N2 می‌باشند. در روش خیدیر نیز تنها ۹ درصد تعیین کلاس تناسب به صورت درست انجام شده است و دارای کلاس N1 هستند. نکته قابل توجه اینجاست که چنانچه از شاخص اصلاح‌شده استفاده شود هر دو روش استوری و خیدیر بیش از ۵/۹۹ درصد موارد کلاس تناسب را به اشتباه کلاس N2 نشان می‌دهند. به بیان دیگر استفاده از شاخص اصلاح‌شده نه تنها سبب بهبود شرایط نشده است بلکه درصد کلاس‌های نادرست را افزایش داده است. باقری (۴) 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. به همین دلیل ایشان روابط جدیدی را برای تعیین کلاس‌های N1 و N2 ارایه کردند (جدول ۲). بر اساس رابطه ارایه شده توسط باقری (۴) شاخص تناسب اصلاح گردید و همانطور که در جدول ۷ می‌توان دید با استفاده از این شاخص اصلاح‌شده همه موارد به درستی در کلاس N1 قرار گرفته‌اند.

جدول ۸ شبیه‌سازی برای Rmin بین صفر تا ۲۵ و هفت ویژگی دیگر عددی بین Rmin و ۱۰۰ را نشان می‌دهد. با روش محدودیت ساده، کلاس تناسب سرزمین برای این یک میلیون شبیه‌سازی N2 می‌باشد. براساس روش تعداد و شدت محدودیت نیز همه موارد درست تعیین کلاس شده و ۱۰۰ درصد موارد در کلاس N2 جای گرفته‌اند. برای کلاس N2 تفاوتی بین شاخص اصلاح‌نشده و شاخص اصلاح‌شده وجود ندارد و بنابراین نتایج آن یکسان هستند. برای روش استوری تقریبا همه کلاس‌های تعیین شده (۹۹/۸) درست بوده‌اند و دارای کلاس N2 می‌باشند. البته این احتمال نیز وجود دارد که کلاس تناسب تعیین شده کلاس بهتری را نشان دهد، هرچند این احتمال بسیار کم است اما غیرممکن نیست. برای نمونه استفاده از شاخص اصلاح‌نشده و همچنین شاخص اصلاح‌شده سبب شده است در روش‌های استوری و خیدیر به ترتیب در ۱۰۷ و ۵۵۶ مورد، کلاس N1 تعیین گردد. هرچند این نتایج قابل قبول هستند اما باقری (۴) نشان داد روابط ارایه شده توسط سایز تمایزی بین شاخص اصلاح‌شده و اصلاح‌نشده نمی‌گذارند. همچنین این روابط منجر به اعدادی می‌شوند که در دامنه تعریف شده برای کلاس N2 (یعنی بین صفر تا ۵/۱۲) نیستند. بنابراین ایشان روابط جدیدی را برای تعیین کلاس N2 ارایه کردند (جدول ۲). بر اساس رابطه ارایه شده توسط باقری (۴) شاخص تناسب اصلاح گردید و همانطور که در جدول ۸ می‌توان دید با استفاده از این شاخص اصلاح‌شده همه موارد به درستی در کلاس N2 قرار گرفته‌اند.

جدول ۷- نتایج یک میلیون شبیه‌سازی برای تناسب سرزمین با درجه کمینه (Rmin) بین ۲۵ تا ۴۰

Table 7- Results of one million simulations for land suitability with an Rmin value between 25 and 40

کلاس Class	باقری Bagheri		خیدیر (اصلاح‌شده) Corrected-Khiddir		استوری (اصلاح‌شده) Corrected-Storrie		خیدیر (اصلاح‌نشده) Uncorrected-Khiddir		استوری (اصلاح‌نشده) Uncorrected-Storrie		شدت و تعداد Number and intensity	
	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency
S3	0	0	0	0	0	0	0.0	436	0.0	26	0	0
N1	100.0	1000000	0.5	4662	0.0	113	9.0	90121	0.2	2247	100.0	1000000
N2	0	0	99.5	995338	100.0	999887	90.9	909443	99.8	997727	0	0

جدول ۸- نتایج یک میلیون شبیه‌سازی برای تناسب سرزمین با درجه کمینه (Rmin) بین ۰ تا ۲۵

Table 8- Results of one million simulations for land suitability with an Rmin value between 0 and 25

کلاس Class	باقری Bagheri		خیدیر (اصلاح‌شده) Corrected-Khiddir		استوری (اصلاح‌شده) Corrected-Storrie		خیدیر (اصلاح‌نشده) Uncorrected-Khiddir		استوری (اصلاح‌نشده) Uncorrected-Storrie		شدت و تعداد Number and intensity	
	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency	%	فراوانی Frequency
N1	0	0	0.1	556	0.0	107	0.1	556	0.0	107	0	0
N2	100.0	1000000	99.9	999444	100.0	999893	99.9	999444	100.0	999893	100.0	1000000

یافته‌های به دست آمده از فرآیند شبیه‌سازی برای هر کلاس با بسیاری از پژوهش‌ها هم‌خوانی دارد. برای نمونه برخی از پژوهش‌ها با مقایسه روش خیدیر و روش استوری با روش محدودیت ساده بیان کرده‌اند روش خیدیر نسبت به روش استوری انطباق بیشتری با روش محدودیت ساده دارد (۲ و ۱۰). نتایج شبیه‌سازی پژوهش کنونی نیز چنین نتیجه‌ای را نشان می‌دهند. اگر در جدول‌های ۴ تا ۸ دقت گردد، می‌توان دید که در همه مواد مقدار انطباق روش ریشه دوم با محدودیت ساده بیشتر از انطباق روش استوری با محدودیت ساده است. برای نمونه در کلاس S1 (جدول ۴) به ترتیب برای روش خیدیر و استوری مقدارهای ۶۷/۲ و ۴۳/۷ به دست آمده است که نشان می‌دهد روش خیدیر بیشتر از روش استوری با روش محدودیت ساده هماهنگ است. با وجودی که پژوهش‌ها نشان داده‌اند روش محدودیت ساده و ریشه دوم تا حدی با هم انطباق دارند اما روش ریشه دوم با واقعیت تطابق بیشتری دارد (۳ و ۱۱). از طرفی مقایسه سه روش محدودیت ساده، تعداد و میزان محدودیت و پارامتریک (استوری و ریشه دوم) نشان داده است که روش پارامتریک (ریشه دوم) نسبت به بقیه روش‌ها از دقت و کارآیی بالاتری برخوردار می‌باشد (۱۵ و ۲۷). چنین نتایجی در پژوهش کنونی با مقایسه شاخص اصلاح‌نشده و شاخص اصلاح‌شده سرزمین هم‌خوانی دارد. همانطور که در جدول‌های ۴ تا ۸ دیده می‌شود وقتی شاخص‌ها اصلاح‌شده‌اند مقدارهای مربوط به آنها بسیار به همدیگر نزدیک شده‌اند. برای نمونه در کلاس S2 شاخص سرزمین به روش استوری از ۳/۵ (شاخص اصلاح‌نشده) به ۹۵/۴ (شاخص اصلاح‌شده) افزایش یافته اما برای روش خیدیر از ۳۰/۹ (شاخص اصلاح‌نشده) به ۹۶/۰ (شاخص اصلاح‌شده) رسیده است. به بیان دیگر می‌توان گفت روش خیدیر نسبت به استوری به واقعیت نزدیکتر بوده است. البته این بدان معنی نیست که همواره روش خیدیر بهتر می‌باشد. از معدود پژوهش‌هایی که نشان داده است روش استوری بهتر از روش خیدیر با واقعیت انطباق دارد پژوهش محمدی و همکاران (۱۴) است. این نتیجه، که برخلاف بسیاری از پژوهش‌های دیگر است، نیز توسط پژوهش کنونی می‌تواند تأیید گردد. چراکه براساس نتایج به دست آمده (جدول‌های ۴ تا ۸) می‌توان به خوبی دید که در برخی موارد ممکن است کلاس تناسب بدتر و یا بهتر از کلاس مورد انتظار باشد. برای نمونه بر اساس روش خیدیر برای کلاس S2 در ۲۰ مورد، کلاس تناسب به اشتباه S1 برآورد شده است. این دقیقاً همان اتفاقی است که در پژوهش محمدی و همکاران (۱۴) رخ داده و در جایی که کلاس تناسب براساس مشاهدات میدانی و نیز روش استوری S2 بوده اما روش خیدیر آنرا کلاس S1 برآورد کرده است. هرچند این رخداد نادر است و براساس بررسی منابع، پژوهش دیگری که نشان دهد روش استوری بهتر است یافت نشد، اما با آنچه در این پژوهش شبیه‌سازی شده و نشان می‌دهد که چنین احتمالی بسیار کم است، هم‌خوانی دارد. از نظر تناسب کیفی برخی پژوهش‌ها مانند علمداری و امینیفر (۱) و هاشمی و کیانی (۹) نشان دادند نتایج روش‌های محدودیت ساده و شدت و تعداد محدودیت مشابه یکدیگر هستند. نتایج شبیه‌سازی در پژوهش کنونی نیز نشان می‌دهد بویژه برای کلاس‌های S3، N1 و N2 روش‌های محدودیت ساده و تعداد و شدت محدودیت کاملاً مشابه یکدیگر هستند. از مهمترین یافته‌های این پژوهش اهمیت کاربرد شاخص اصلاح‌شده سرزمین نسبت به شاخص اصلاح‌نشده است. همانطور که در جدول‌های ۴ تا ۸ می‌توان دید تفاوت بسیار زیادی بین روش استوری و روش خیدیر می‌باشد، لیکن زمانی که از شاخص اصلاح‌شده استفاده شده است تفاوت چندانی بین دو روش استوری و خیدیر وجود ندارد. البته برای روش استوری میزان تغییرات شاخص سرزمین با بکارگیری شاخص اصلاح‌نشده و شاخص اصلاح‌شده نسبت به روش خیدیر بسیار بیشتر است. برای نمونه در جدول ۶ شاخص اصلاح‌نشده و اصلاح‌شده برای روش استوری به ترتیب برابر ۰/۴ و ۹۸/۰ است اما این مقدارها برای روش خیدیر به ترتیب برابر ۱۴/۰ و ۹۸/۳ است. یعنی برای روش استوری و روش خیدیر مقدار تغییرات به ترتیب برابر ۹۷/۶ و ۸۴/۳ می‌باشند که نشان دهنده مقدار تغییرات بیشتر برای روش استوری است. از طرف دیگر در حالی که تفاوت روش استوری و خیدیر برای شاخص اصلاح‌نشده برابر ۱۳/۶ واحد است این مقدار برای شاخص اصلاح‌شده به ۰/۳ واحد کاهش یافته است. نتیجه مشابه توسط ثروتی و همکاران (۲۴) و سید جلالی و همکاران (۲۵) به دست آمده است. بنابراین می‌توان گفت استفاده از شاخص اصلاح‌شده تا حد زیادی از اختلاف روش استوری و خیدیر می‌کاهد و منجر می‌شود نتایج به هم نزدیکتر گردند.

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت بکارگیری شاخص اصلاح‌شده سرزمین برای تعیین کلاس تناسب سرزمین بسیار لازم و ضروری می‌باشد. در ارزیابی تناسب سرزمین با روش عددی و یا پارامتریک عدم توجه به تصحیح شاخص سرزمین (شاخص اصلاح‌نشده)، می‌تواند به شدت بر تعیین کلاس تناسب اثر گذاشته و گاه سبب شود نتایج بسیار پرت و نادرستی به دست آیند. یافته‌های این پژوهش نشان دادند تفاوت زیادی که در بسیاری از پژوهش‌ها بین روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی تناسب سرزمین، بویژه در رویکرد عددی یا پارامتریک، به دست آمده است ناشی از بکارگیری شاخص اصلاح‌نشده سرزمین می‌باشد وگرنه نتایج روش‌های گوناگون تا حد قابل توجهی با هم یکسان هستند؛ هرچند به هر حال اندک

تفاوت‌هایی بین روش‌های گوناگون وجود دارد که آن هم به سرشت و پشتوانه نظری آن روش برمی‌گردد. تجزیه و تحلیل به دست آمده از پنج میلیون بار شبیه‌سازی، نشان داد تفاوت‌ها و اختلاف‌هایی که در پژوهش‌ها در زمینه کاربرد روش‌های گوناگون ارزیابی تناسب سرزمین وجود دارند از نظر ریاضی و احتمالات کاملاً منطقی و درست هستند و نباید یافته یک پژوهش را دلیلی برای رد و یا قبول پژوهش دیگر دانست؛ چراکه ممکن است یافته‌های دو پژوهش که صددرصد مخالف یکدیگر هستند، هر دو درست باشند اما احتمال رخداد هر کدام متفاوت باشد. بر اساس یافته‌های این پژوهش مشخص گردید استفاده از شاخص اصلاح‌شده تا حد زیادی منجر به نزدیکتر شدن نتایج روش‌های گوناگون به یکدیگر می‌شود به طوری که بین روش استوری و خیدیر تفاوت قابل توجهی به چشم نمی‌خورد. به طور کلّی نتایج روش خیدیر نسبت به روش استوری با روش محدودیت ساده نزدیکتر است، هرچند برای شاخص اصلاح‌نشده تفاوت روش‌های خیدیر و استوری بسیار قابل توجه می‌باشد لیکن برای شاخص اصلاح‌شده این تفاوت بسیار ناچیز می‌گردد.

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(1): 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. Journal of Water and Soil Science 5(1): 57-76. (In Persian with English abstract)
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 & Forestry 64(4): 263-276.
4- Bagheri Bodaghabadi M. 2020. Assessment of corrected land index in land suitability evaluation and adjusting its functions. Journal of Water and Soil 34(6). (In Persian with English abstract, in press)
5- Bagheri Bodaghabadi M., Amini A., M.H. Salehi Hosseinifard J., and Heydari M. 2019. Suitability analysis and evaluation of pistachio orchard farming, using canonical multivariate analysis. Scientia Horticulturae 246: 528-534.
6- Bagheri M. 2011. Applied Land Evaluation and Land Use Planning. Pelk Publications. 392 p. (In Persian)
7- Delsouz Khaki B., Honarjoo N., Davatgar N., Jalalian A., and Torabi Gol Sefidi H. 2018. Land Suitability Evaluation and Inherent Soil Fertility Quality for Rice Cultivation in Paddy Fields of Shaft and Fouman Counties. Iranian Journal of Soil Research, 32(1), 115-127. doi: 10.22092/ijsr.2018.116566. (In Persian with English abstract)
8- Habibie M.I., Noguchi R., Shusuke M., and Ahamed T. 2019. Land suitability analysis for maize production in Indonesia using satellite remote sensing and GIS-based multicriteria decision support system. GeoJournal, 31p.
9- 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 with English abstract)
10- 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, Tehran, Soil Conservation and Watershed Management Research Center. (In Persian)
11- 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. Water and Soil Science 24(3): 121-132. (In Persian with English abstract)
12- 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.
13- Kim H., and Shim K. 2018. Land suitability assessment for apple (*Malus domestica*) in the Republic of Korea using integrated soil and climate information, MLCM, and AHP. International Journal of Agriculture & Biology Engineering 11(2): 139–144.
14- Mohammadi A., Pashaei I.A., and Sadeghi S. 2007. Evaluation of soil quality fit for major agricultural products in Gonbad Kavous region. Agricultural Sciences and Natural Resources 14(5): 111-99. (In Persian with English abstract)
15- Momtaz H., Jafarzadeh Neyshabouri. 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 with English abstract)
16- Moravej K., Delavar M., and Najafi V. 2018. Importance of Using Modern Irrigation Methods in Increase of Employment and Development of Rural Areas. Geores 33(2):175-190. (In Persian with English abstract)
17- Mosleh Z., Salehi M.H., Amini Fasakhodi A., Jafari A., Mehnatkesh A., and Esfandiarpoor Borujeni I. 2017. Sustainable allocation of agricultural lands and water resources using suitability analysis and mathematical multi-objective programming. Geoderma 303: 52-59.

18- Mosleh Z., Salehi M., Jafari A., Mehnatkesh A., and Esfandiarpoor 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). Journal Of Water And Soil 32(1): 87-99. (In Persian with English abstract)
19- Movahedi Naeini S. 1993. Evaluation of land suitability of important agricultural products in Gorgan region. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 217 p. (In Persian with English abstract)
20- 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.
21- 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
22- 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. Iranian Journal of Soil and Water Research 50(9): 2275-2287. (In Persian with English abstract)
23- Servati M. 2018. ELECTRE Tri Method Performance on Land Suitability Evaluation in Chalderan Region for Potato. Journal of Water and Soil Conservation 25(1): 271-284. (In Persian with English abstract)
24- 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. Applied Soil Research 3(1): 65-77. (In Persian with English abstract)
25- Seyed Jalali S., Sarmadian F., and Shorafa M. 2014. Comparison of Corrected and Uncorrected Land Indices in Parametric Method of Land Suitability Evaluation. Iranian Journal of Soil Research 28(1): 127-141. (In Persian with English abstract)
26- Seyedmohammadi J., Sarmadian F., Jafarzadeh A., and Ghorbani M.A. 2018. Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops Geoderma 310: 178-190.
27- 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". Agricultural Science 14(4): 69-86. (In Persian with English abstract)
28- Storie R.E. 1978. The Storie Index Soil Rating Revised. Davis,CA, University of California, Division of Agricultural Science, Special Publication No 3203.
29- 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. 247 pp.
30- 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.
31- Yohannes H., and Soromessa T. 2018. Land suitability assessment for major crops by using GIS-based multi-criteria approach in Andit Tid watershed, Ethiopia. Cogent Food & Agriculture 4: 1470481
32- Zeinadini Meymand A., Bagheri Bodaghabadi M., Moghimi A., Navidi N., Ebrahimi Meymand F., and Amirpou M. 2018. Modeling of yield and rating of land characteristics for corn based on artificial neural network and regression models in south of Iran. Desert 23(1): 85-95.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 4, Sept-Oct 2020, p. 961-972

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۹، ص. ۹۷۲-۹۶۱

The Importance of Correcting Land Indices in Determination of Land Suitability Classes

M. Bagheri Bodaghabadi[1]*

Received: 27-04-2020
Accepted: 08-07-2020

Introduction: Land evaluation plays a decisive role in determination of land suitability for the intended uses. For this purpose, various approaches have been proposed, among which the parametric approach is an important one. In this approach, the land index (LI) is calculated using the Khidir (the square root) and/or the Storrie methods, and then the land suitability classes were determined based on the LI. Unfortunately, in many land suitability studies, the LI has been used without any correction, called uncorrected land index (ULI) that led to different results in evaluation of land suitability approaches. The current study shows the importance of the corrected land index (CLI) and its effect on land suitability classes.

Materials and Methods: In this study land suitability classes were determined by four methods including 1- simple limitation, 2- number and intensity of limitations, 3- Kiddir (square root) and 4- Storrie, using two cases i.e. the CLI and ULI. Properties and criteria for determining land suitability classes are shown in Table1. Simple limitation method is based on the Liebig's law or the law of the minimum. Land classes are defined according to the lowest class level of the land characteristics. Number and intensity of limitation method has been described in Table 1. In parametric approach, the ULI is calculated using Kiddir and Storrie methods as shown in equations 1 and 2, respectively. The relationships between ULI and CLI are presented in Table 2.

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

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

Then, a simulation process was done for the eight characteristics involved in calculating the land suitability index. For this purpose, one million random values were considered for each of the S1 to N2 classes; so that the minimum rating (Rmin) was a random number for each class in own defined range (Rating in Table 1) and the other seven characteristics were random numbers between Rmin and 100. For example, in the S2 class, a minimum random number is in the range of 60 to 85 and seven other characteristics were between this Rmin and 100. Finally, a total of five million random simulations were considered.

Results and Discussion: Table 3 shows the results of five million simulations for S1 to N2 classes. Based on the minimum, maximum and mean values obtained, it can be seen that the simulation process is acceptable. These numbers show that the simulations have simulated almost all the cases that may occur in reality, from the best to the worst. Based on the results, it is clear that the mean values of the ULIs or the Storrie method are much lower than the Khiddir ones (Table 3), but there was no significant difference between mean values both in Storrie and Khiddir methods using CLIs. These results are sufficient to conclude the importance of using CLIs and to show the difference between the results obtained from the CLIs and ULIs. Tables 4 to 8 show the results of one million simulations for each suitability class. The present study revealed that the results of the four employed methods using the CLIs are much closer, especially for the Storrie and Khiddir methods. All together, the simple limitation method was more consistent with the Khiddir method. On the other hand, the employed methods differed greatly when the ULIs were used. The analysis of five million simulations has shown that the contradictory results of land evaluation methods in various studies can be quite mathematically logical, but with a different probability.

Conclusion: According to the findings of the current study, it can be illustrated that it is very important and necessary to use the CLIs to determine the land suitability class. The study showed that using the CLIs leads to the closeness of the results of different methods, so that there was no significant difference between Storrie and

1- Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.baghery@areeo.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v34i4.86305

Khiddir methods. In general, the results of the Khidir method are closer to the simple constraint method compared to Storrie. There was a significant difference between the Khiddir and Storrie methods using the ULIs, but the difference was too small and insignificant using the CLIs. Totally, the results of the ULIs may be largely inaccurate, misleading and unrealistic. Therefore, it is strongly suggested that the CLIs be used in determining the suitability classes, and then the results be compared with the observations in the reality.

Keywords: Land suitability evaluation, Simulation, Parametric method