

مقاله پژوهشی

## بررسی شاخص اصلاح شده سرزمین در ارزیابی تناسب سرزمین و تصحیح روابط آن

محسن باقری بداع آبادی<sup>\*۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۱

### چکیده

در ارزیابی تناسب سرزمین با روش پارامتریک، شاخص سرزمین (LI) باید با توجه به مقدار عددی محدودکننده ترین ویژگی یا همان درجه کمینه (Rmin) اصلاح شود و بعد از آن، کلاس تناسب تعیین گردد. توابعی که به منظور اصلاح شاخص سرزمین ارائه شده اند، از دیدگاه ریاضی باید در همه نقاط دارای پیوستگی باشند تا سبب از دست رفتن برخی از اعداد و پیرو آن از دست رفتن کلاس تناسب مربوط به آن اعداد نشوند. روابط ارائه شده توسط سائیس، در نقطه مرزی برای رده N (نامناسب) پیوسته نیستند. بنابراین، استفاده از روابط ارائه شده برای کلاس های N1 و N2 تا حد زیادی می تواند گمراه کننده باشد؛ چرا که توانایی جداسازی کلاس های N1 و N2 را ندارند و در محاسبه این کلاس ها به شدت با مشکل همراه هستند. هدف از این پژوهش ارائه روابط جدیدی است که هم شرط پیوستگی را دارا باشند و هم نتایج حاصل از این روابط در دامنه تعریف شده برای دو کلاس N1 و N2 قرار گیرند. بنابراین، نخست توابع ارائه شده سائیس از نظر ریاضیاتی مورد بررسی قرار گرفتند و تصحیح های مورد نیاز انجام شد. سپس با شبیه سازی عددی، نتایج حاصل بررسی و مقایسه گردیدند. یافته ها نشان دادند برای کلاس های N1 و N2 توابع تصحیح باید به ترتیب به صورت  $(-0.2) \times 0.314$  و  $(LQSI + 12/5 + LSI) \times 0.313 - 0.02$  برای روش خیدیر و  $0.5 LSI + 12/5 + LSI$  برای روش استوری باشند تا هم پیوستگی توابع تصحیح برای همه کلاس ها برقرار باشد و هم شاخص اصلاح شده تناسب سرزمین در دامنه تعریف شده برای هر کلاس قرار گیرد. دستاوردهای دو میلیون بار شبیه سازی نیز درستی توابع به دست آمده را تایید نمودند. بنابراین پیشنهاد می گردد در تعیین کلاس های N1 و N2 به جای روابط سائیس، از روابط ارائه شده در این پژوهش استفاده شود.

### واژه های کلیدی: روش استوری، روش خیدیر، شبیه سازی، کلاس تناسب اراضی

### مقدمه

با توجه به اهداف برای مقایسه کاربردهای گوناگون و مقایسه نیازهای آن ها با ویژگی های سرزمین و تعیین کلاس های فیزیکی تناسب سرزمین، انجام می گیرد (۴).

مطالعات بسیاری در زمینه تعیین تناسب سرزمین برای کشت محصولات گوناگون انجام شده است. از اولین پژوهش ها در این زمینه، پژوهش موحدی نایینی (۱۸) را می توان نام برد. هم اکنون پس از نزدیک به سه دهه همچنان پژوهش های فراوانی در زمینه تناسب سرزمین انجام می شوند. این پژوهش ها بیشتر به همان شکل سنتی خود و بر اساس روش سائیس (۲۵) انجام می گیرند (برای نمونه: ۸ و ۲۶) اما پیشرفت های دانش و فن آوری نیز در این زمینه به کار گرفته شده و با روش های نوین نیز پژوهش های مرتبط با ارزیابی تناسب سرزمین انجام شده اند. از جمله این روش ها می توان روش فاززی (۲)، ۱۱، ۱۹ و ۲۳)، شبکه های عصبی مصنوعی (۳ و ۲۸)، تجزیه و تحلیل چند متغیره متعارف مانند رگرسیون لجستیک و RDA (۵)، تحلیل سلسله مراتبی (۱۳)، روش چند معیاره (۷، ۱۰ و ۲۷) و روش های متعدد دیگر را نام برد. شایان ذکر است در بسیاری از پژوهش ها نیز

امروزه با توجه به رشد جمعیت و فشاری که بر منابع طبیعی وارد می شود، توسعه پایدار نقش بسیار مهمی را در کاربرد درست و بهینه منابع ایفا می کند. توسعه پایدار، به ویژه در بخش کشاورزی، بدون شناخت توان محیطی و پتانسیل سرزمین امکان پذیر نیست. ارزیابی تناسب سرزمین دانشی است که به این مهم می پردازد. تناسب سرزمین عبارت از برآورد کارایی سرزمین برای کاربری های مشخص و به عبارتی تعیین درجه سازگاری سرزمین برای کاربردی ویژه می باشد. در بیان اهمیت ارزیابی تناسب سرزمین همین بس که توسط فائو به عنوان مرحله پنجم از برنامه ریزی کاربری سرزمین و یا آمایش سرزمین معرفی شده است (۹). در این مرحله، ارزیابی تناسب سرزمین

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

\*- نویسنده مسئول: (Email: m.bagheri@areeo.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v34i6.86309

طبقه را نشان می‌دهد.

### تعیین کلاس و زیرکلاس تناسب سرزمین

برای ارزیابی کلاس‌های تناسب سرزمین روش‌های گوناگونی ارائه شده‌اند. روش عددی یا پارامتریک (۲۵) از جمله پرکاربردترین روش‌هایی است که در بسیاری از پژوهش‌های تناسب سرزمین، از جمله منابعی که در مقدمه ارائه شد، مورد استفاده قرار گرفته است.

در روش عددی، ارزیابی ویژگی‌های سرزمین برای کاربرد مورد نظر شامل درجه‌بندی سطوح محدودیت برای ویژگی‌های اقلیمی و ویژگی‌های خاک در دامنه متغیری از صفر تا ۱۰۰ است. اگر یک ویژگی برای کاربرد مورد نظر به‌طور کامل مناسب باشد، مقدار عددی ۱۰۰ و اگر به‌طور 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 (۵ و ۲۵). پس از اینکه مقدار عددی هر ویژگی به‌دست آمد به‌منظور تعیین شاخص تناسب سرزمین، ویژگی‌های مورد سنجش با روش خیدیر یا ریشه دوم (معادله ۱) (۱۲) و یا روش استوری (معادله ۲) (۲۴) به‌صورت 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 عامل؛  $R_{\min}$  = درجه کمینه یا کوچک‌ترین درجه بین عامل‌ها می‌باشند.

در نهایت شاخص‌های به‌دست آمده با استفاده از جدول ۱ تبدیل به کلاس تناسب سرزمین می‌شوند. از نظر ریاضی آشکار و بارز است که روش استوری نسبت به خیدیر معمولاً نتایج را بدتر از واقعیت نشان می‌دهد؛ چرا که عمل ضرب، پی در پی در عددی کوچکتر از یک انجام می‌شود. برای نمونه اگر فرض شود که چهار عامل، درجه ۹۰ دارند و مابقی عامل‌ها، همگی دارای درجه ۱۰۰ هستند؛ در این صورت درجه پایانی ۶۵/۶ می‌شود که این نتیجه، نامعقول و دور از واقعیت است (۴).

در روش خیدیر چون از حاصل ضرب درجه‌ها جذر گرفته می‌شود تا حدی این مشکل تعدیل می‌گردد؛ لیکن همچنان مشکل اصلی باقی است و با افزایش تعداد عوامل دارای محدودیت، شاخص تناسب به‌طور غیرمعقولی کاهش می‌یابد. به‌منظور برطرف شدن این نقیصه، سائیس و همکاران (۲۵) توابعی را ارائه دادند تا شاخص تناسب

نخست با روش مرسوم، یعنی روش سائیس، ارزیابی تناسب سرزمین انجام شده و سپس نتایج حاصل با به‌کارگیری روش‌ها و فناوری‌های نوین مورد پردازش قرار گرفته و اقدام به تعمیم یا تهیه نقشه‌های مربوط گردیده است (۱، ۱۴، ۱۶ و ۱۷). بنابراین، براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های بسیاری که با روش سائیس (۲۵) انجام شده‌اند می‌توان گفت این روش به‌عنوان زیربنایی برای پژوهش‌های دیگر مورد استفاده قرار گرفته است که این موضوع به‌طور ضمنی کارایی قابل قبول روش مزبور را نشان می‌دهد.

در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده بر اساس روش سائیس (۲۵)، شاخص سرزمین<sup>۱</sup> (LI) به همان صورتی که به‌دست آمده، مورد استفاده قرار گرفته است که در واقع شاخص اصلاح‌نشده سرزمین<sup>۲</sup> (UCLI) نام دارد. این در حالی است که براساس روش ارائه شده توسط سائیس (۲۵) این شاخص با توجه به مقدار عددی محدودکننده‌ترین عامل یا درجه کمینه<sup>۳</sup> (Rmin) باید تصحیح شود و به شاخص اصلاح‌شده سرزمین<sup>۴</sup> تبدیل گردد. بر اساس بررسی منابع و پژوهش‌های انجام‌شده مشخص گردید با وجودی که نزدیک به سه دهه است که پژوهش‌های تناسب سرزمین در ایران انجام شده‌اند اما متأسفانه به این مرحله از روش سائیس، یعنی اصلاح شاخص‌های تناسب سرزمین، چندان توجهی نشده است و شاخص‌های اصلاح‌شده سرزمین به‌ندرت مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۵، ۲۰، ۲۱ و ۲۲). با توجه به اینکه هنوز از شاخص‌های اصلاح‌شده سرزمین به‌طور گسترده و در مناطق مختلف استفاده نشده است میزان درستی و اعتبار این شاخص‌ها مشخص نیست. بنابراین، در پژوهش کنونی تلاش شده است میزان درستی و اعتبار روابط و یا تابع‌هایی که برای اصلاح شاخص تناسب سرزمین توسط سائیس (۲۵) ارائه شده‌اند، بررسی گردد و با انجام شبیه‌سازی، شاخص‌های اصلاح‌شده و اصلاح‌نشده مقایسه شوند.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ارزیابی تناسب سرزمین بر اساس رویکرد فائو (۹) مورد بررسی قرار گرفته است. در سامانه طبقه‌بندی تناسب سرزمین با رویکرد فائو، طبقه‌های تناسب سرزمین در چهار سطح مختلف شامل رده، کلاس، زیرکلاس و واحد، دسته‌بندی می‌شوند. سطح رده در این سامانه به دو دسته شامل رده مناسب (S) و نامناسب (N) تقسیم می‌شود. جدول ۱ طبقات گوناگون روش فائو (۹) و ویژگی‌های هر

- 1- Land Index: LI
- 2 - Uncorrected Land Index: UCLI
- 3 - Minimum Rating: Rmin
- 4- Corrected Land Index: CLI

(Rmin)، عددی بین صفر تا ۴۰ بود و هفت عامل دیگر، عددی بین Rmin و ۱۰۰ را به خود اختصاص می‌دادند. این دو میلیون حالت تصادفی، در واقع نماینده‌ای از دو میلیون خاکرخ می‌باشند. سپس براساس روش خریدیر، شاخص تناسب سرزمین (شاخص اصلاح نشده سرزمین) محاسبه شد و با استفاده از روابط ارائه شده ساینس و همکاران (۲۵) و روابط پیشنهادی در این پژوهش، تبدیل به شاخص اصلاح شده سرزمین گردیدند. همه محاسبات مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۰) و اسپیس‌اس (نسخه ۲۴) انجام شدند.

### نتایج و بحث

در جدول ۲ تابع‌های ارائه شده برای اصلاح شاخص تناسب سرزمین و برخی ویژگی‌های مربوطه ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول و نیز جدول ۱ می‌توان دید برای هر کلاس تناسب، کمترین عدد شاخص تناسب که در واقع بدترین حالت موجود برای آن کلاس را نشان می‌دهد، برابر با بزرگ‌ترین عدد شاخص تناسب برای یک کلاس تناسب پایین‌تر است.

به دست آمده اصلاح گردد (جدول ۲). از آنجا که شاخص‌های تناسب سرزمین، عددهایی در بازه [۰، ۱] و یا [۰، ۱۰۰] درصد هستند، شاخص‌های اصلاح شده نیز باید در این بازه قرار بگیرند. این موضوع تنها در صورتی امکان پذیر است که روابط یا تابع‌های ارائه شده برای اصلاح شاخص سرزمین، در دامنه‌های تعریف شده مربوط به هر یک از کلاس‌های سرزمین (S1 تا N2) و همچنین در کل دامنه درجه تناسب سرزمین، یعنی از صفر تا ۱۰۰، پیوسته باشند. بنابراین در پژوهش کنونی با استفاده از مباحث پیوستگی در ریاضی، اقدام به بررسی پیوستگی تابع‌های ارائه شده ساینس و همکاران (۲۵) برای اصلاح شاخص تناسب سرزمین شد. پس از آن 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 ساینس 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 قلیائیت یا برای مناطق مرطوب ۶- CEC، ۷- کاتیون‌ها یا pH و ۸- کربن آلی هستند. بدین منظور تعداد دو میلیون حالت تصادفی برای کلاس‌های N1 و N2 ایجاد شد به طوری که در آن درجه کمینه

جدول ۱- ویژگی‌ها و معیارهای تعیین کلاس‌های تناسب سرزمین

Table 1- Properties and criteria for determining land suitability classes

سطح رده‌بندی		شرح	مقدار شاخص سرزمین		تعداد و شدت محدودیت	درجه‌ی محدودیت
رده	کلاس		Land Index Value			
Order	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 <sup>۱</sup> Temporary unsuitable	25	12.5	محدودیت‌های خیلی شدید قابل اصلاح Very severe limitations which can be corrected	25-40
	N2	نامناسب همیشگی <sup>۲</sup> 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 ویژگی‌های مربوطه برای هر کلاس  
Table 2- The relationships to correct the land index and some characteristics of each class

روش Method	کلاس Class	دامنه CLI+ CLI range	رابطه Relationship	UCLI++		Rmin		دامنه LI# LI range
				کمینه بیشینه Max	کمینه بیشینه Min	کمینه بیشینه Max	کمینه بیشینه Min	
استوری Storie	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 Khiddir	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]
پیشنهادی Proposed	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.

= # شاخص سرزمین؛ \* = شاخص سرزمین استوری؛ \*\* = شاخص سرزمین ریشه دوم (خیدیر)؛ + = شاخص اصلاح شده سرزمین؛ ++ = شاخص اصلاح نشده سرزمین.

ب) محاسبه کمترین شاخص سرزمین برای کلاس S1 با روش استوری:

$$LI = 85 \times \frac{85}{100} \times \frac{85}{100} \times \frac{85}{100} \times \frac{95}{100} \times \frac{95}{100} \times \frac{95}{100} \times \frac{95}{100} = 42/5$$

حال با جای گذاری مقدارهای ۶۰ و ۴۳ در تابع‌های مربوط به اصلاح شاخص تناسب کلاس S1 به ترتیب برای روش خیدیر و روش استوری خواهیم داشت:

شاخص اصلاح شده تناسب برای کلاس S1 با مقدار شاخص تناسب برابر ۶۰ در روش خیدیر

$$CLI = 75 + (SQLI - 60) \times 0.625 = 75 + (60 - 60) \times 0.625 = 75$$

شاخص اصلاح شده تناسب برای کلاس S1 با مقدار شاخص تناسب برابر ۴۳ در روش استوری

$$CLI = 75 + (SLI - 43) \times 0.439 = 75 + (43 - 43) \times 0.439 = 75$$

بنابراین پس از اصلاح کمترین مقدار شاخص سرزمین برای هر دو روش استوری و خیدیر (یعنی اصلاح مقادیر ۴۳ و ۶۰)، مقدار شاخص اصلاح شده برابر عدد ۷۵ به دست آمد که این همان مقدار کمینه شاخص تناسب برای کلاس S1 است (جدول‌های ۱ و ۲).

بیشترین مقدار شاخص سرزمین (شاخص اصلاح نشده) برای کلاس S2 در حالتی است که تنها یک ویژگی دارای محدودیت ساده باشد و دیگر ویژگی‌ها دارای مقدار بیشینه، یعنی برابر یک باشند. بنابراین، بیشترین مقدار شاخص سرزمین برای کلاس S2 به هر دو روش خیدیر و استوری برابر ۸۵ خواهد بود. حال با جای گذاری این

برای نمونه کمترین عدد شاخص تناسب برای کلاس S1 برابر ۷۵ است که این عدد برابر بزرگ‌ترین عدد شاخص تناسب سرزمین برای یک کلاس پایین‌تر از S1، یعنی کلاس S2، می‌باشد. به بیان دیگر، در عدد مرزی ۷۵ کلاس‌های تناسب S1 و S2 دارای پیوستگی می‌باشند. بنابراین، تابع‌های ارایه شده برای اصلاح شاخص تناسب در این نقطه مرزی باید به هم پیوسته باشند؛ به دیگر سخن، در این نقطه باید مقادیر تابع‌های مزبور برابر باشند. برای محاسبات شاخص اصلاح شده سرزمین در این نقطه مرزی باید شاخص تناسب برای بدترین حالت ممکن در کلاس S1 و نیز برای بهترین حالت ممکن در کلاس S2 محاسبه شوند. بدترین حالت ممکن برای کلاس S1 با توجه به جدول ۱ شامل چهار محدودیت ساده می‌شود. بنابراین، کمترین شاخص سرزمین برای هشت ویژگی شامل چهار عدد ۸۵ (کمترین مقدار برای محدودیت ساده) و چهار عدد ۹۵ (کمترین مقدار برای بدون محدودیت) می‌شود و شاخص‌های تناسب سرزمین به روش‌های خیدیر و استوری به ترتیب برابر ۶۰/۱ و ۴۲/۵ خواهند بود که در تابع‌های ارایه شده برای اصلاح شاخص سرزمین به ۶۰ و ۴۳ گرد شده‌اند (جدول ۲). نحوه انجام محاسبات به شرح زیر می‌باشند:

الف) محاسبه کمترین شاخص سرزمین برای کلاس S1 با روش خیدیر:

$$LI = 85 \times \sqrt{\frac{85}{100} \times \frac{85}{100} \times \frac{85}{100} \times \frac{95}{100} \times \frac{95}{100} \times \frac{95}{100} \times \frac{95}{100}} = 60/1$$

$CLI = 50 + (SQLI - 24) \times 0.41 = 50 + (24 - 24) \times 0.41 = 50$   
 شاخص اصلاح شده تناسب برای کلاس S2 با مقدار شاخص تناسب برابر ۱۰ در روش استوری  
 $CLI = 50 + (SLI - 10) \times 0.333 = 50 + (10 - 10) \times 0.333 = 50$   
 (ب) بیشترین مقدار شاخص تناسب (شاخص اصلاح نشده) برای کلاس S3 در هر دو روش خیدیر و استوری برابر ۶۰ می باشد. در نتیجه:  
 شاخص اصلاح شده تناسب برای کلاس S3 با مقدار شاخص تناسب برابر ۶۰ در روش خیدیر  
 $CLI = 25 + (SQLI - 5) \times 0.445 = 25 + (60 - 5) \times 0.445 = 50$   
 شاخص اصلاح شده تناسب برای کلاس S3 با مقدار شاخص تناسب برابر ۶۰ در روش استوری  
 $CLI = 25 + (SLI - 1) \times 0.424 = 25 + (60 - 1) \times 0.424 = 50$   
 براساس تابع های ارایه شده برای مقادیر عددی شاخص های اصلاح نشده، مقدار شاخص اصلاح شده در کلاس های S2 و S3 با یکدیگر برابر شدند و مقدار آنها همان عدد مرزی ۵۰ به دست آمد. بنابراین تابع های ارایه شده برای اصلاح شاخص تناسب در کلاس های S2 و S3 در این نقطه مرزی، دارای پیوستگی می باشند و شاخص اصلاح شده سرزمین هم در دامنه تعریف شده برای کلاس S2 قرار دارند. یعنی  $50 \leq CLI(S2) \leq 75$  (جدول ۲).  
 با توجه به اینکه محاسبات انجام شده برای نقاط مرزی ۵۰، ۲۵ و ۱۲/۵ یکسان می باشد، در ادامه تنها نتایج به دست آمده در جدول (۳) نشان داده شده اند.

مقدار در تابع های مربوط به اصلاح شاخص تناسب کلاس S2 (جدول ۲) به ترتیب برای روش خیدیر و روش استوری خواهیم داشت:  
 شاخص اصلاح شده تناسب برای کلاس S2 با مقدار شاخص تناسب برابر ۸۵ در روش خیدیر  
 $CLI = 50 + (SQLI - 24) \times 0.41 = 50 + (85 - 24) \times 0.41 = 75$   
 شاخص اصلاح شده تناسب برای کلاس S2 با مقدار شاخص تناسب برابر ۸۵ در روش استوری  
 $CLI = 50 + (SLI - 10) \times 0.333 = 50 + (85 - 10) \times 0.333 = 75$   
 همان طور که محاسبات بالا نشان می دهند دستاورد یا نتیجه تابع های ارایه شده برای مقادیر عددی شاخص های اصلاح نشده، در کلاس های S1 و S2 با یکدیگر برابر شدند و مقدار آنها همان عدد مرزی ۷۵ به دست آمد. بنابراین تابع های ارایه شده برای اصلاح شاخص تناسب در کلاس های S1 و S2 در این نقطه مرزی، دارای پیوستگی می باشند.  
 به طور مشابه برای نقاط مرزی ۵۰ و ۲۵ محاسبات به صورت زیر می باشد:

**نقطه مرزی ۵۰ (مرز S2 با S3)**

الف) کمترین مقدار شاخص تناسب (شاخص اصلاح نشده) برای کلاس S2 در روش خیدیر و استوری به ترتیب برابر ۱۰ و ۲۴ می باشد. بنابراین:  
 شاخص اصلاح شده تناسب برای کلاس S2 با مقدار شاخص تناسب برابر ۲۴ در روش خیدیر

جدول ۳- مقادیر شاخص سرزمین در حدود مرزی برای هر کلاس

Table 3- The land index values within the border limits of each class

کلاس Class	بیشینه / کمینه Max / Min	سایس (۲۵) Sys (25)				پیشنهادی Proposed			
		خیدیر Khiddir		استوری Storie		خیدیر Khiddir		استوری Storie	
		UCLI <sup>++</sup>	CLI <sup>+</sup>	UCLI	CLI	UCLI	CLI	UCLI	CLI
S1	Max	100	100	100	100				
	Min	60	75	43	75				
S2	Max	85	75	85	75				
	Min	24	50	10	50				
S3	Max	60	50	60	50				
	Min	5	25	1	25				
N1	Max	40	25	40	25	40	25	40	25
	Min	0	0	0	0	0	12.5	0	12.5
N2	Max	25	25	25	25	25	12.5	25	12.5
	Min	0	0	0	0	0	0	0	0

+: Corrected Land Index; ++: Uncorrected Land Index.

++ = شاخص اصلاح شده سرزمین؛ ++ = شاخص اصلاح نشده سرزمین.

## نقطه مرزی ۲۵ (مرز S3 با N)

در این نقطه به نظر می‌رسد پیوستگی روابط ارایه‌شده ساینس برقرار است. اما در واقع روابط ارایه‌شده منتج به کلاس N1 نمی‌شوند و آنچه به دست می‌آید رده N است، زیرا همانطور که در جدول ۳ می‌توان دید برای کلاس N2 نیز همین نتایج به دست می‌آیند. اگر در جدول ۲ نیز دقت شود برای هر دو کلاس N1 و N2 دامنه شاخص اصلاح‌شده برابر [۰، ۲۵] می‌شوند.

## نقطه مرزی ۱۲/۵ (مرز N1 با N2)

با توجه به جدول‌های ۱ و ۲ برای کلاس N1 کمترین مقدار شاخص تناسب سرزمین برابر ۱۲/۵ می‌باشد، لیکن بر اساس روابط ارایه‌شده توسط ساینس مقدار شاخص اصلاح‌شده برای کلاس N1 حدود صفر به دست می‌آید (جدول ۳). همان طور که دیده می‌شود شاخص اصلاح‌شده سرزمین عددی را به دست می‌دهد که در دامنه تعریف‌شده برای کلاس N1 (بین ۱۲/۵ تا ۲۵) نمی‌باشد. همانطور که نتایج نشان می‌دهند برای هر دو کلاس N1 و N2 شاخص اصلاح‌شده تناسب سرزمین در حالت بهینه برابر ۲۵ شده است. این در حالی است که بر اساس جدول‌های ۱ و ۲ مقدار شاخص تناسب سرزمین در بیشترین مقدار برای کلاس N1 برابر ۲۵ و برای کلاس N2 برابر ۱۲/۵ می‌باشد. به بیان دیگر شاخص اصلاح‌شده سرزمین برای کلاس N2 نیز عددی را به دست می‌دهد که در دامنه تعریف‌شده برای این کلاس (بین صفر تا ۱۲/۵) نمی‌باشد.

بر اساس نتایج به دست آمده آشکارا مشخص است که برای نقاط مرزی ۲۵ و ۱۲/۵ نه تنها پیوستگی روابط ارایه‌شده برقرار نمی‌باشد بلکه استفاده از روابط ارایه‌شده توسط ساینس منتج به اعدادی می‌گردند که در دامنه تعریف‌شده برای کلاس‌های N1 و N2 نیستند. بنابراین نتایج به دست آمده برای کلاس‌های N1 و N2 می‌توانند تا حد زیادی گمراه‌کننده باشند.

به منظور برطرف شدن نواقص اشاره شده برای نقاط مرزی ۲۵ و ۱۲/۵ روابط زیر با توجه به پیوسته بودن روابط در این نقاط و همچنین اینکه شاخص اصلاح‌شده سرزمین در دامنه تعریف‌شده هر کلاس قرار گیرد به دست آمدند:

## کلاس N1 (درجه کمینه بین ۲۵ تا ۴۰ باشد)

روش خیدیر:

$$CLI = 12/5 + (SQLI - 0/2) \times 0/314 \approx 12/5 + SQLI \times 0/314$$

روش استوری:

$$CLI = 12/5 + (SLI - 0/0.2) \times 0/313 \approx 12/5 + SLI \times 0/313$$

## کلاس N2 (درجه کمینه بین ۰ تا ۲۵ باشد)

روش خیدیر:  $0 \leq Rmin \leq 25 \rightarrow CLI = 0/5 \times SQLI$

روش استوری:  $0 \leq Rmin \leq 25 \rightarrow CLI = 0/5 \times SLI$

محاسبات برای این روابط پیشنهادی همانند روابط ساینس انجام شد و نتایج در جدول ۳ آمده‌اند. همانطور که دیده می‌شود در نقطه مرزی برابر ۲۵، پیوستگی روابط ارایه‌شده برای کلاس N1 با کلاس S3 برقرار است و هر دو کلاس شاخص سرزمین برابر ۲۵ دارند. همچنین مقدار شاخص اصلاح‌شده بر اساس روابط پیشنهاد شده دقیقاً در همان دامنه اعداد مربوط به کلاس N1 هستند، یعنی  $CLI \leq 25$  ( $N1 \leq 12/5$ ).

بر اساس جدول ۳ می‌توان دید برای کلاس‌های N1 و N2 در نقطه مرزی ۱۲/۵ شرط پیوستگی برقرار است. چون کمترین مقدار N2 برابر صفر است بنابراین شاخص اصلاح‌شده نیز برابر همان صفر خواهد شد و بدین صورت شرط در دامنه بودن شاخص محاسبه شده نیز برقرار است، یعنی  $CLI(N2) \leq 12/5$ .

با توجه به یافته‌های بالا می‌توان نتیجه گرفت که روابط پیشنهادشده، بهتر با تعاریف ارایه‌شده برای کلاس‌های N1 و N2 (جدول ۱) هم‌خوانی دارند و با استفاده از این روابط، برای همه اعداد شاخص سرزمین در بازه [۰، ۱] هم شرط پیوستگی برای شاخص اصلاح‌شده سرزمین صدق می‌کند و هم شاخص‌های اصلاح‌شده سرزمین در دامنه تعریف‌شده برای هر کلاس قرار می‌گیرند.

در ادامه برای نمایش تصویری تفاوت بین روابط پیشنهادشده و روابط ساینس و همکاران (۲۵)، اقدام به شبیه‌سازی عددی گردید. جدول ۴ برخی ویژگی‌های آماری شبیه‌سازی عددی انجام شده را نشان می‌دهد.

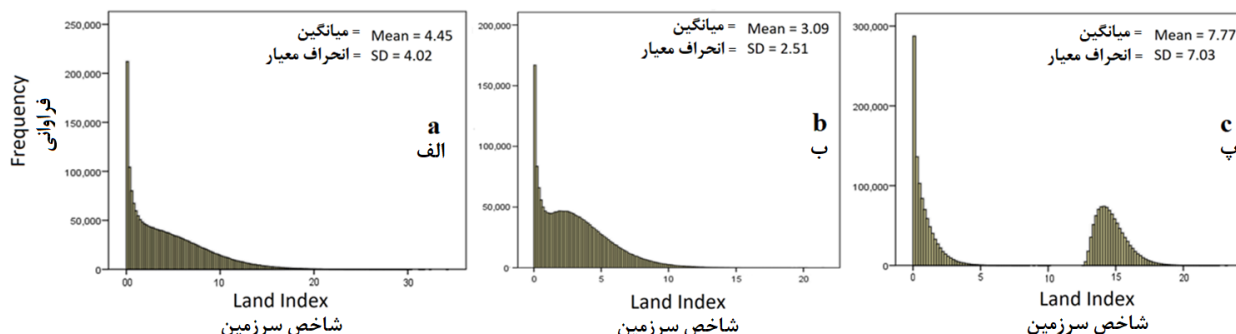
به لحاظ نظری، بیشترین شاخص اصلاح‌نشده سرزمین که رده N و یا در واقع کلاس N1 می‌تواند داشته باشد برابر ۴۰ است، یعنی یک ویژگی دارای مقدار ۴۰ و هفت ویژگی باقی‌مانده، همگی دارای مقدار ۱۰۰ باشند. همان‌طور که نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد و در جدول ۴ می‌توان دید، بیشترین مقدار شاخص اصلاح‌نشده سرزمین حدود ۳۷ است. همچنین کمترین مقدار شاخص اصلاح‌نشده برابر صفر می‌باشد (یعنی کافی است فقط یک ویژگی مقدار صفر داشته باشد) که در شبیه‌سازی انجام‌شده (جدول ۴) نیز کمترین مقدار برابر صفر به دست آمده است. این اعداد نشان می‌دهند که شبیه‌سازی انجام‌شده تقریباً همه حالات ممکن (از بهترین تا بدترین حالت) را در بر گرفته و به خوبی، آنچه ممکن است در واقعیت رخ بدهد را به تصویر کشیده است.

جدول ۴- برخی ویژگی‌های آماری شبیه‌سازی عددی برای شاخص اصلاح شده سرزمین  
Table 4- Some statistical descriptions of the simulation of the corrected land index

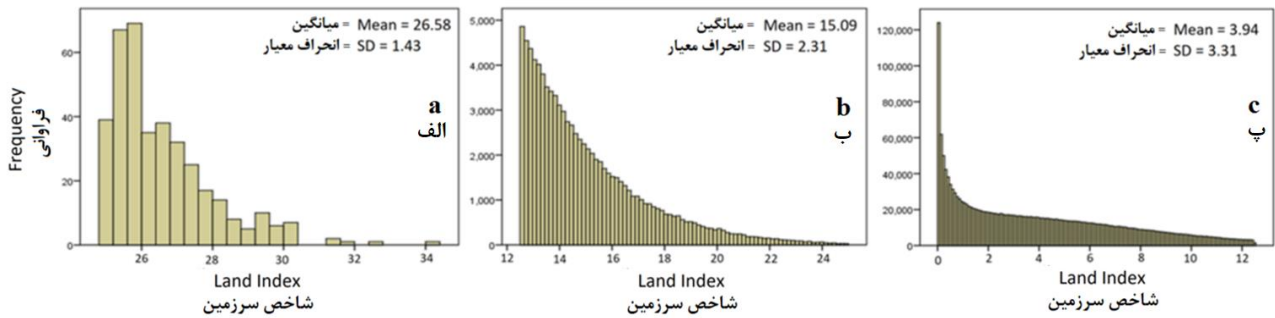
آماره Statistics	UCLI	روش‌ها Methods	
		پیشنهادی Proposed	سایس Sys
شبیه‌سازی‌ها Simulations	2000000	2000000	2000000
میان Median	3.51	11.31	2.66
میانگین Mean	4.45	7.77	3.09
کمینه Minimum	0.00	0.00	0.00
بیشینه Maximum	37.19	24.12	23.25
Std. Deviation انحراف معیار	4.02	7.03	2.51
چولگی Skewness	1.11	-1.91	0.93
Kurtosis افزایشگی	1.10	0.02	0.97

کلاس برای شاخص اصلاح نشده و شاخص اصلاح شده به روش سایس (۲۵)، اقدام به جداسازی این کلاس‌ها از یکدیگر گردید. براساس دامنه‌های تعریف شده در جدول‌های ۱ و ۲، شاخص اصلاح نشده برای برخی از اعداد در دامنه کلاس S3 قرار می‌گیرند؛ یعنی مقدار شاخص اصلاح نشده سرزمین عددی بزرگتر از ۲۵ به دست می‌آید (شکل ۲-ا). به بیان دیگر، در جایی که  $R_{min} \leq 40$  می‌باشد باید شاخص تناسب به دست آمده در دامنه کلاس تناسب N1 و یا N2 قرار گیرد، لیکن چون شاخص تناسب هنوز اصلاح نشده است، برخی از نتایج در کلاس S3 قرار می‌گیرند و دارای شاخص تناسب بزرگتر از ۲۵ می‌شوند (شکل ۲-ا). وجود چنین مواردی می‌توانند در تفسیر نتایج و انطباق آن با واقعیت ابهام ایجاد کنند. به همین دلیل، باید شاخص تناسب اصلاح شود تا نتایج در همان دامنه تعریف شده برای هر کلاس قرار گیرند. شکل ۲ (b و c) توزیع فراوانی شاخص اصلاح نشده تناسب به روش سایس (۲۵) را برای کلاس‌های N1 و N2 نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ می‌توان دید، به‌طور معمول هرچه شاخص تناسب سرزمین بزرگتر می‌گردد، از فراوانی آن کاسته می‌شود.

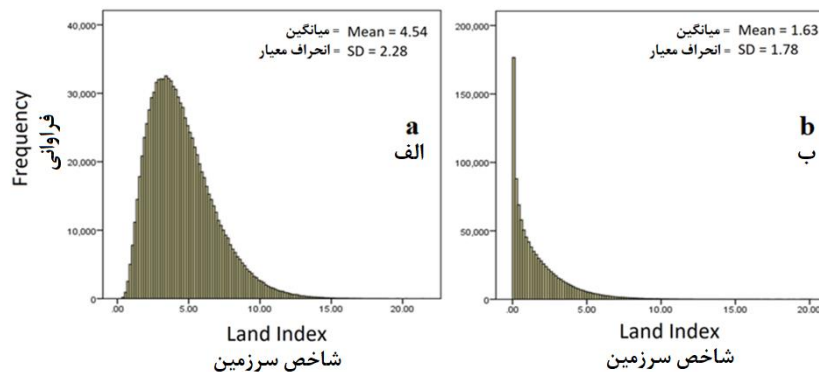
با توجه به میانگین داده‌ها و مقادیر چولگی و افزایشگی می‌توان دریافت که هرچه شاخص سرزمین عدد بزرگتری می‌شود از فراوانی آن کاسته می‌شود و به بیان دیگر احتمال آنکه همه هفت ویژگی دیگر (غیر از درجه کمینه) همزمان در بهترین شرایط قرار بگیرند (یعنی دارای مقادیر نزدیک به یک شوند) بسیار کم می‌باشد. برای درک بهتر، توزیع فراوانی شبیه‌سازی انجام شده برای شاخص اصلاح نشده سرزمین و شاخص‌های اصلاح شده سرزمین به روش سایس (۲۵) و روش پیشنهادی در شکل ۱ ارایه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش مقدار عددی شاخص‌های سرزمین، از فراوانی آن‌ها کاسته می‌شود. نکته بسیار جالب که به‌وضوح در شکل ۱ (a و b) قابل توجه می‌باشد، این است که در شاخص اصلاح نشده سرزمین و شاخص اصلاح شده به روش سایس (۲۵)، هیچ تمایزی بین کلاس‌های N1 و N2 وجود ندارد و برای جداسازی این کلاس‌ها باید به‌صورت دستی و با استفاده از مقادیر درجه کمینه و شاخص اصلاح نشده سرزمین، کلاس‌های N1 و N2 را از هم جدا کرد. اما در روش پیشنهادی این دو کلاس بدون نیاز به پردازش دیگری به‌طور آشکار از همدیگر جدا شده‌اند (شکل ۱- c).  
به‌منظور بررسی توزیع فراوانی شاخص تناسب سرزمین در هر



شکل ۱- توزیع شاخص اصلاح نشده (الف) و شاخص اصلاح شده با روش سایس (ب) و روش پیشنهادی (پ) برای کلاس‌های N1 و N2  
Figure 1- The distribution of the uncorrected land index (a) and corrected land index using Sys's method (b) and proposed method (c) for N1 and N2 classes



شکل ۲- توزیع فراوانی شاخص اصلاح نشده سرزمین با  $R_{min} \leq 40$  که منتج به ارایه کلاس‌های تناسب S3 (الف)، N1 (ب) و N2 (پ)  
 Figure 2- The distribution of the uncorrected land index whit  $R_{min} \leq 40$  resulting classes of S3 (a), N1 (b) and N2 (c)



شکل ۳- توزیع شاخص اصلاح شده سرزمین به روش سایس با  $R_{min} \leq 40$  که منتج به ارایه کلاس‌های تناسب N1 (الف) و N2 (ب)  
 Figure 3- The distribution of the corrected land index whit  $R_{min} \leq 40$  resulting classes of N1 (a) and N2 (b)

است کلاس تناسب به کلاس N2 بیشتر متمایل گردد. این موضوع در شکل ۳-ا به خوبی مشخص است که شاخص اصلاح شده سرزمین برای کلاس N1 بیشتر نمایانگر کلاس N2 می‌باشد و بخش کوچکی از داده‌ها دارای مقادیر بیش از ۱۲/۵ هستند. اما براساس روابط ارایه شده، میانگین شاخص اصلاح شده سرزمین برای کلاس‌های N1 و N2 به ترتیب برابر ۷/۱۴ و ۸/۰ به دست آمده‌اند که در همان دامنه‌های تعریف شده برای این کلاس‌ها قرار دارند. این موضوع در شکل ۳-ب نیز مشخص می‌باشد. با توجه به جدول ۵ می‌توان دید مواردی که برای مقدار میانگین شاخص سرزمین بیان شد، در هر کلاس برای مقادیر کمینه و بیشینه نیز صادق می‌باشد و روابط پیشنهاد شده، نتایج را بهتر و دقیق‌تر از روابط سایس و همکاران (۲۵) ارایه داده‌اند. شایان ذکر است که همه موارد بیان شده برای کلاس تناسب سرزمین می‌باشند و برای بررسی ارتباط بین شاخص اصلاح شده یا اصلاح نشده سرزمین با مقدار واقعی عملکرد نیاز به پژوهش‌های جداگانه می‌باشد.

شکل ۳ نمودار توزیع فراوانی شاخص اصلاح شده سرزمین به روش سایس (۲۵) با  $R_{min} \leq 40$  که منتج به ارایه کلاس‌های تناسب N1 (a) و N2 (b) شده است را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌توان دید مقادیر شاخص اصلاح شده برای کلاس N1 (شکل ۳-ا) تا حد زیادی در دامنه مربوط به کلاس N2 (صفر تا ۱۲/۵) قرار گرفته‌اند.

جدول ۴ برخی ویژگی‌های آماری برای مقدار عددی شاخص‌های تناسب سرزمین در هر کلاس تناسب را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در مورد شاخص اصلاح شده به روش سایس (۲۵) آن است که برخی از اعداد به دست آمده در دامنه تعریف شده برای کلاس مربوطه نمی‌باشند. برای نمونه، دامنه اعداد برای شاخص اصلاح شده تناسب سرزمین در کلاس N1 از ۰/۲۶ تا ۲۳/۲۵ متغیر هستند. از این مهمتر، مقدار میانگین شاخص سرزمین می‌باشد که برای شاخص اصلاح نشده به ترتیب در کلاس N1 و N2 برابر ۱/۱۵ و ۹/۳ می‌باشد اما برای شاخص اصلاح شده به ترتیب برابر ۵/۴ و ۶/۱ شده‌اند. به بیان دیگر استفاده از روابط ارایه شده توسط سایس و همکاران (۲۵) سبب شده



جدول ۵- برخی ویژگی‌های آماری برای مقدار عددی شاخص‌های تناسب سرزمین در هر کلاس تناسب  
Table 5- Some statistical descriptions of the land index values in each suitability class

شاخص تناسب	کلاس	میانگین	حد پایین	حد بالا	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	دامنه	چولگی	افراشتگی
Land Index	Class	Mean	Lower Bound	Upper Bound	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Skewness	Kurtosis
شاخص	S3	26.58	26.44	26.73	1.44	25.01	37.19	12.19	1.55	3.08
اصلاح نشده	N1	15.09	15.07	15.10	2.31	12.50	25.00	12.50	1.34	1.63
UCLI	N2	3.94	3.93	3.94	3.31	0.00	12.50	12.50	0.66	-0.60
سایز	N1	4.54	4.54	4.55	2.28	0.26	23.25	22.99	0.98	1.21
Sys	N2	1.63	1.63	1.64	1.78	0.00	20.11	20.11	1.83	4.52
پیشنهادی	N1	14.72	14.72	14.72	1.15	12.57	24.12	11.55	0.98	1.21
Proposed	N2	0.82	0.82	0.82	0.89	0.00	10.06	10.06	1.83	4.52

### نتیجه گیری

جداسازی کلاس‌های N1 و N2 را ندارند و در محاسبه این کلاس‌ها به شدت با مشکل همراه هستند. به همین دلیل، روابط جدیدی برای کلاس‌های N1 و N2 محاسبه و ارائه گردید. تجزیه و تحلیل به دست آمده از دو میلیون بار شبیه‌سازی، توانایی و دقت روابط پیشنهاد شده را به خوبی نشان داد و برتری روابط پیشنهاد شده نسبت به روابط کنونی (روابط سائیس و همکاران (۲۵)) را اثبات نمود. بنابراین پیشنهاد می‌گردد در تعیین کلاس‌های N1 و N2 افزون بر روابط سائیس و همکاران (۲۵)، روابط ارائه شده در پژوهش حاضر نیز مورد استفاده قرار گیرند و بین هر دو روش مقایسه‌ای صورت پذیرد تا در نهایت روابط مناسب‌تر برای پژوهش‌های آینده مشخص گردند.

استفاده از شاخص سرزمین که به طور مرسوم توسط روش خرید و یا استوری محاسبه می‌شود (شاخص اصلاح نشده)، بدون آنکه مورد اصلاح قرار گیرد و به شاخص اصلاح شده سرزمین تبدیل گردد، می‌تواند تا حد زیادی گمراه کننده باشد و سبب شود کلاس تناسب، نادرست به دست آید. بنابراین استفاده از روابطی که برای این منظور (اصلاح شاخص سرزمین) ارائه شده‌اند پس از محاسبه شاخص سرزمین بسیار ضروری می‌باشد. یافته‌های این پژوهش نشان دادند که روابط ارائه شده کنونی هر چند در سطح رده، توانایی جداسازی رده نامناسب یا N از کلاس S3 را دارند اما در سطح کلاس، توانایی

### منابع

- Amini Fasakhodi A., Bagheri M., Salehi M., and Hadinezhad A. 2014. Improvement of Resources Management and Quality of Land Suitability Evaluation Maps Using Fuzzy Approach (Case Study: Farrokhsahr- Chaharmahal & Bakhtiari). *Geography and Environmental Planning* 24(4): 195-204. (In Persian with English abstract)
- Alikhah-asl M., and Naseri D. 2018. Ecological land capability evaluation for agriculture and range management using Fuzzy AHP method (Case study: Ghoorichay catchment, Ardabil province). *Journal of Environmental Science and Technology (JEST)*. Online. (In Persian with English abstract)
- Bagheri M., Jelokhani Noaryki M., and Bagheri K. 2018. Investigation of the land potential of Kermanshah province for rainfed wheat cultivation using artificial neural network. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* 8(4): 36-48. (In Persian with English abstract)
- Bagheri M. 2011. *Applied Land Evaluation and Land Use Planning*. Pelk Publications. 392 p. (In Persian)
- Bagheri Bodaghabadi M., Amini A., Salehi M.H., Hosseinifard J., and Heydari M. 2019. Suitability analysis and evaluation of pistachio orchard farming, using canonical multivariate analysis. *Scientia Horticulturae* 246: 528-534.
- Bagheri Bodaghabadi M., José A., Martínez-Casasnovas P., Khalili and Masihabadi M. 2015. Assessment of the FAO traditional land evaluation methods, A case study: Iranian Land Classification method. *Soil and Use Management* 31: 384-396.
- Baroudy A.A. 2016. Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *Catena* 140: 96-104.
- 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. (In Persian with English abstract)
- FAO. 1979. *Soil Survey Investigations for Irrigation*. FAO Soils Bulletin No. 42, Rome. 188p.
- 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* (2019). <https://doi.org/10.1007/s10708-019-10091-5>.

11. Keshavarzi A., Sarmadian F., Heidari A., and Omid M. 2010. Land Suitability Evaluation Using Fuzzy Continuous Classification (A Case Study: Ziaran Region). *Modern Applied Science* 4(7): 72-81.
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. *Int J Agric & Biol Eng*, 11(2): 139-144.
14. Mahdavi M., Esfandiarpour I., and Bagheri M. 2016. Comparison of two fuzzy methods to determine the optimum soil depth in land suitability evaluation for wheat. *Soil Management and Sustainable Production* 6(3): 101-116.
15. 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)
16. Mosleh Z., Salehi M., 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). *Journal Of Water and Soil* 32(1): 87-99. (In Persian with English abstract)
17. Mosleh Z., Salehi M., Hassan 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.
18. 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)
19. Rahmati F., and Kamali A. 2016. Comparison of Four Weighting Methods in Fuzzy-based Land Suitability to Predict Wheat Yield. *Journal of Water and Soil* 31(1): 277-285.
20. 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)
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. *Applied Soil Research* 3(1): 65-77. (In Persian with English abstract)
22. 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)
23. 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.
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. 247 pp.
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.
27. 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.
28. 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.

## Assessment of Corrected Land Index in Land Suitability Evaluation and Adjusting its Functions

M. Bagheri Bodaghabadi<sup>1\*</sup>

Received: 12-07-2020

Accepted: 11-08-2020

**Introduction:** In land suitability evaluation using parametric method, Khiddir or square root method (LQSI) and/or Storrie method (LSI) are employed to calculate land index (LI), then suitability classes could be determined based on the LI. However, the obtained LI should be corrected according to the minimum rating (Rmin) and then the suitability classes should be determined. The existing functions to correct the LI should be mathematically continuous at all points in order to prevent from losing some LIs and their consequent suitability classes. In the functions represented by Sys, there is a continuity for S1 (suitable), S2 (moderately suitable) and S3 (marginal suitable) classes, but for N (unsuitable) the presented functions are not continuous. Therefore, presented functions for N1 and N2 classes can be very misleading since they are not able to distinguish between N1 and N2 classes and have problem to calculate them.

**Materials and Methods:** In this study, the existing functions in the literature were mathematically evaluated for each land suitability classes. Properties and criteria for determining land suitability classes are shown in Table 1. In parametric approach, land index (uncorrected land index) is calculated using Kiddir and Storrie methods as shown in equations 1 and 2, respectively. The relationships between uncorrected land indices and corrected land indices are presented in Table 2.

$$(1) LI = R_{\min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots}$$
$$(2) LI = A \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots$$

According to continuity rules, the necessary corrections were made for N1 and N2 classes. Then numerical simulation was employed to assess the obtained results from the both existing and purposed functions and compared them with one another. For this purpose, one million random values were created 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 and the other seven characteristics were random numbers between Rmin and 100. For example, in the S3 class, a minimum random number is in the range of 40 to 60 and seven other characteristics were between the Rmin and 100. Finally, a total of two million random simulations were created.

**Results and Discussion:** Based on the minimum, maximum and mean obtained values 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. The results showed that for N1 and N2 classes the correction functions should be respectively  $12.5 + 0.314LQSI$  and  $0.5LQSI$  for the Khiddir method and  $12.5 + 0.313LSI$  and  $0.5LSI$  for the Storrie method to maintain the both the continuity of the correction functions for all classes and the corrected land index to be in the defined range for each class. The two million times simulation results also confirmed the accuracy of the obtained functions. Therefore, it is suggested to use the proposed functions in determining N1 and N2 classes instead of Sys's functions.

**Conclusion:** The use of the usual land index, which is conventionally calculated by the Khiddir or Storrie method, called uncorrected land index (UCLI), can be largely misleading without being corrected and converted to the corrected land index (CLI), causing the wrong land suitability classes. Therefore, it is very important to use the relationships that have been developed for this purpose to correct the usual land index. The findings of this study showed that the current functions, although at the order level can distinguish between unsuitable order

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

(\* - Corresponding Author Email: m.bagheri@areeo.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v34i6.86309

(N) from the S3 class, but separation between classes N1 and N2 are very difficult to calculate. For this reason, new relationships for N1 and N2 classes were calculated and presented. Therefore, it is suggested that N1 and N2 classes can be used instead of the relationships presented.

**Keywords:** Khiddir method, Storie method, Simulation