

جایگزینی مؤلفه‌های توافق و عدم توافق کمی و مکانی به جای شاخص کاپا برای ارزیابی دقت نقشه‌های موضوعی مختلف

اکرم صادق‌بیگی^۱

کامران مروج^۲

محمدامیر دلاور^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۷/۱۶

چکیده

در چند دهه اخیر ارزیابی مدل‌ها و نقشه‌های موضوعی مختلف تولیدشده شامل محاسبه درصد صحت یا شاخص کاپای توافق است. این شاخص بیان‌گر نسبت صحیح بوده و فاقد هرگونه اطلاعات مفیدی می‌باشد که بتواند به کارشناسان برای تصمیم‌گیری در زمینه میزان اعتبار مدل ساخته‌شده، کمک کند. لذا نیاز به روش‌های جدید یا تکمیلی که قادر باشند، علاوه بر بیان میزان تطابق و اختلاف دو نقشه، نشان دهند که چه‌طور نقشه‌هایی با دقت بالا ایجاد کنیم، بسیار ضروری است. هدف این پژوهش معرفی و مقایسه شاخص‌های مختلف دو مؤلفه توافق و عدم توافق به‌جای نمایه کاپا در قالب تهیه نقشه رقومی خاک و مقایسه آن با نقشه خاکی می‌باشد که با روش سنتی و رایج تهیه شده است. بدین منظور از تجزیه و تحلیل ماتریس خطای دو نقشه مرجع و رقومی تولیدشده در محیط نرم‌افزار IDRISI SELVA استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد، ارائه سطوح توافق کمی و مکانی مدل به‌دست آمده با اطلاعات مرجع به‌صورت یک ماتریس و تغییر سطوح اطلاعات مکانی و کمی سلول‌های مدل، علاوه بر بیان اختلاف موجود در بین دو نقشه به مفسر کمک می‌کند تا اقدامات لازم برای کاهش میزان اختلاف از لحاظ کمی و مکانی را به‌عمل بیاورد. هرچه مقدار شاخص $(P(m) - K(m))$ بیشتر باشد، میزان نیاز به بازآرایی سلول‌های نقشه مدل بیشتر خواهد بود. از گروه شاخص‌های توافق، توافق بر پایه شانس برابر با $6/7\%$ ، توافق کمی $9/7\%$ و مقدار توافق در سطح پیکسل‌های نقشه $44/3\%$ به‌دست آمد. همچنین در بین شاخص‌های عدم توافق، عدم توافق کمی برابر با $12/8\%$ ، عدم توافق مکانی در سطح پیکسل‌های نقشه $26/5\%$ ، شاخص کاپای استاندارد 53% ، 61% و $K \text{ allocation strata} = 62/5\%$ و $K \text{ allocation} =$ محاسبه گردید. توصیه می‌شود که در زمینه بررسی مدل‌های مکانی تولیدشده با روش‌های مختلف که نیاز به مقایسه با داده مرجع و اعتبارسنجی دارند، از شاخص‌های توافق و عدم توافق کمی و مکانی و مؤلفه‌های آن‌ها استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، بازآرایی مکانی، توافق کمی، عدم توافق مکانی و نقشه‌های موضوعی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان sadeghbeygiakram13@gmail.com

۲- استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان (نویسنده مسئول) kmoravej@znu.ac.ir

۳- دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان amir-delavar@znu.ac.ir

مقدمه

کارشناسان کمک کنند. از این رو اطلاعاتی که شاخص‌های کاپا به دست می‌دهند، به تنهایی برای کارشناسان گمراه‌کننده و دارای کارایی پایینی می‌باشند (Pontius & Millones, 2011: 441; Yilmaz & Aktas, 2018: 93).

به طور کلی ضریب کاپا یک شاخص دقت نبوده و در واقع شاخصی از توافق کلی نیست. با این حال اثر توافقات بر حسب شانس در آن بسیار ناچیز می‌باشد. گاهی اوقات نیز نتایج یک طبقه‌بندی دقیق می‌تواند با طیف بزرگی از مقادیر ضریب کاپا همراه باشد. لذا در مواردی که مقدار آن بزرگ باشد، ممکن است تفسیر نتایج را با منگاره مواجه کند. اما با وجود تمام مسایل ذکر شده، در مطالعات مرتبط با سنجش از دور و مدل‌سازی همچنان استفاده می‌شود (Foody, 2020: 176). برخی از محققین معتقدند، کاربرد نمایه کاپا که به طور مرسوم به صورت سلول به سول مقایسه بین دو نقشه مدل‌سازی شده و مرجع را انجام می‌دهد، برای ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی مناسب نیست (Kantakuma, et al., 2019: 33).

در تحقیقی، ۵ دیدگاه برای نمایه کاپا ارائه شده است:

- ۱- تعیین‌کننده میزان اعتبار میانگین یک کلاس کمی است
- ۲- شاخصی از همبستگی درونی یک کلاس می‌باشد
- ۳- نسبتی از توافق است که در آن اثرات توافق شانس به حداقل رسیده است
- ۴- شاخصی از نسبت توافق مشاهده شده به توافق مورد انتظار است

۵- هنگامی که دو کلاس با یکدیگر ترکیب می‌شوند، کاپای محاسبه شده، یک کاپای میانگین خواهد بود (Warrens, 2015: 3). با عنایت به این که تحقیقات بسیار کمی به طور خاص در مورد این موضوع انجام شده است، هدف از تحقیق حاضر معرفی مؤلفه‌های مختلف توافق و عدم توافق کمی و مکانی به جای شاخص کاپا برای اعتبارسنجی و ارزیابی دقت نقشه‌های رقومی موضوعی مختلف تولید شده و تأکید بر خاتمه استفاده از شاخص کاپای متداول و ارائه شاخص‌های مناسب‌تر و کاربردی‌تر نسبت به آن است که

رایج‌ترین نمایه مورد استفاده برای مقایسه دو نقشه یا دو مدل مختلف با مجموعه‌ای از کلاس‌ها، استفاده از شاخص نسبت طبقه‌بندی صحیح است. نسبت صحت^۱ به دلیل ساده بودن محاسبه و همچنین تفسیر آسان آن محبوبیت فراوانی دارد. از این رو، در مطالعات مختلف برای ارزیابی دقت نقشه‌های رقومی و موضوعی مختلف تولید شده از شاخص‌هایی مانند نمایه توافق کاپا استفاده می‌شود (Jaberg & Guisan, 2001: 1172; Pontius & Millones, 2011: 441;). شاخص‌های کاپا، میزان توافق حاصل از مقایسه دقت طبقه‌بندی مشاهده شده نسبت به دقت مورد انتظار را نشان می‌دهد. توافق به دست آمده عبارت است از:

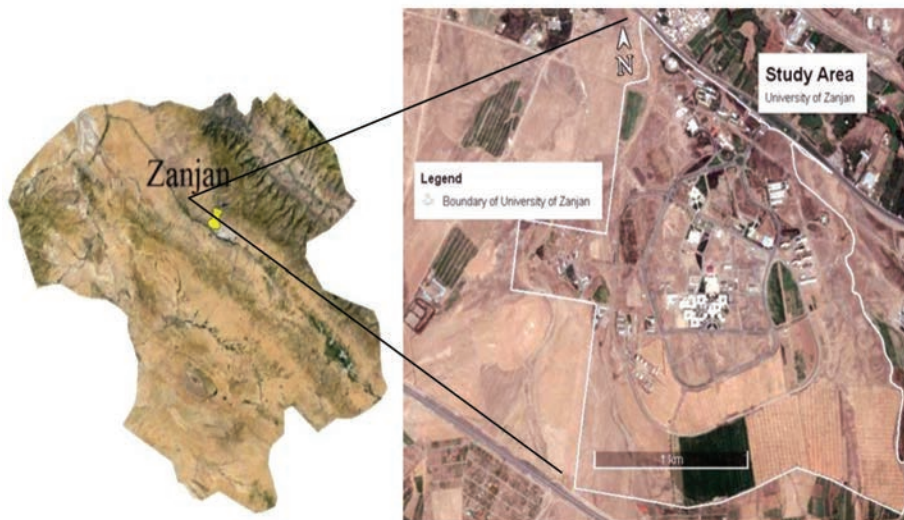
(۱) توزیع تصادفی کمی هر یک از کلاس‌های نقشه تولید شده

(۲) مکان‌های اختصاصی تصادفی هر کدام از آن کلاس‌ها (Pontius & Millones, 2011: 4415). این نمایه‌ها زمانی که عملیات مدل‌سازی کاملاً موفقیت‌آمیز باشد برابر با ۱ خواهند شد و هرگاه کاملاً وابسته به شانس باشد، عدد صفر را نشان می‌دهند (Landis & Koch, 1977:168; Pontius, 2000: 1041). اگر مقدار آن بزرگتر از ۰/۷ باشد، نتیجه طبقه‌بندی قابل قبول و اگر مقدارش برابر یا کمتر از ۰/۴ باشد، همبستگی کمی بین دو نقشه مرجع و نقشه مدل شده وجود خواهد داشت (Mishra et al. 2019: 235).

استفاده از شاخص کاپا به رغم انتقادات زیادی که توسط بسیاری از محققین شده است، اما همچنان و علی‌رغم گذشت چند دهه، ادامه دارد (Allouche et al, 2006: 1225; DI Eugenio & Glass, 2004: 98; Foody, 2008: 3149; Foody, 2004: 629; Foody, 2002: 200; Foody, 2002: 187; Jung, 2003: 482; Turk, 2002: 126; Collingham et al, 2009:25; Jaberg & Guisan, 2001: 1178; Cabeza et al, 2004: 259). اما موضوع مهم این است که شاخص‌های کاپا فقط بیان‌گر نسبت صحیح بوده و فاقد اطلاعات دیگری هستند که بتوانند در ارزیابی دقت و صحت نقشه به دست آمده به

1- Proportion correct

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 جایگزینی مؤلفه‌های توافق و عدم توافق کمی و مکانی ... / ۷۹

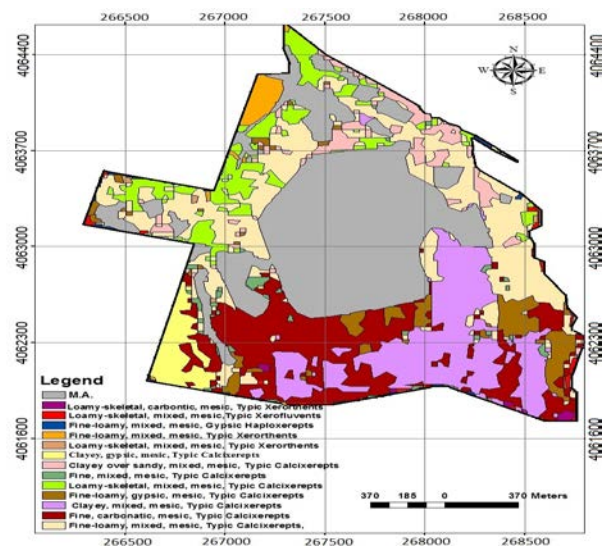


نگاره ۱: محدوده منطقه مورد مطالعه

قرار دارد (نگاره ۱).

برای درک مفاهیم موردنظر و بررسی شاخص‌های توافق و عدم توافق مکانی و کمی از مقایسه یک نقشه رقومی خاک که در آن توزیع احتمال حضور انواع کلاس‌های مختلف خاک (نگاره ۲) با کمک از الگوریتم مدل‌سازی رگرسیون لاجستیک چندجمله‌ای (MLR) به دست آمده (نگاره ۳) و یک نقشه خاک مرجع (صادق‌بیگی و همکاران، ۱۳۹۳) و یک نقشه خاک تهیه شده (۳) که با استفاده از روش‌های مرسوم و متداول تهیه شده است، استفاده شد (آقایاری و همکاران، ۱۳۹۳).

بررسی اعتبارسنجی و تعیین میزان توافق و عدم توافق کمی و مکانی نیز در محیط نرم‌افزار ادریسی نسخه سلوا انجام شد.



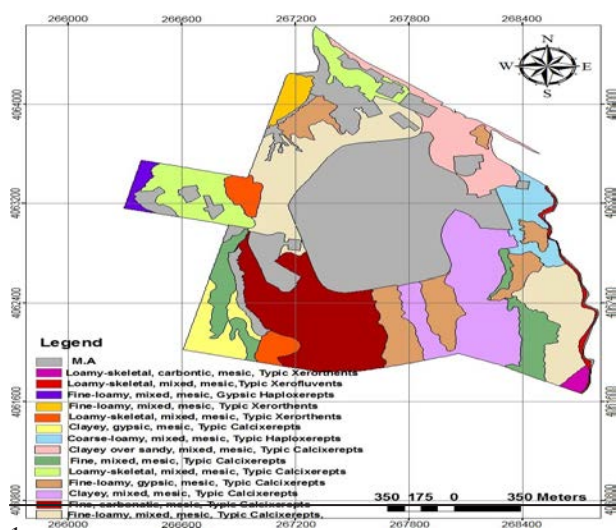
بر پایه دو مؤلفه توافق و عدم توافق کمی و مکانی تمرکز دارند.

نگاره ۲: نقشه رقومی پیش‌بینی کلاس‌های خاک

مواد و روش‌ها

منطقه‌ای که نقشه آن برای بیان مطالب این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، شامل اراضی دانشگاه زنجان در ۵ کیلومتری ابتدای جاده زنجان - میانه و با مساحت ۱۰ هکتار می‌باشد.

این منطقه در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی



1- Multinomial Logistic Regression

۱	۲	۳
۴	۵	۶
۷	۸	۹

(ب)

۱	۲	۳
۴	۵	۶
۷	۸	۹

(الف)

نگاره ۴: الف: نقشه مرجع

ب: نقشه مقایسه

نگاره ۳: نقشه خاک مرجع

خاکستری، به اندازه سه سلول توافق (اختلاف) دارد. این بدان معنی است که سه سلول با کد شناسایی ۸ و ۹ و ۱ در نقشه مورد مقایسه باید به رنگ خاکستری باشند، اما این طور نیست.

چنین عدم توافق مکانی می‌تواند از طریق بازآرایی احتمالی مکانی سلول‌ها در نقشه مقایسه، تعدیل یابد (اصلاح گردد) تا بتواند موافقت یا توافق خود را با نقشه مرجع به حداکثر برساند (۲۲). این بازآرایی احتمالی را می‌توان با جایگزینی سلول شماره ۷ به جای یکی از سلول‌های شماره ۹، ۸ و ۱ در نقشه مقایسه انجام داد و توافق نقشه اصلاح شده با نقشه مرجع را به حداکثر رساند. با مبادله یا جایگزینی مکانی سلول شماره ۷ به جای هر یک از سلول‌های شماره ۹، ۸ و ۱ تفاوت مکانی نقشه مقایسه نسبت به نقشه مرجع از سه سلول (۳ به ۹) به دو سلول (۲ به ۹) کاهش پیدا می‌کند.

در نتیجه توافق بین نقشه‌ها به نسبت ۷ به ۹ یا ۷۷/۷۷ درصد خواهد بود. چراکه اطلاعات حاصل از موقعیت سلول‌های خاکستری و سفید تنها بیان‌گر اختلاف کمی است (۲ به ۹). بنابراین می‌توان گفت که خطا از نظر مکانی زیاد نیست و این خطا را می‌توان با کمک جایگزینی یکی از سلول‌های شبکه اصلاح نمود.

حال اگر آگاهی از اطلاعات کمی و مکانی فوق‌الذکر در سطح متوسطی باشد، می‌توان با افزایش تعداد سلول‌های رنگ خاکستری و کاهش تعداد سلول‌های سفید رنگ، سطح اطلاعات را افزایش داد. اما باید توجه داشت که هر نوع سلول رنگی باید در محل خودش قرار بگیرد. از سوی دیگر، برخی از سلول‌ها می‌توانند ترکیبی از هر دورنگ خاکستری و سفید نیز باشند (Pontius & Chen, 2006).

مفاهیم و مبانی نظری

توافق و عدم توافق مکانی و کمی^۱

برای ساده شدن بحث، دو نقشه با ساختار شبکه‌ای $(3 \times 3)^2$

و با عنوان نقشه مرجع (نگاره ۴: الف) و نقشه مقایسه (نگاره ۴: ب) معرفی می‌شود. نقشه مرجع برای ارزیابی و اعتبارسنجی سلول‌های نقشه مقایسه از نظر مکانی و کمی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

هر نقشه شامل ۹ سلول^۲ است و هر سلول شبکه دارای مقدار عضویت نسبت به دو دسته سفید یا خاکستری است. دامنه عضویت آن بین صفر (بدون عضویت) و یک (عضویت کامل) بوده و عدد داخل هر سلول نیز به منزله کد شناسایی آن سلول است.

منظور از عضویت، نسبتی از یک سلول است که به یک کلاس خاص تعلق دارد. در نتیجه مجموع مقادیر عضویت برای کلیه کلاس‌ها برابر با یک است. همچنین هر سلول شبکه دارای یک وزن معینی با توجه به مقدار عضویتش در هر لایه فرعی خاص است. وزن هر لایه فرعی نیز بین صفر و یک می‌باشد.

عدم توافق در کمی (تعداد) به عنوان اختلاف از نظر مقدار در یک مجموعه است. به عنوان نمونه، نسبت سلول‌های خاکستری به کل سلول‌ها در نقشه مقایسه ۴ به ۹ می‌باشد. اما این نسبت در نقشه مرجع برابر با ۶ به ۹ است. لذا بین این دو نقشه به نسبت ۲ به ۹ اختلاف یا همان عدم توافق کمی وجود دارد. از طرف دیگر نقشه مقایسه‌ای در مقابل نقشه مرجع از لحاظ مکان و موقعیت سلول‌های

1- Agreement and Disagreement Allocation and Quantitative

2- Grid Cell

3- Pixel

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
جایگزینی مؤلفه‌های توافق و عدم توافق کمی و مکانی ... / ۸۱

می‌شود (Pontius & Millones, 2011: 4428). پارامترهای مورد استفاده در نگاره ۵ نیز در جدول ۲ ارائه شده است. برای روشن شدن بهتر ترکیب اطلاعات مکانی و کمی به معرفی مهم‌ترین این شاخص‌ها پرداخته می‌شود (Pontius & Millones, 2011: 4427) (Pontius & Suedmeyer, 2004: 235) (Pontius & Chen, 2006).

اطلاعات کمی

$P(X)$	$\sum_{j=1}^J MIN(R_j, 1/j)$	$\sum_{j=1}^J MIN(R_j, S_j)$	$\sum_{j=1}^J MIN(R_j, R_j)$
$K(X)$	$\frac{\sum_{d=1}^D W_d [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dj}, E_{dj})]}{\sum_{d=1}^D W_d}$	$\frac{\sum_{d=1}^D W_d [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dj}, S_{dj})]}{\sum_{d=1}^D W_d}$	$\frac{\sum_{d=1}^D W_d [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dj}, F_{dj})]}{\sum_{d=1}^D W_d}$
$M(X)$	$\frac{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn} [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dnp}, A_{dnp})]}{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn}}$	$\frac{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn} [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dnp}, S_{dnp})]}{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn}}$	$\frac{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn} [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dnp}, B_{dnp})]}{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn}}$
$H(X)$	$\frac{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn} [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dnp}, E_{dj})]}{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn}}$	$\frac{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn} [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dnp}, S_{dj})]}{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn}}$	$\frac{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn} [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dnp}, F_{dj})]}{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn}}$
$N(X)$	$\frac{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn} [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dnp}, 1/j)]}{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn}}$	$\frac{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn} [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dnp}, S_j)]}{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn}}$	$\frac{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn} [\sum_{j=1}^J MIN(R_{dnp}, R_j)]}{\sum_{d=1}^D \sum_{n=1}^{N(n)} W_{dn}}$
	n	m	p

اطلاعات مکانی

نگاره ۵: فرمول‌های ریاضی مورد استفاده برای محاسبه هر یک از ۱۵ عنصر ماتریس

(Pontius & Suedmeyer, 2004: 245) (Pontius & Chen, 2006)

$N(n)$: توافقی که کاملاً وابسته به شانس است و مقدار عضویت معادل با نسبت $1/J$ برای هر کلاس یا طبقه در هر سلول شبکه است (J برابر با تعداد کل کلاس‌ها یا طبقات شرکت‌کننده در فرآیند تجزیه و تحلیل می‌باشد). به عبارت دیگر هر سلول یا پیکسل نقشه مقایسه به یکی از کلاس‌ها یا طبقه‌بندی‌های انجام شده (J) با احتمال $1/J$ اختصاص دارد. $N(m)$: میزان توافق بین نقشه مرجع و نقشه مقایسه‌ای اصلاح شده را نشان می‌دهد. اما فرایند بازآرایی از طریق انتخاب تصادفی مکان سلول‌های خام انجام می‌شود. همچنین در این حالت، توزیع طبقات یا کلاس‌های مختلف در هر سلول دارای سطح اطلاعات کمی متوسط (m) است. $H(m)$: توافق بین نقشه مرجع و نقشه مقایسه‌ای اصلاح شده را بیان می‌کند. در این شاخص نیز مکان بعضی از سلول‌ها در نقشه مورد مقایسه به صورت کاملاً تصادفی بازآرایی

در مثال ذکر شده، اگرچه در نقشه مقایسه، برخی از سلول‌های سفید می‌توانند ترکیبی از سلول‌های سفید و خاکستری باشند، اما سلول‌های خاکستری به طور کامل خاکستری باقی می‌مانند (منظور سلول‌های ۲، ۳ و ۶ در نقشه مقایسه است).

به بیان دیگر، چون تعداد سلول‌های خاکستری در نقشه مقایسه نسبت به نقشه مرجع کمتر است، لذا برای هماهنگ شدن دو نقشه، تعداد سلول‌های خاکستری باید ثابت باقی بماند و تعدادی از سلول‌های سفید تبدیل به خاکستری گردند. بنابراین از میان ۵ سلول سفید در نقشه مقایسه، سلول‌های ۱، ۸ و ۹ باید به خاکستری تغییر رنگ دهند (به نسبت ۳ به ۵).

از این رو می‌توان با کمک بازآرایی احتمالی، سلول ۷ را جایگزین یکی از سلول‌های ۱، ۸ و ۹ نمود تا اختلاف از سه پنجم به دو پنجم کاهش یابد. در نهایت اگر مقدار تعداد کل سلول‌های رنگ خاکستری و سفید در دو نقشه مقایسه و مرجع برابر شود، علت هرگونه عدم توافق بین دو نقشه، خطای مکانی خواهد بود (Pontius & Suedmeyer, 2004: 249).

سطوح مختلف اطلاعات مکانی و کمی در قالب توافق و عدم توافق

در این روش اعتبارسنجی، ارزیابی و مقایسه دو نقشه در سطوح مختلف اطلاعات مکانی و کمی بررسی می‌گردد و نتایج به نگاره یک ماتریس، نمایش داده می‌شوند.

این ماتریس همواره متنگاره از پنج سطر و سه ستون (۱۵ عنصر) است که در آن شاخص‌ها و پارامترهای آماری مختلفی در قالب میزان توافق مکانی و کمی بین دو نقشه و به نگاره عناصر مختلف ماتریس محاسبه می‌شود. روابط ریاضی مورد استفاده برای محاسبه هر یک از آن‌ها در نگاره ۵ ارائه شده است (Pontius & Suedmeyer, 2004: 250).

این روش بین خطای کمی و مکانی تفاوت قائل می‌شود. بنابراین، سطوح اطلاعاتی مورد استفاده در شاخص‌های توافق و عدم توافق کمی و مکانی به صورت جدول ۱ بیان

جدول ۱: سطوح مختلف اطلاعاتی مورد استفاده در شاخص‌های توافق و عدم توافق کمی و مکانی

(Pontius & Chen, 2006)

سطوح مختلف اطلاعات کمی		
p: اطلاعات کامل	m: اطلاعات متوسط	n: بدون اطلاعات
سطوح مختلف اطلاعات مکانی		
N(x): بدون اطلاعات.		
H(x): اطلاعات مربوط به سطح کلاس‌های طبقه‌بندی متوسط اما فاقد اطلاعات در سطح سلول‌های شبکه است.		
M(x): اطلاعات مربوط به سطح کلاس‌های طبقه‌بندی متوسط و سطح سلول‌های شبکه متوسط است.		
K(x): اطلاعات مربوط به سطح کلاس‌های طبقه‌بندی متوسط اما اطلاعات در سطح سلول‌های شبکه کامل است.		
P(x): اطلاعات مربوط به سطح کلاس‌های طبقه‌بندی و اطلاعات در سطح سلول‌های شبکه کامل است.		

جدول ۲: شرح عبارات‌های مورد استفاده در روابط ریاضی

نگاره ۵ (Pontius, 2002: 1043)

پارامتر	تعریف
j	اندکس کلاس یا طبقه
J	تعداد کلاس‌ها یا طبقات اصلی
D	تعداد لایه‌ها یا کلاس‌های فرعی
N _d	تعداد سلول‌هایی که دارای عضویت مثبت در لایه فرعی d
W _{dn}	وزن عضویت سلول n در لایه d (0 ≤ W _{dn} ≤ 1)
W _d	مجموع W _{dn} ها
R _j	نسبتی از کلاس j در تمام نقشه مرجع
S _j	نسبتی از کلاس j در تمام نقشه مقایسه
R _{d,j}	نسبتی از کلاس j در لایه d از نقشه مرجع
S _{d,j}	نسبتی از کلاس j در لایه d از نقشه مقایسه
S _{dnj}	مقدار عضویت در کلاس یا طبقه j از سلول شبکه n در لایه فرعی d برای نقشه مقایسه (0 ≤ S _{dnj} ≤ 1)
R _{dnj}	مقدار عضویت در کلاس یا طبقه j از سلول شبکه n در لایه فرعی d برای نقشه مرجع (0 ≤ R _{dnj} ≤ 1)

می‌شود. اما با این تفاوت که هیچ تغییری در مرزهای کلاس‌ها صورت نمی‌گیرد.

M(m): این شاخص نشان‌دهنده توافق بین نقشه مرجع و نقشه مقایسه‌ای اصلاح‌نشده بوده و از اهمیت بیشتری برخوردار است. زیرا هیچ تغییری در آرایش سلول‌های آن داده نمی‌شود و عمدتاً از این شاخص برای گزارش توافق بین دو نقشه استفاده می‌شود.

این پارامتر نسبت سلول‌های نقشه مقایسه که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند را بیان می‌کند. در این شاخص هیچ تغییری یا اصلاحی در نقشه مورد مقایسه صورت نمی‌گیرد. به‌طور کلی شاخص M(m) بیان‌کننده نسبت سلول‌هایی است که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند به کل سلول‌های شبکه نقشه و در نتیجه 1 - M(m) مبین نسبت خطای کل بین نقشه مرجع و مورد مقایسه می‌باشد.

K(m): این شاخص بیانگر توافق بین نقشه مرجع و نقشه اصلاح‌شده می‌باشد. به‌طوری که محل سلول‌ها در داخل هر کلاس نقشه مقایسه به نحوی بازآرایی می‌شود که توافق بین دو نقشه به حداکثر برسد.

در این شاخص نیز مانند پارامتر H(m)، بازآرایی با محدودیت همراه بوده و هیچ تغییری در مرزهای کلاس‌ها رخ نمی‌دهد.

که صورت آن کسر بزرگ بوده یا مخرج آن خیلی کوچک بوده و اگر برعکس این حالت رخ دهد، یعنی نسبت کسر کوچک باشد، مجدداً مشخص نمی‌گردد که صورت خیلی کوچک بوده یا مخرج خیلی بزرگ که باعث وقوع این حالت شده است (Schneider & Pontius, 2001: 83).

جدول ۳: انواع شاخص‌های توافق و عدم توافق موجود بین دو نقشه مورد مقایسه

(Pontius & Suedmeyer, 2004: 246) (Pontius & Chen, 2006).

توضیح شاخص	شاخص
عدم توافق کمی. فاقد اطلاعات در مورد نظم و ترتیب مکانی سلول‌ها	$P(p) - P(m)$
عدم توافق در سطح کلاس‌های طبقه‌بندی	$P(m) - K(m)$
عدم توافق در سطح سلول شبکه	$K(m) - M(m)$
توافق در سطح سلول شبکه	$MAX [M(m) - H(m), 0]$
توافق در سطح کلاس‌های طبقه‌بندی	$MAX [H(m) - N(m), 0]$
توافق کمی	If $MIN [N(n), N(m), H(m), M(m)] = N(n)$, then $MIN [N(m) - N(n), H(m) - N(n), M(m) - N(n)]$, else 0
توافق وابسته به شانس	$MIN [N(n), N(m), H(m), M(m)]$

- گزارش عدم توافق در قالب دو جزء کمی و مکانی هنگام تفسیر نتایج نسبت به بیان تنها یک نسبت صحیح از انواع شاخص‌های کاپا می‌تواند مفیدتر باشد. شاخص‌های عدم توافق، دلایل عدم توافق را بر اساس اطلاعات موجود

$P(m)$: این شاخص نشان‌دهنده توافق بین نقشه مرجع و نقشه اصلاح شده می‌باشد. اصلاح یا بازآرایی با تنظیم مجدد موقعیت کلیه سلول‌های نقشه تولیدشده انجام می‌شود تا توافق مکانی بین دو نقشه به حداکثر ممکن برسد. روش بازآرایی نیز شامل جابه‌جایی مکان سلول شبکه در هر نقطه از نقشه مقایسه‌ای است (به عبارت دیگر، بازآرایی موقعیت سلول‌های شبکه در سراسر مرزها نیز مجاز است). بنابراین $P(m)$ تنها زمانی که توزیع نسبت m در نقشه مورد مقایسه، مشابه توزیع نسبت p در نقشه مرجع باشد، برابر با $P(p)$ خواهد بود ($P(m) = 1$).

$P(p)$: این شاخص نشان‌دهنده توافق کامل است. هر زمان که دو نقشه مرجع و تولیدشده از نظر اطلاعات مکانی و کمی کاملاً با یکدیگر توافق دارند، از این شاخص استفاده می‌شود.

جدول ۳، هفت شاخص مهم از انواع توافق‌ها و عدم توافق‌های مکانی و کمی بین دو نقشه مرجع و مقایسه را به اختصار توصیف و بیان می‌کند. به عنوان نمونه مقدار اختلاف ($P(m) - K(m)$) بدین معنی است که در نقشه مقایسه‌ای اصلاح شده، بعضی از سلول‌ها از لحاظ مکانی و کمی به درستی اصلاح و بازآرایی نشده‌اند. بنابراین می‌توان با انجام تنظیم مجدد سلول‌های شبکه و بازآرایی مرزها، مقدار شاخص $M(m)$ نقشه‌ای که از طریق مدل‌سازی تولیدشده (نقشه رقومی خاک) را به سطح $P(m)$ رساند.

محدودیت‌های شاخص کاپا

در این قسمت با بیان سه دلیل به محدودیت شاخص‌های مختلف کاپا و مفید بودن بیان ماتریسی از مؤلفه‌های مختلف توافق کمی و مکانی پرداخته می‌شود:

هر شاخصی از کاپا بیانگر یک نسبت است که می‌تواند در محاسبات و تفسیر، مشکلاتی را ایجاد کند.

به طور مثال، اگر مخرج این نسبت صفر باشد، غیرقابل تعریف است. بنابراین تفسیر، دشوار و غیرممکن می‌باشد. حال اگر نسبت یک عدد خیلی بزرگ باشد، مشخص نیست

جدول ۴: دامنه توافق برای آماره کاپا

(Landis & Koch, 1977: 170)

ردیف	دامنه کاپا	میزان توافق
۱	$0 < 0/5$	عدم توافق
۲	$0/5 - 0/2$	بسیار ضعیف
۳	$0/2 - 0/4$	ضعیف
۴	$0/4 - 0/55$	متوسط
۵	$0/55 - 0/7$	خوب
۶	$0/7 - 0/85$	بسیار خوب
۷	$0/85 - 0/99$	عالی
۸	$0/99 - 0/1$	کامل - بسیار عالی

لانديس و کوچ (۱۹۷۷) توافق $0/60$ را یک توافق نسبتاً خوب عنوان کرده‌اند (Landis & Koch, 1977: 170). اما آل‌امام (۱۰) توافق $0/60$ را توافق متوسطی می‌داند. از این باب، انتظار می‌رود اختلاف نظر و تنوعی که از سوی محققین مختلف در حین گزارش دامنه توافق شاخص کاپا وجود دارد، استفاده و گزارش این شاخص جهت ارزیابی را با منگاره‌ایی این‌چنینی مواجه سازد (El Emam, 1999: 130).

جدول ۵: دامنه توافق برای آماره کاپا

(El Emam, 1999: 130)

ردیف	دامنه کاپا	میزان توافق
۱	$0 \leq 0/44$	ضعیف
۲	$0/44 - 0/62$	متوسط
۳	$0/62 - 0/78$	خوب
۴	$0/78 <$	عالی

در ماتریس توضیح می‌دهند. لذا، بررسی‌ها بر اساس تغییر سطح اطلاعات می‌تواند برای آگاهی از منابع خطا مفید باشد. اما شاخص کاپا هیچ‌گونه توضیحی در مورد چگونگی بهبود طبقه‌بندی ارائه نمی‌دهد. به بیان دیگر، این شاخص فاقد توانایی در بیان منابع عدم توافق است (Ruelland et al, 2008: 3549; Pontius & Millones, 2011: 4417).

- شاخص‌های کاپا به‌طور جداگانه به بررسی میزان توافق در نقشه تولیدشده می‌پردازند. اما در استفاده از ماتریس، ضمن اینکه میزان توافق و عدم توافق تمام سلول‌ها از لحاظ کمی و مکانی باهم بررسی، مقایسه و گزارش می‌شوند، امکان تصادفی بودن نتایج نیز وجود نخواهد داشت. شاخص کاپای استاندارد^۱ به‌عنوان شاخصی از توافق شانس تعریف می‌شود.

به این معنی که کاپای استاندارد، شاخصی از توافق می‌باشد که برای توجیه توافق مورد انتظار با توجه به مکان تصادفی کلاس‌های نقشه خاک مورد مقایسه نسبت به نقشه مرجع، صرف‌نظر از اختلاف مقداری آن‌ها استفاده می‌شود. بنابراین در کاپای استاندارد علاوه بر این که بررسی‌ها کاملاً تصادفی می‌باشد، به اختلاف کمی توجه زیادی نمی‌شود. اما در کاپای مکانی^۲، توافق فقط از نظر تعداد مکان‌های صحیح که به‌صورت کاملاً تصادفی آرایش یافته‌اند، بررسی می‌شود و توجهی به موقعیت مکانی کلاس‌های نقشه خاک ندارد (Pontius & Millones, 2011: 4424).

- از دیگر دلایل محدودیت شاخص کاپا، می‌توان به متنوع بودن معیارها یا دامنه توافق این شاخص برای گزارش در کارهای پژوهشی اشاره کرد. لانديس و کوچ در سال ۱۹۷۷ معیارهایی از شاخص کاپا جهت ارزیابی و مقایسه معرفی نمودند که در جدول (۴) قابل مشاهده می‌باشد (Landis & Koch, 1977: 170). در حالی که آل‌امام در سال ۱۹۹۹ دامنه‌های توافق کاپا را به‌صورت جدول (۵) معرفی نمود (El Emam, 1999: 130). همان‌طور که ملاحظه می‌گردد اختلاف نظر و سلیقه در هنگام گزارش به‌وجود خواهد آمد.

1- Kstandard

2- Kquantity

نتایج و بحث

و سطح اطلاعات کمی کامل باشد، میزان توافق که در این حالت با شاخص $(M(p))$ بیان می‌شود، برابر با 0.6693 خواهد بود.

در نتیجه می‌توان با همین سطح از اطلاعات کمی و بازآرایی سلول‌های نقشه خاک رقومی از لحاظ مکانی $(P(m))$ ، میزان توافق را افزایش داد (Wundram & Loffer, 2008: 972). در صورتی که هیچ‌گونه اصلاح و بازآرایی در نقشه مورد مقایسه انجام نشود $(M(m))$ میزان توافق همان 0.6069 می‌باشد.

از سوی دیگر میزان عدم توافق مکانی و کمی هر یک به تنهایی و به‌طور جداگانه به ترتیب 0.2648 و 0.1268 را نشان می‌دهند. در نهایت با توجه به جدول ۳، می‌توان رابطه (۱) را ارائه کرد، (Pontius, 2002: 1044):

$$P(p) = 1 > P(m) > K(m) > M(m) > H(m) > N(m) > N(n) > 0$$

رابطه ۱

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، در این روش تجزیه و تحلیل و مقایسه دو نقشه خاک، چهار نوع شاخص کاپا نیز ارائه شده است:

K_{no} : شاخص کاپا برای زمانی که هیچ اطلاعاتی وجود

در فرآیند اعتبارسنجی بین دو نقشه، اکثر محققین به دنبال یافتن پاسخ به دو سؤال مهم هستند: ۱- بین سلول‌های هر کلاس نقشه چه مقدار توافق وجود دارد؟ ۲- چه مقدار توافق بین دو نقشه مدل‌سازی و نقشه مرجع از نظر موقعیت سلول‌ها در هر کلاس وجود دارد؟ مقایسه نقشه خاک مرجع و رقومی، در ماتریس (جدول ۶) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اگر تغییری در نقشه رقومی رخ ندهد، میزان توافق بین دو نقشه خاک با شاخص $(M(m))$ بیان می‌شود که برابر با 0.6069 است.

شاخص $H(m)$ هنگامی که از نظر کمی و مکانی، سطح اطلاعات در کلاس‌های نقشه خاک رقومی، متوسط باشد برابر با 0.4640 شده است. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد اگر نقشه تولید شده اصلاح یا بازآرایی شود، مشروط بر آن‌که سطح اطلاعات کمی، متوسط باقی بماند و تغییری نکند (Jaberg & Guisan, 2001: 1173)، اما میزان اطلاعات مکانی افزایش یابد $(P(m))$ ، میزان توافق دو نقشه افزایش چشمگیری یافته و توافق 0.8717 به دست خواهد آمد. اما اگر میزان اطلاعات مکانی در سطح متوسط باقی بماند (بازآرایی انجام نشود)

جدول ۶: اعتبارسنجی نقشه خاک مرجع و پیش‌بینی شده با استفاده از شاخص‌های توافق و عدم توافق

با توجه به دقت کمی و مکانی

اطلاعات کمی			
اطلاعات مکانی			
Perfect $[P(x)]$	$P(n) = 0.4921$	$P(m) = 0.8717$	$P(p) = 1.000$
Perfect Stratum $[K(x)]$	$K(n) = 0.4921$	$K(m) = 0.8717$	$K(p) = 1.000$
Medium Grid $[M(x)]$	$M(n) = 0.3103$	$M(m) = 0.6069$	$M(p) = 0.6693$
Medium Stratum $[H(x)]$	$H(n) = 0.1667$	$H(m) = 0.4640$	$H(p) = 0.5799$
No $[N(x)]$	$N(n) = 0.0667$	$N(m) = 0.1640$	$N(p) = 0.1799$
شاخص‌های توافق			
توافق بر پایه شانس: 0.0667	توافق کمی: 0.097	توافق مکانی در سطح سلول‌های شبکه: 0.443	
شاخص‌های عدم توافق			
عدم توافق کمی: 0.1283		عدم توافق مکانی در سطح سلول‌های شبکه: 0.2648	
K allocation strata: 0.6089	K allocation: 0.6259	K no: 0.57	K standard: 0.5298

این است که برخی تنها بر توافق تمرکز دارند و معدودی دیگر بر عدم توافق توجه دارند. این تحقیق نتیجه‌گیری می‌کند که تمرکز بر مؤلفه عدم توافق و شاخص‌های مرتبط با آن برای توضیح و پیدا کردن راه حل برای کاهش خطاها مفیدتر از توجه به مؤلفه توافق و شاخص‌های آن می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود ابتدا مؤلفه‌های گوناگون عدم توافق مورد تفسیر قرار گیرند و سپس مؤلفه‌های مختلف توافق بررسی شوند. در این صورت نگرانی‌هایی از این قبیل که شاخص کاپا نتواند آن‌ها را توضیح دهد، کاهش پیدا می‌کند. انتظار می‌رود این روش ارزیابی و اعتبارسنجی، به عنوان یک روش مناسب در مطالعات و پژوهش‌های مختلف که به نوعی با مدل‌سازی و مقایسه با یک لایه مرجع در ارتباط هستند (خصوصاً تهیه و تولید انواع نقشه‌های موضوعی رقومی خاک) مورد استفاده و توجه محققین قرار گیرد.

منابع و مأخذ

- ۱- آقایی، حمید، ۱۳۹۳، تهیه نقشه خاک و ارزیابی دقت جداسازی واحدهای آن در محدوده دانشگاه زنجان، دلاور، محمد امیر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، گروه علوم خاک.
- ۲- صادق‌بیگی، اکرم، ۱۳۹۳، کاربرد تجزیه و تحلیل‌های مدل رقومی زمین برای تولید نقشه رقومی خاک، مروج، کامران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، گروه علوم خاک.
- 3- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology*, 43(6), 1223-1232.
- 4- Cabeza, M., Araújo, M. B., Wilson, R. J., Thomas, C. D., Cowley, M. J., & Moilanen, A. (2004). Combining probabilities of occurrence with spatial reserve design. *Journal of applied ecology*, 41(2), 252-262.
- 5- Collingham, Y.C., Wadsworth, R.A., Huntley, B., & Hulme, P.E. (2000). Predicting the spatial distribution of non-indigenous riparian weeds: issues of spatial scale and

ندارد. در این تحقیق برابر با ۵۷ درصد است. K allocation: شاخص کاپا برای ارزیابی محل قرارگیری سلول شبکه که برای دو نقشه خاک رقومی و مرجع مساوی با ۶۲/۵۹ درصد شد. K allocation strata: شاخص کاپا برای ارزیابی محل قرارگیری کلاس‌های دو نقشه خاک می‌باشد. در این مطالعه میزان انطباق بین کلاس‌های نقشه خاک مدل‌سازی و مرجع برابر با ۶۰/۸۹ درصد شد. K standard: از آن به عنوان شاخص کاپای توافق ذکر می‌شود و همان شاخص رایج در محاسبات (KIA)^۱ می‌باشد که مقدار آن ۵۲/۹۸ درصد به دست آمد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

ارزیابی دقت نقشه‌های رقومی و اعتبارسنجی آن در کارهای پژوهشی و تحقیقاتی یکی از مراحل بسیار مهم و حساس می‌باشد. بنابراین استفاده از شاخص‌های دقیق‌تر دارای اهمیت زیادی است. در گذشته ارزیابی‌ها و اعتبارسنجی‌ها غالباً فقط شامل محاسبه درصد توافق یا کاپای توافق و دقت کلی نقشه بود. اما اکنون، با ورود واژگانی همچون عدم توافق و توافق از دو جنبه کمی و مکانی، پنجره جدیدی در این مورد باز شده است. روش ارزیابی مطرح شده در این تحقیق به کارشناسان کمک می‌کند تا بتوانند نقشه‌هایی با دقت بالاتر تولید کنند. میزان عدم توافق کمی و مکانی و نمایش آن‌ها به صورت یک ماتریس با عنایت به تغییر سطح اطلاعات مکانی و کمی، راهبردی بسیار مناسب در زمینه بررسی صحت انواع روش‌های مدل‌سازی در تولید نقشه‌های رقومی خاک می‌تواند باشد. این روش علاوه بر معرفی و تفسیر منابع خطا (ازلحاظ کمی و مکانی)، در زمینه کاهش خطا نیز اطلاعاتی ارائه می‌دهد. چراکه اکتفای تنها به میزان توافق بدون هیچ تفسیری چندان مفید نمی‌تواند باشد. متأسفانه هنگام گزارش مقدار توافق و یا عدم توافق بین محققین اختلاف نظر وجود دارد. شاید دلیل اختلاف نظرها

1- Kappa Index of Agreement (KIA)

Journal of Remote Sensing and Space Science. 22 (3), 227-238.

18- Pontius, Jr, R.G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 66 (8), 1011-1016.

19- Pontius Jr, R. G. (2002). Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68(10), 1041-1050.

20- Pontius Jr, R. G., & Suedmeyer, B. (2004). Components of agreement between categorical maps at multiple resolutions. Remote sensing and GIS accuracy assessment, 233-251.

21- Pontius Jr, R. G., & Chen, H. (2006). GEOMOD modeling. Clark University.

22- Pontius Jr, R. G., & Millones, M. (2011). Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. International Journal of Remote Sensing, 32(15), 4407-4429.

23- Ruelland, D., Dezetter, A., Puech, C., & Ardoin-Bardin, S. (2008). Long-term monitoring of land cover changes based on Landsat imagery to improve hydrological modelling in West Africa. International Journal of Remote Sensing, 29(12), 3533-3551.

24- Schneider, L. C., & Pontius Jr, R. G. (2001). Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture, Ecosystems & Environment, 85(1-3), 83-94.

25- Turk, G. (2002). Map evaluation and "chance correction". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68(2), 123-133.

26- Warrens, M. J. (2015). Five ways to look at Cohen's kappa. J Psychol Psychother, 5(4), 2-4.

27- Wundram, D., & Löffler, J. (2008). High-resolution spatial analysis of mountain landscapes using a low-altitude remote sensing approach. International Journal of Remote Sensing, 29(4), 961-974.

28- Yilmaz, A. E., & Aktas, S. (2018). Redit and exponential type scores for estimating the kappa statistic. Kuwait Journal of Science, 45(1), 89-99.

extent. Journal of Applied Ecology, 37 (Supplement), 13-27.

6- El Emam, K. (1999). Benchmarking Kappa: Inter rater agreement in software process assessments. Empirical Software Engineering, 4(2), 113-133.

7- Eugenio, B. D., & Glass, M. (2004). The kappa statistic: A second look. Computational linguistics, 30(1), 95-101.

8- Foody, G. M. (1992). On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. Photogrammetric engineering and remote sensing, 58(10), 1459-1460.

9- Foody, G. M. (2002). Statuses of land cover classification accuracy assessment. Remote sensing of environment, 80(1), 185-201.

10- Foody, G. M. (2004). Thematic map comparison. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 70(5), 627-633.

11- Foody, G. M. (2008). Harshness in image classification accuracy assessment. International Journal of Remote Sensing, 29(11), 3137-3158.

12- Foody, G. M. (2020). Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification. Remote Sensing of Environment, 239, 167-179.

13- Jaberg, C., & Guisan, A. (2001). Modelling the distribution of bats in relation to landscape structure in a temperate mountain environment. Journal of Applied Ecology, 38(6), 1169-1181.

14- Jung, H. W. (2003). Evaluating inter rater agreement in SPICE-based assessments. Computer Standards & Interfaces, 25(5), 477-499.

15- Kantakumar, L. N., Kumar, S., & Schneider, K. (2019). SUSM: a scenario-based urban growth simulation model using remote sensing data. European Journal of Remote Sensing, 52(sup2), 26-41.

16- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, 33, 159-174.

17- Mishra, P. K., Rai, A., & Rai, S. C. (2019). Land use and land cover change detection using geospatial techniques in the Sikkim Himalaya, India. The Egyptian

