



کد مجوز نمایه شده  
۰۲۲۳۱-۴۲۴۷۳

## گواهی ارائه مقاله



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
دانشگاه صنعتی اراک

گواهی می‌شود مقاله با عنوان:

**"مقایسه کارایی داده‌های ماهواره‌ای در تغییرات پوشش گیاهی استان خراسان رضوی"**

توسط پژوهشگران محمد غلامی و مرتضی اکبری در چهارمین کنفرانس ملی داده‌کاوی در علوم زمین که در تاریخ ۳۰ بهمن ماه سال ۱۴۰۲ در دانشگاه صنعتی اراک برگزار گردید، پذیرش و ارائه شفاهی شده است. ضمن تشکر از مشارکت ایشان در این کنفرانس، توفیقات روزافزونشان را از خداوند متعال خواستاریم.

دکتر رضا احمدی  
دیرچهارمین کنفرانس ملی داده‌کاوی در علوم زمین



## مقایسه کارایی داده‌های ماهواره‌ای در تغییرات پوشش گیاهی استان خراسان رضوی

محمد غلامی<sup>۱</sup>، مرتضی اکبری<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[m.gholami23feb@gmail.com](mailto:m.gholami23feb@gmail.com)

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد،

مشهد، ایران

[m-akbari@um.ac.ir](mailto:m-akbari@um.ac.ir), [desertology@gmail.com](mailto:desertology@gmail.com)

### چکیده

بررسی پویایی پوشش گیاهی و تغییرات زمانی-مکانی آن مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک کمک فراوانی به شناخت فرایندهای اکوسیستمی می‌کند. فناوری سنجش از دور و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مبتنی بر شاخص‌های پوشش گیاهی در شناخت بهتر تغییرات سطح زمین بسیار کاربردی است. بنابراین، در این پژوهش، جهت مشخص کردن شدت تغییرات پوشش سطح زمین در استان خراسان رضوی، از پنج شاخص پوشش گیاهی  $NDVI$ <sup>۳</sup>،  $GDVI$ ،  $SAVI$ ،  $MSAVI2$  و  $GNDVI$  استفاده شد. اعتبارسنجی نقشه‌های به دست آمده با نقشه کاربری اراضی نیز با استفاده از ماتریس خطا و شاخص کاپا بدست آمد. نتایج نشان داد که دقت شاخص‌های پوشش گیاهی  $MSAVI2$  با  $SAVI$  ۴۴/۶ درصد،  $GNDVI$  با  $SAVI$  ۳۶ درصد و دو شاخص  $NDVI$  و  $GDVI$ <sup>۳</sup> با  $SAVI$  ۳۳/۸ درصد، به ترتیب از بیشترین تا کمترین میزان مطابقت را نشان دادند. لذا پیشنهاد می‌شود جهت ارزیابی پوشش گیاهی برای مقاصد گوناگون در مناطق خشک و نیمه خشک همچون استان خراسان رضوی، از شاخص  $MSAVI2$  و یا شاخص  $SAVI$  که با فاصله کمی از شاخص  $MSAVI2$  دارای بیشترین دقت بوده و تطابق مناسبی با وضعیت پوشش گیاهی را نشان دادند، استفاده شود.

واژگان کلیدی: سنجش از دور، پوشش گیاهی، ماتریس خطا، کاربری اراضی



## ۱-مقدمه

یکی از ویژگی‌های مهم بیوفیزیکی محیط‌های خشک، پوشش گیاهی آن است (Wu, 2014). پوشش گیاهی یک معیار کلیدی برای ارزیابی پویایی فرایند اکوسیستم به شمار می‌آید و کاهش آن به دلیل عوامل طبیعی و یا فعالیت‌های انسانی می‌تواند منجر به تخریب سرزمین و بیابان‌زایی شود (Sayl et al., 2021; Akbari et al., 2022b). با توجه به اهمیت ارزیابی پوشش گیاهی در پایش تغییرات سرزمین در سال‌های گذشته، شاخص‌های زیادی در بستر سنجش از دور برای ارزیابی پوشش گیاهی ابداع شده‌اند که اکثرشان بر پایه باند مادون قرمز نزدیک و باند مرئی قرمز می‌باشند (Xue & Su, 2017). سنجش از دور به فرآیند کسب اطلاعات در مورد یک شی از فاصله دور بدون تماس فیزیکی اشاره دارد (Gruber & Peng, 2023) و تصاویر سنجش از دور چند طیفی شامل ترکیبی از باندها هستند که یک تصویر ترکیبی ایجاد می‌کنند تا برای تفسیر و تحلیل استفاده شوند (Huang et al., 2021) که ترکیب هر کدام از این باندها می‌توانند با ویژگی‌های منحصر به فرد بازتابشان، پوشش سطح زمین مثل پوشش گیاهی را به صورت برجسته‌تر نشان دهند. علاوه بر این، آلبدو که نسبتی از تشعشع تابیده شده خورشیدی است که به سطح زمین برخورد کرده و بازتابیده می‌شود (عمونیا و همکاران، ۲۰۱۹) و افزایش آن در ارتباط مستقیم با تخریب سرزمین است؛ با میزان پوشش گیاهی رابطه عکس دارد (Calabrò & Magazù, 2016) و از طریق سنجش از دور به خوبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

یکی از شاخص‌های مهم پوشش گیاهی که برای ارزیابی تغییرات پوشش سطح زمین کاربرد دارد، شاخص پوشش گیاهی NDVI<sup>1</sup> است (Huang et al., 2021). شاخص NDVI تخمین از سلامت و تراکم پوشش گیاهی را ارائه می‌دهد و به عنوان وسیله‌ای برای نظارت بر تغییرات پوشش گیاهی در طول زمان عمل می‌کند (Lamchin et al., 2016). هرچند این شاخص علاوه بر استفاده گسترده، ایراداتی از قبیل حساسیت به اتمسفر و خاک را در هنگام محاسبه آن از خود نشان داده است (Huang et al., 2021). ذوالفقاری و همکاران (۱۴۰۰)، در مطالعه‌ای که در آن به تعیین شدت بیابان‌زایی در استان سیستان و بلوچستان پرداخته بودند، به این نتیجه رسیدند که همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و آلبدو، منفی می‌باشد و این امر نشان دهنده این است که با افزایش مقدار عددی NDVI، میزان بازتاب نور خورشید از سطح کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر پوشش گیاهی با جذب مقداری از انرژی خورشیدی تابیده شده به سطح، باعث کاهش آلبدو می‌شود. تلاش محققان در جهت اصلاح این شاخص، مخصوصاً در مناطقی با پوشش گیاهی کمتر که خاک نمایان‌تر می‌باشد، به ایجاد شاخص‌های دیگری همچون SAVI<sup>2</sup>، انجامیده است. شرایط پس‌زمینه خاک تأثیر قابل توجهی بر طیف‌های تاج‌پوشش جزئی و شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه شده دارد؛ یک تاج پوشش گیاهی مقدار قابل توجهی از بازتاب باند مادون قرمز را به سطح خاک اطراف می‌پراکند و منتقل می‌کند و خاک زیر و همچنین فاصله بین گیاهان را تحت تأثیر تابش، قرار می‌دهد (Huete, 1988). SAVI، این اثرات مرتبط

1 Normalized Difference Vegetation Index  
2 Soil Adjusted Vegetation Index



با خاک را تعدیل می‌کند. شاخص‌هایی نظیر  $ARVI^1$  هم به جهت کاهش اثرات اتمسفری پیشنهاد شده‌اند (Kaufman & Tanre, 1992).

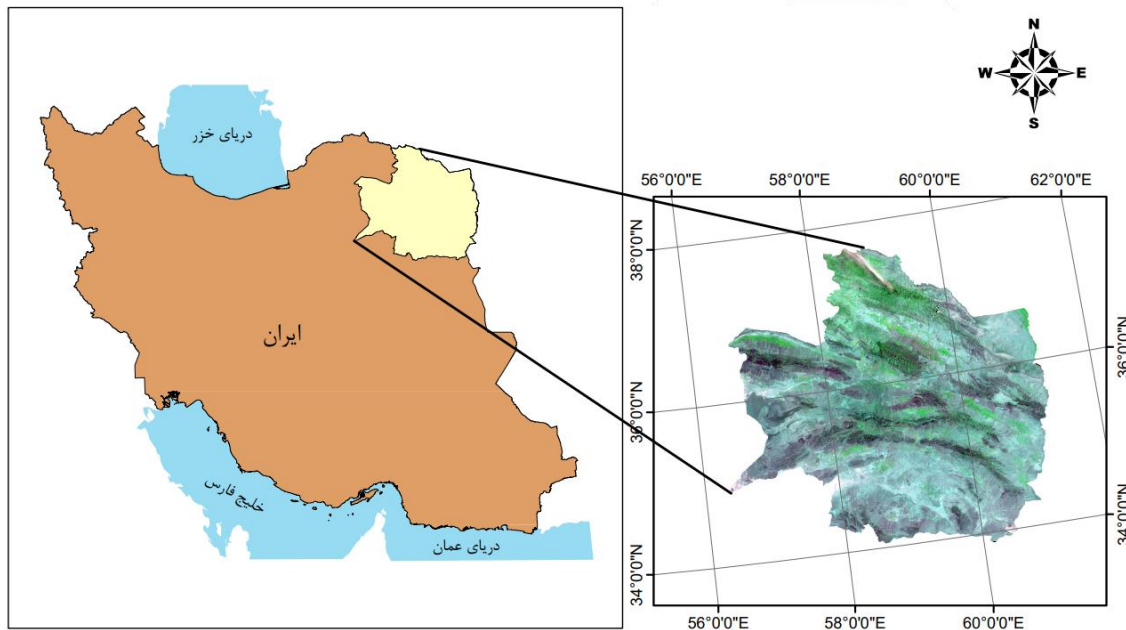
با توجه به گسترش و گوناگونی فراوان شاخص‌های پوشش گیاهی که در سال‌های گذشته به وجود آمده‌اند و هر کدام از آنها نتایج متفاوتی را در مناطق مختلف از خودشان نشان می‌دهند؛ بررسی کارایی این شاخص‌ها در منطقه‌ای همچون استان خراسان رضوی که دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، در این پژوهش با استفاده از چندین شاخص پوشش گیاهی مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای، همچون  $NDVI$ ،  $GDVI^{32}$ ،  $SAVI$ ،  $MSAVI2^3$  و  $GNDVI^4$  برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی استان خراسان رضوی مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی، یکی از ۳۱ استان کشور ایران می‌باشد که در قسمت شمال شرقی آن و در مختصات جغرافیایی  $56^{\circ}30'$  تا  $60^{\circ}10'$  طول شرقی و  $34^{\circ}15'$  تا  $37^{\circ}42'$  عرض شمالی، واقع شده است. مساحت این استان در حدود  $11/6$  میلیون هکتار است که حدود ۷ درصد از سطح کشور را در بر می‌گیرد. بر اساس یک میانگین ۲۰ ساله، متوسط درجه حرارت سالانه در این استان، ۱۶ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه نیز در آن ۲۰۸ میلی‌متر می‌باشد (Akbari et al., 2022b) که این عوامل، اکوسیستم‌های منطقه را حساس و شکننده کرده است (Akbari et al., 2020a). همچنین این استان جزو پرجمعیت‌ترین استان‌های کشور نیز می‌باشد. کشورهای هم‌مرز با این استان در قسمت شمال و شمال شرقی، ترکمنستان با مرز مشترک  $531/6$  کیلومتر و در قسمت شرق، افغانستان با مرز مشترک ۳۰۲ کیلومتر می‌باشند (Akbari et al., 2019). ارتفاعاتی همچون رشته‌کوه هزارمسجد، رشته‌کوه بینالود، کوه‌های کوه‌سرخ، کوه‌های جغتای و دیگر ارتفاعات در استان خراسان رضوی باعث به وجود آمدن شرایط خاصی شده که با وجود قرار گرفتن آن در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، از پوشش گیاهی بهتری نسبت به مناطق مسطح و تخت هم‌عرض خودش، برخوردار باشد. موقعیت استان خراسان رضوی در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.

1 Atmospherically Resistant Vegetation Index  
2 Generalized Different Vegetation Index  
3 Modified Soil Adjusted Vegetation Index  
4 Green Normalized Ddifference Vegetation Index



شکل شماره (۱): موقعیت استان خراسان رضوی در کشور ایران

## ۲-۲- مجموعه داده‌ها و اطلاعات

در این مطالعه تصاویر سنجنده لندست ۷ (ETM<sup>+</sup> (Collection 2 Level-2)، با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، مورد استفاده قرار گرفته‌اند که مربوط به اردیبهشت‌ماه و خردادماه سال ۱۴۰۰ شمسی می‌باشند. با توجه به نقص به وجود آمده در سنجنده لندست ۷ در سال ۲۰۰۳، از آن تاریخ به بعد تصاویر این ماهواره با از دست دادن اطلاعات به صورت راه‌راه شدگی، ثبت می‌شوند. برای حل این مشکل ابتدا ترکیب باندهای مورد نیاز برای هر ۱۱ تصویر دائلود شده (محدوده استان خراسان رضوی، شامل ۱۱ تصویر کنار هم از سنجنده لندست می‌باشد)، صورت گرفت؛ سپس با استفاده از افزونه Landst\_gapfill در نرم افزار Envi 5.6، خطای راه‌راه شدگی هر کدام از تصاویر، تصحیح شد. با توجه به عملکرد بهتر نرم‌افزار Erdas Imagine 2022 در موزاییک کردن این تصاویر، تصاویر به دست آمده بعد از موزاییک شدن و قرارگیری کنار هم در بهترین حالت، مورد استفاده قرار گرفتند. این تصاویر از سایت [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov) تهیه شدند.

## ۲-۳- شاخص‌های سنجش از دور پوشش گیاهی

ملاحظات اخیر نشان می‌دهند که تفسیر کمی اطلاعات سنجش از دور برای پوشش گیاهی کاری پیچیده و دشوار می‌باشد. لذا بسیاری از مطالعات با استخراج اطلاعات پوشش گیاهی به وسیله باندهای طیف نور منفرد و یا گروهی از باندهای منفرد این تفسیر و تجزیه و تحلیل داده‌ها را آسان‌تر کرده‌اند (Xue & Su, 2017). لذا بر همین اساس، شاخص‌های پوشش گیاهی زیادی در سال‌های گذشته گسترش یافته‌اند.

در این مطالعه ۵ شاخص پوشش گیاهی NDVI<sup>۱</sup>، GDVI<sup>۲</sup>، SAVI<sup>۳</sup> و MSAVI2<sup>۴</sup> و GNDVI<sup>۵</sup>، برای محدوده مورد مطالعه، مورد ارزیابی و بحث قرار گرفتند که به همراه روابط مربوطه، در جدول شماره (۱) آورده شده‌اند.



جدول شماره (۱): شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده

شاخص	رابطه	پارامترها	مرجع
NDVI	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$	$\rho_{NIR}$ = بازتاب باند مادون قرمز $\rho_R$ = بازتاب باند قرمز	Kriegler, ) (1969
GDVI <sup>n</sup>	$GDVI^n = \frac{SR^n - 1}{SR^n + 1} = \frac{\rho_{NIR}^n - \rho_R^n}{\rho_{NIR}^n + \rho_R^n}$	$\rho_{NIR}$ = بازتاب باند مادون قرمز $\rho_R$ = بازتاب باند قرمز $SR = \rho_{NIR} / \rho_R$ $n = 1, 2, 3, \dots, n$	Wu, ) (2014
SAVI	$SAVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R)}{(\rho_{NIR} + \rho_R + L)} \times (1 + L)$	$\rho_{NIR}$ = بازتاب باند مادون قرمز $\rho_R$ = بازتاب باند قرمز $L$ = ضریب تعدیل	Huete, ) (1988
MSAVI2	$MSAVI2 = \frac{\left[ (2\rho_{NIR} + 1) - \sqrt{(2\rho_{NIR} + 1)^2 + 8(\rho_{NIR} - \rho_R)} \right]}{2}$	$\rho_{NIR}$ = بازتاب باند مادون قرمز $\rho_R$ = بازتاب باند قرمز	Qi et al., ) (1994
GNDVI	$GNDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_G}{\rho_{NIR} + \rho_G}$	$\rho_{NIR}$ = بازتاب باند مادون قرمز $\rho_G$ = بازتاب باند سبز	-

شاخص NDVI، یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی است که برای شناسایی پوشش گیاهی در دوره‌های مختلف و در مناطق خاص، با استفاده از تکنیک سنجش از دور استفاده می‌شود (Aburas et al., 2015). شاخص GDVI<sup>n</sup>، با هدف بهبود کارایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایجاد شد که در مطالعه انجام شده در رابطه با ابداع و اعتبارسنجی آن، با افزایش توان n کارایی شاخص در مناطق خشک‌تر بهتر شد (Wu, 2014). بود. با توجه به اینکه استان خراسان رضوی جزو مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد، طبق نظر کارشناسی و بررسی‌های انجام شده، در این مطالعه از n=3 استفاده شده است. در سطوح متوسط پوشش گیاهی، پراکندگی و انتقال قابل توجه بازتاب باند مادون قرمز از طریق تاج پوشش، سیگنالی طیفی را از خاک منعکس می‌کند که به شدت شبیه علائم طیفی پوشش گیاهی است. به همین جهت شاخصی تحت عنوان SAVI در جهت کاهش اثرات روشنایی خاک ایجاد شد که L در آن ضریب تعدیل اثرات خاک می‌باشد و مقداری بین ۰ و ۱ دارد (Huete, 1988). با توجه به شناخت استان خراسان رضوی توسط محققین، در این مطالعه ۵. L= در نظر گرفته شد. MSAVI2 نسخه اصلاح شده شاخص SAVI می‌باشد که L یا همان ضریب تعدیل اثرات خاک در آن با یک L خود تنظیم شونده جایگزین شد. در شاخص SAVI، برای تعیین ضریب



تعدیل اثرات خاک، نیاز به دانش قبلی در رابطه با پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه می‌باشد تا با توجه به آن نتایج بهتری از اعمال این شاخص به دست آید، در حالی که در MSAVI نیازی به تنظیم دستی L وجود ندارد و بر اساس توابعی که در این مطالعه معرفی شدند، L به صورت خودکار به دست می‌آید که نیاز به دانش قبلی در رابطه با پوشش گیاهی منطقه ندارد. در شاخص MSAVI2، ضریب تعدیل اثرات خاک وجود ندارد و L در آن به صورت یک تابع تکرار شونده در نظر گرفته شده است (Qi et al., 1994). تنها تفاوت شاخص GNDVI با شاخص NDVI، استفاده از بازتاب باند مرئی سبز ( $\rho_G$ ) به جای بازتاب باند مرئی قرمز ( $\rho_R$ ) می‌باشد. تمامی شاخص‌های اشاره شده با استفاده از نرم‌افزار Erdas Imagine 2022، بر روی تصاویر بدست آمده، اعمال شدند.

#### ۲-۴- اعتبارسنجی

در این مطالعه از نقشه کاربری اراضی استان خراسان رضوی، جهت اعتبارسنجی نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده شد. جهت معادل سازی نقشه‌ها، نقشه کاربری اراضی و نقشه شاخص‌ها به ۴ کلاس طبقه‌بندی شدند که در جدول شماره (۲) به آن‌ها اشاره شده است. برای طبقه‌بندی نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی، طبق چهار کلاس اشاره شده، از طبقه‌بندی پیش فرض نرم‌افزار ArcGis 10.3، استفاده شد و با توجه به شناخت محققین این پژوهش از منطقه، به بهترین حالت ممکن اصلاح شد.

جدول شماره (۲): طبقه بندی اعمال شده بر روی نقشه‌ها

کلاس	نوع پوشش زمین
۱	مناطق بدون پوشش گیاهی شامل بیرون‌زدگی‌های سنگی، کویر، شوره‌زار، مناطق مسکونی و ...
۲	جنگل‌ها و مراتع با پوشش گیاهی کم‌تراکم و زراعت دیم
۳	جنگل‌ها و مراتع با پوشش گیاهی نیمه متراکم
۴	جنگل‌ها و مراتع متراکم، جنگل‌های دست‌کاشت، زراعت آبی و باغات

برای ارزیابی میزان انطباق نقشه‌ها با یکدیگر از روش ماتریس خطا و ضریب کاپا استفاده شد. برای بدست آوردن اطلاعات مورد نیاز، در محیط نرم‌افزاری ArcGis 10.3 و با استفاده از ابزار Creat Fishnet، سطح نقشه‌های مورد نظر به صورت شبکه‌بندی منظم تقسیم‌بندی و به هر کدام از آنها یک نقطه در مرکزشان داده شد. مجموعه نقاط به دست آمده به عنوان نقاط نمونه برداری مورد استفاده قرار گرفتند که با استفاده از ابزار Extract Values to Point مطابق همان سلولی که در آن قرار گرفتند ارزش‌گذاری شدند. اطلاعات بدست آمده به صورت جداول قابل خوانش در نرم‌افزار Excel، به محیط این نرم‌افزار منتقل شدند.



جدول ماتریس خطا روشی است که با استفاده از آن می‌شود علاوه بر محاسبه صحت کلی تطابق نقشه‌ها میزان خطای طبقه‌بندی در هر کدام از کلاس‌ها را نیز محاسبه کرد. جدول شماره (۳) تمام روابط ماتریس خطا را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۳): روابط ریاضی ماتریس خطا جهت اعتبارسنجی نقشه‌ها

	کلاس	نقشه مرجع			مجموع	خطای Commission (%)	صحت کاربر (%)
		۱	۲	۳			
نقشه مقایسه	۱	a	b	c	R1	$\frac{(b+c)}{R1} \times 100$	$\frac{a}{R1} \times 100$
	۲	d	e	f	R2	$\frac{(d+f)}{R2} \times 100$	$\frac{e}{R2} \times 100$
	۳	g	h	i	R3	$\frac{(g+h)}{R3} \times 100$	$\frac{i}{R3} \times 100$
مجموع		C1	C2	C3	S		
خطای Omission (%)		$\frac{(d+h)}{C1} \times 100$	$\frac{(b+h)}{C2} \times 100$	$\frac{(c+f)}{C3} \times 100$		ضریب کاپا= $\frac{S \times (a+e+i) - (C1 \times R1 + C2 \times R2 + C3 \times R3)}{S^2 - (C1 \times R1 + C2 \times R2 + C3 \times R3)}$	
صحت تولیدکننده (%)		$\frac{a}{C1} \times 100$	$\frac{e}{C2} \times 100$	$\frac{i}{C3} \times 100$		صحت کلی = $\frac{a+e+i}{S} \times 100$	

در جدول شماره (۲)، نقشه مرجع برای ارزیابی و اعتبارسنجی سلول‌های نقشه مقایسه، از نظر مکانی و کمی مورد استفاده قرار می‌گیرد (بیگی و همکاران، ۱۳۹۹).

خطای Commission: این خطا نشان دهنده تعداد سلول‌هایی است که باید در کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی می‌شدند اما طی فرایند طبقه‌بندی در یک کلاس خاص قرار گرفته‌اند؛ به عنوان مثال تعداد ۲۰ سلول از ۳۵ سلول که در یک کلاس خاص قرار گرفته‌اند متعلق به کلاس‌های دیگر می‌باشند که طی فرایند طبقه‌بندی در این کلاس خاص قرار گرفته‌اند.

خطای Omission: این خطا نشان دهنده تعداد سلول‌هایی است که باید در یک کلاس خاص قرار می‌گرفتند اما طی فرایند طبقه‌بندی در کلاس‌های دیگر قرار گرفته‌اند؛ به عنوان مثال برای یک کلاس خاص تعداد ۳۵ سلول وجود دارد که طی فرایند طبقه‌بندی باید در آن قرار می‌گرفتند اما از این ۳۵ سلول تعداد ۱۵ عدد در کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده‌اند.

صحت تولیدکننده: صحت تولید کننده نشان دهنده تعداد سلول‌هایی است که به درستی در مکان خودشان قرار گرفته‌اند و بر اساس خطای تعداد سلول‌هایی که از دست داده است و در دیگر کلاس‌ها طبقه‌بندی شده‌اند، به دست می‌آید.





صحت کاربر: صحت کاربر هم همانند صحت تولید کننده نشان دهنده تعداد سلول‌هایی است که به درستی در مکان خودشان قرار گرفته‌اند با این تفاوت که این پارامتر بر اساس خطای تعداد سلول‌هایی که طی فرایند طبقه‌بندی از دیگر کلاس‌ها در یک کلاس خاص قرار گرفته‌اند محاسبه می‌شود.

صحت کلی: صحت کلی نشان دهنده تمام سلول‌هایی است که به درستی در مکان خود قرار گرفته‌اند؛ به عبارت دیگر نشان دهنده تعداد سلول‌هایی است که در هر دو نقشه، ارزش یکسانی را به خود اختصاص داده‌اند

ضریب کاپا: این ضریب، میزان توافق حاصل از مقایسه دقت طبقه بندی مشاهده شده نسبت به دقت مورد انتظار را نشان می‌دهد (بیگی و همکاران، ۱۳۹۹). ارزش این ضریب عددی بین ۱ و -۱ می‌باشد که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده تطابق و دقت بیشتر نقشه‌ها. با توجه به تعداد زیاد نقاط نمونه برداری، داده‌های مورد نیاز برای جدول ماتریس خطا با استفاده از فرمول نویسی در نرم‌افزار Excel، صورت گرفت. برای محاسبه مجموع سطرها و ستون‌ها از دستور COUNTIF استفاده شد و برای محاسبه تعداد سلول‌های هر کدام از کلاس‌ها که به صورت درست و یا نادرست طبقه‌بندی شده بودند، از دستور IF تو در تو استفاده شد.

### ۳- یافته‌ها

با توجه به هدف این مطالعه که نقشه کاربری اراضی برای بررسی دقت نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته است، پارامترهای مهم برای بررسی در ماتریس خطا، درصد صحت تولید کننده و درصد خطای Omission در نظر گرفته شده‌اند.

#### ۳-۱- مقایسه کمی شاخص MSAVI2 با نقشه کاربری اراضی استان خراسان رضوی

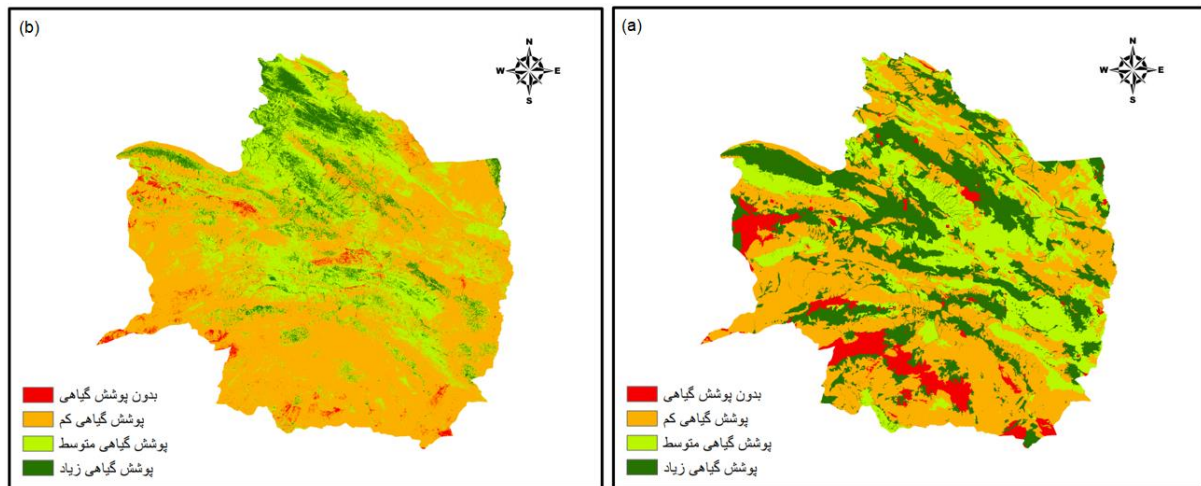
ماتریس خطا بین نقشه کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی MSAVI2، در جدول (۴) آورده شده است؛ نتایج نشان می‌دهند که بیشترین دقت طبقه‌بندی کلاس‌ها مربوط به کلاس ۲ می‌باشد و کمترین دقت به کلاس شماره ۱ مرتبط می‌شود؛ به عبارت دیگر با توجه به درصد صحت تولید کننده در ماتریس خطا در هنگام طبقه‌بندی نقشه شاخص پوشش گیاهی MSAVI2، بیشترین درصد سلول‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند، مربوط به کلاس ۲ یعنی پوشش گیاهی کم و زراعت دیم با ۷۲/۲ درصد می‌باشد. همچنین درصد سلول‌هایی که در کلاس ۱ یعنی تمام مناطق بدون پوشش گیاهی طبقه‌بندی شده‌اند، دارای کم‌ترین دقت می‌باشند که مقدار آن برابر با ۴ درصد می‌باشد.



جدول شماره (۴): ماتریس خطا بین نقشه کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی MSAVI2

کلاس		Landuse (کاربری اراضی)				مجموع	خطای Commission (%)	صحت کاربر (%)
		۱	۲	۳	۴			
MSAVI2	۱	۹۵	۳۴۵	۱۴۷	۲۴	۶۱۱	۸۴/۵	۱۵/۵
	۲	۲۰۵۹	۱۱۹۹۵	۴۷۷۷	۴۰۲۷	۲۲۸۵۸	۴۷/۵	۵۲/۵
	۳	۱۸۵	۳۵۲۸	۳۲۹۰	۴۰۶۱	۱۱۰۶۴	۷۰/۳	۲۹/۷
	۴	۲۳	۷۴۴	۵۴۳	۱۷۷۲	۳۰۸۲	۴۲/۵	۵۷/۵
مجموع		۲۳۶۲	۱۶۶۱۲	۸۷۵۷	۹۸۸۴	۳۷۶۱۵		
خطای Omission (%)		۹۶/۰	۲۷/۸	۶۲/۴	۸۲/۱		ضریب کاپا = ۰/۱۵	
صحت تولیدکننده (%)		۴/۰	۷۲/۲	۳۷/۶	۱۷/۹		صحت کلی = ۴۵/۶	

مقایسه بصری نقشه کاربری اراضی و نقشه شاخص پوشش گیاهی MSAVI2 که در شکل (۳)، آورده شده است؛ نشان می‌دهد که این شاخص، قسمت‌های شمالی استان را برخلاف نقشه کاربری اراضی، بیشتر جزو کلاس ۴ در نظر گرفته است و در قسمت غربی و جنوبی استان، بیشتر مناطق بدون پوشش گیاهی را جزو کلاس ۲ طبقه‌بندی کرده است.



شکل شماره (۳): (a) نقشه کاربری اراضی، (b) نقشه شاخص پوشش گیاهی MSAVI2

### ۳-۲- مقایسه کمی شاخص SAVI با نقشه کاربری اراضی استان خراسان رضوی

در مورد نقشه شاخص SAVI، مشابه نقشه شاخص MSAVI2، بیشترین دقت طبقه‌بندی مربوط به کلاس شماره ۲ با ۷۹/۷ درصد می‌باشد که نشان دهنده دقت بیشتر طبقه‌بندی سلول‌های این کلاس نسبت به شاخص MSAVI2 می‌باشد. در مقابل همانند شاخص MSAVI2 کمترین دقت طبقه‌بندی سلول‌ها در کلاس ۱ با ۱۱ درصد اتفاق افتاده

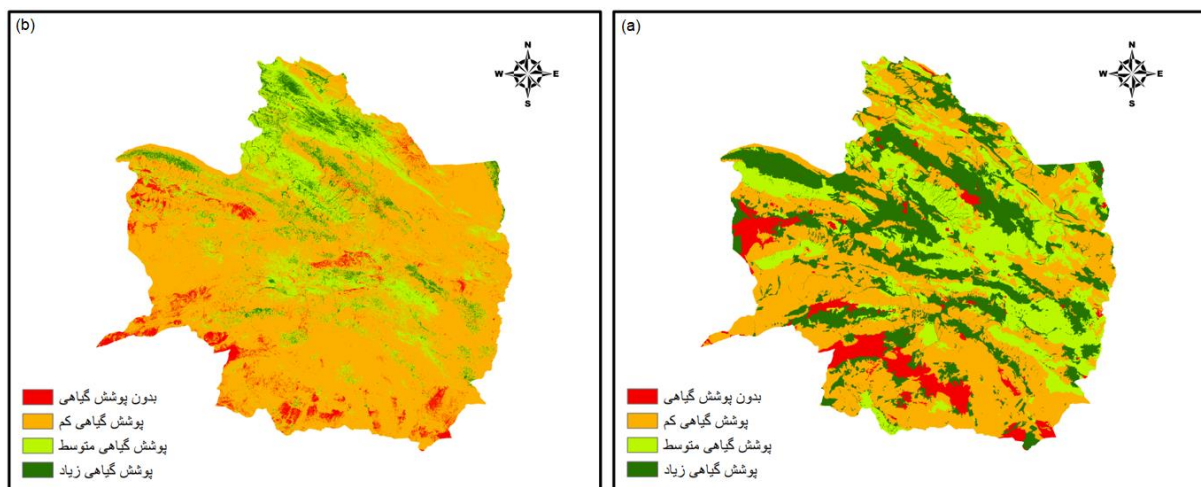


که با توجه به درصد‌های به دست آمده باز هم نسبت به شاخص  $MSAVI_2$ ، از دقت بیشتری برخوردار است. ماتریس خطا بین نقشه کاربری اراضی و نقشه شاخص پوشش گیاهی SAVI در جدول (۳) آورده شده است.

جدول شماره (۵): ماتریس خطا بین نقشه کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی SAVI

کلاس		Landuse (کاربری اراضی)					مجموع	خطای Commission (%)	صحت کاربر (%)
		۱	۲	۳	۴	مجموع			
SAVI	۱	۲۵۹	۱۰۲۰	۲۴۰	۱۰۱	۱۶۲۰	۸۴/۰	۱۶/۰	
	۲	۱۹۹۶	۱۳۲۳۴	۶۲۶۸	۵۷۷۲	۲۷۲۷۰	۵۱/۵	۴۸/۵	
	۳	۹۳	۱۹۲۶	۲۰۲۲	۲۷۶۷	۶۸۰۸	۷۰/۳	۲۹/۷	
	۴	۱۴	۴۳۲	۲۲۷	۱۲۴۴	۱۹۱۷	۳۵/۱	۶۴/۹	
مجموع		۲۳۶۲	۱۶۶۱۲	۸۷۵۷	۹۸۸۴	۳۷۶۱۵			
خطای Omission (%)		۸۹/۰	۲۰/۳	۷۶/۹	۸۷/۴		ضریب کاپا = ۰/۱۰۸		
صحت تولیدکننده (%)		۱۱/۰	۷۹/۷	۲۳/۱	۱۲/۶		درصد صحت کلی = ۴۴/۶		

مقایسه بصری نقشه کاربری اراضی استان و نقشه شاخص SAVI، نشان می‌دهد که وضعیت طبقه‌بندی کلاس ۱ در نقشه این شاخص، بهتر است ولی طبقه بندی کلاس ۴ در مقایسه با نقشه  $MSAVI_2$ ، ضعیف‌تر انجام شده. اما در هر دو شاخص با توجه به نقشه مرجع، بخشی از قسمت‌های شمالی استان خراسان رضوی را که جزو کلاس ۴ نیستند، در این کلاس طبقه‌بندی کرده‌اند.



شکل شماره (۴): (a) نقشه کاربری اراضی، (b) نقشه شاخص پوشش گیاهی SAVI



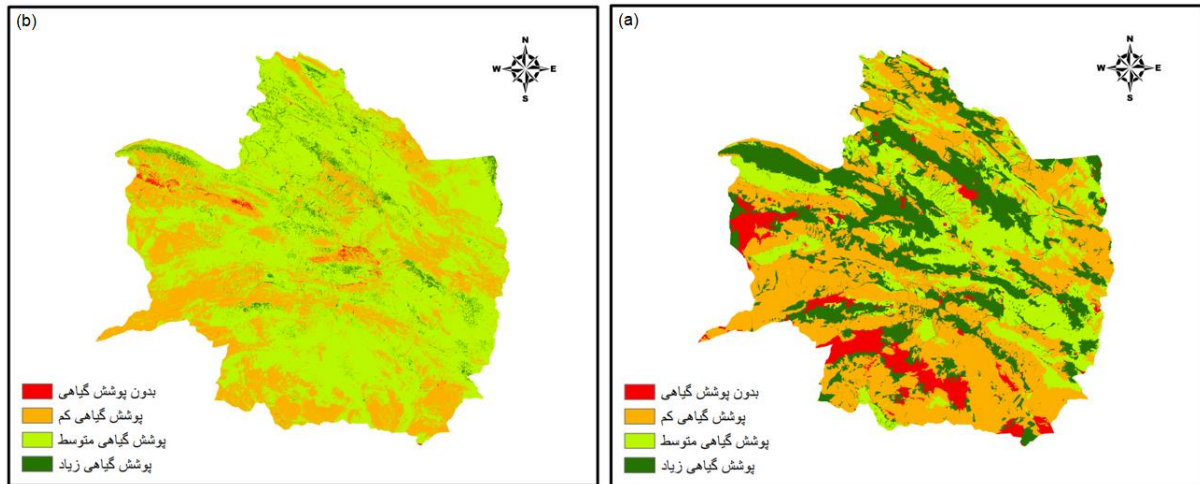
### ۳-۳- مقایسه کمی شاخص GNDVI با نقشه کاربری اراضی استان خراسان رضوی

نتایج به دست آمده از مقایسه نقشه کاربری اراضی و نقشه شاخص GNDVI، نسبت به دو شاخص قبلی کمی متفاوت می‌باشند؛ به این صورت که بیشترین دقت طبقه‌بندی سلول‌ها برای این شاخص مربوط به کلاس ۳ می‌باشد؛ به عبارت دیگر از ماتریس خطای چنین برداشت می‌شود که طبقه‌بندی پوشش گیاهی نیمه‌مترکم بهتر از بقیه کلاس‌ها انجام گرفته است. همچنین کم‌ترین دقت طبقه‌بندی سلول‌ها مربوط به کلاس ۱ با ۳٪ درصد می‌باشد و بیان‌کننده این مطلب است که شاخص پوشش گیاهی GNDVI برای شناسایی مناطق بدون پوشش گیاهی بسیار نامناسب می‌باشد. ماتریس خطا بین نقشه کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی GNDVI در جدول (۶) آورده شده است.

جدول شماره (۶): ماتریس خطا بین نقشه کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی GNDVI

کلاس		Landuse (کاربری اراضی)				مجموع	خطای Commission (%)	صحت کاربر (%)
		۱	۲	۳	۴			
GNDVI	۱	۷	۵۷	۱۱۰	۷	۱۸۱	۹۶/۱	۳/۹
	۲	۸۷۳	۶۷۵۵	۲۶۵۸	۱۳۳۵	۱۱۶۲۱	۴۱/۹	۵۸/۱
	۳	۱۴۷۴	۹۶۴۴	۵۹۲۱	۷۶۷۷	۲۴۷۱۶	۷۶/۰	۲۴/۰
	۴	۸	۱۵۶	۶۸	۸۶۵	۱۰۹۷	۲۱/۱	۷۸/۹
مجموع		۲۳۶۲	۱۶۶۱۲	۸۷۵۷	۹۸۸۴	۳۷۶۱۵		
خطای Omission (%)		۹۹/۷	۵۹/۳	۳۲/۴	۹۱/۲		ضریب کاپا = ۰/۰۸۹	
صحت تولیدکننده (%)		۰/۳	۴۰/۷	۶۷/۶	۸/۸		درصد صحت کلی = ۳۶/۰	

در مقایسه بصری نقشه شاخص GNDVI و کاربری اراضی (شکل ۵)، به خوبی دیده می‌شود که کلاس ۳ بیشترین سهم را از طبقه‌بندی سلول‌ها به خودشان اختصاص داده‌اند و کلاس ۴ و ۱، در نقشه این شاخص خیلی کم‌رنگ می‌باشند.



شکل شماره (۵): (a) نقشه کاربری اراضی، (b) نقشه شاخص پوشش گیاهی GNDVI

۳-۴- مقایسه کمی شاخص‌های NDVI و GDVI<sup>3</sup> با نقشه کاربری اراضی استان خراسان رضوی  
همانطور که اشاره شد تفاوت بین نقشه‌های دو شاخص NDVI و GDVI<sup>3</sup> بسیار ناچیز است. این تفاوت اندک در ماتریس خطای آن‌ها مشاهده می‌شود. نتایج نشان داد که در هر دو شاخص کلاس ۲ دارای بیشترین دقت طبقه‌بندی سلول‌ها با ۶۱/۴ درصد می‌باشد و کلاس ۴ یعنی پوشش گیاهی متراکم، زراعت آبی و باغات در هر دو شاخص، کم‌ترین دقت طبقه‌بندی سلول‌ها را با ۵/۴ درصد به خود اختصاص داده‌اند. جداول (۷) و (۸) به ترتیب نشان دهنده ماتریس خطا بین کاربری اراضی و دو شاخص NDVI و GDVI<sup>3</sup> می‌باشند.

جدول شماره (۷): ماتریس خطا بین نقشه کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی NDVI

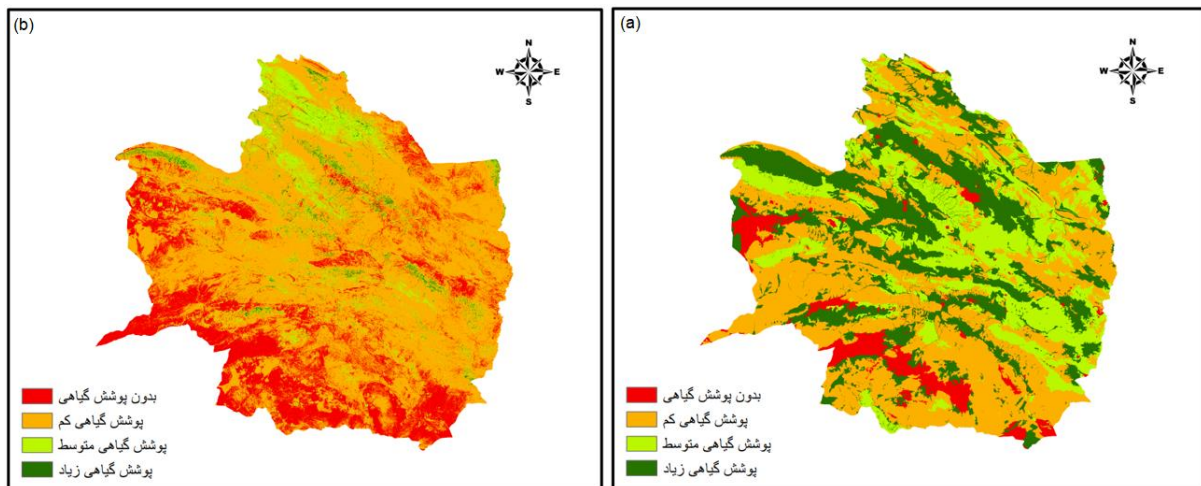
کلاس		Landuse (کاربری اراضی)				مجموع	خطای Commission (%)	صحت کاربر (%)
		۱	۲	۳	۴			
NDVI	۱	۱۲۰۵	۵۴۳۷	۱۱۲۱	۸۳۶	۸۵۹۹	۸۶/۰	۱۴/۰
	۲	۱۱۲۳	۱۰۲۰۷	۶۸۳۹	۶۸۹۶	۲۵۰۶۵	۵۹/۳	۴۰/۷
	۳	۲۷	۸۹۲	۷۷۲	۱۶۲۲	۳۳۱۳	۷۶/۷	۳۳/۳
	۴	۷	۷۶	۲۵	۵۳۰	۶۳۸	۱۶/۹	۸۳/۱
مجموع		۲۳۶۲	۱۶۶۱۲	۸۷۵۷	۹۸۸۴	۳۷۶۱۵		
خطای Omission (%)		۴۹/۰	۳۸/۶	۹۱/۲	۹۴/۶			ضریب کاپا = ۰/۰۰۶
صحت تولیدکننده (%)		۵۱/۰	۶۱/۴	۸/۸	۵/۴			صحت کلی = ۳۳/۸



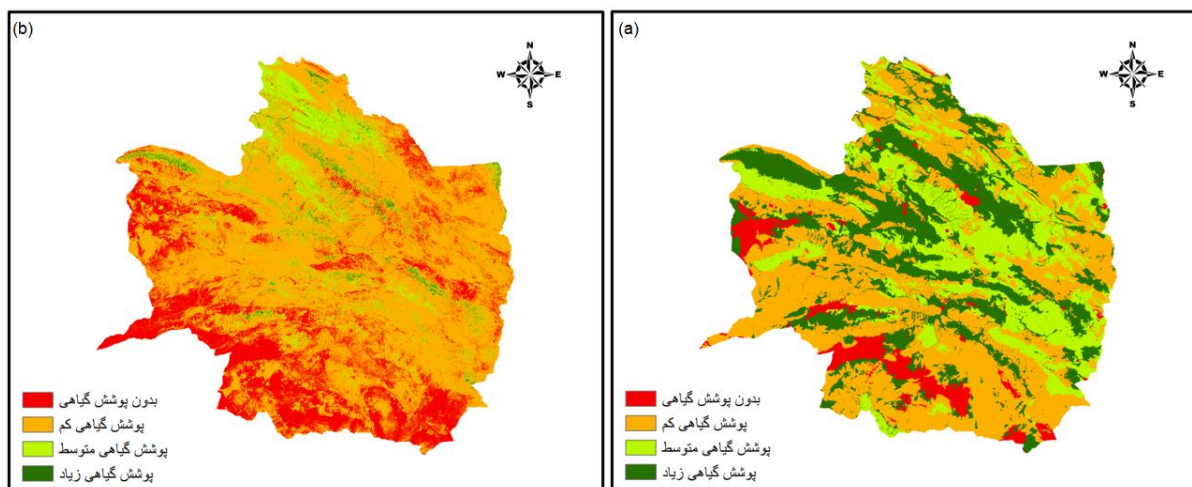
جدول شماره (۸): ماتریس خطا بین نقشه کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی GDVI<sup>3</sup>

کلاس		Landuse (کاربری اراضی)				مجموع	خطای Commission (%)	صحت کاربر (%)
		۱	۲	۳	۴			
GDVI <sup>3</sup>	۱	۱۲۰۰	۵۴۴۳	۱۱۲۵	۸۴۳	۸۶۱۱	۸۶/۱	۱۳/۹
	۲	۱۱۲۷	۱۰۲۰۲	۶۸۳۴	۶۸۹۲	۲۵۰۵۵	۵۹/۳	۴۰/۷
	۳	۲۸	۸۹۱	۷۷۳	۱۶۱۹	۳۳۱۱	۷۶/۷	۳۳/۳
	۴	۷	۷۶	۲۵	۵۳۰	۶۳۸	۱۶/۹	۸۳/۱
مجموع		۲۳۶۲	۱۶۶۱۲	۸۷۵۷	۹۸۸۴	۳۷۶۱۵		
خطای Omission (%)		۴۹/۲	۳۸/۶	۹۱/۲	۹۴/۶		ضریب کاپا = ۰/۰۰۶	
صحت تولیدکننده (%)		۵۰/۸	۶۱/۴	۸/۸	۵/۴		صحت کلی = ۳۳/۸	

مقایسه نقشه‌های حاصل از این دو شاخص پوشش گیاهی که به ترتیب برای شاخص NDVI و GDVI<sup>3</sup> در شکل‌های (۵) و (۶) آمده است، نشان دادند که این دو نقشه تقریباً با هم یکی هستند. علاوه بر این بسیاری از مناطق که در نقشه کاربری اراضی دارای پوشش می‌باشند، در نقشه این دو شاخص در کلاس بدون پوشش طبقه‌بندی شده‌اند.



شکل شماره (۵): (a) نقشه کاربری اراضی، (b) نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI



شکل شماره (6): (a) نقشه کاربری اراضی، (b) نقشه شاخص پوشش گیاهی GDVI<sup>3</sup>

### نتیجه‌گیری

پوشش گیاهی رکن اصلی طبیعت و منابع طبیعی و یکی از شاخص‌های اصلی در ارزیابی سلامت یا تخریب محیط محسوب می‌شود. ارتباط بین سه عنصر اصلی آب، خاک و گیاه شکل دهنده سیمای چشم اندازه‌های طبیعی و تعیین کننده پایداری اکوسیستم است. لیکن در دهه‌های اخیر و بدنبال بروز مسائل اقتصادی و اجتماعی و نیز مواردی از قبیل افزایش جمعیت و افزایش نیازهای غذایی، روند تخریب منابع طبیعی و در رأس آنها پوشش گیاهی در استان خراسان رضوی، شتابی فزاینده گرفته است و در مواردی از حد آستانه برگشت‌پذیری اکوسیستم‌ها نیز فراتر رفته است. لذا، برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت حفاظتی برعرصه‌های وسیع طبیعی، با شناسایی و آگاهی از کم و کیف منابع زمینی همچون پوشش گیاهی و بهره‌گیری از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای برای مقایسه سطح و تراکم پوشش زمین و پوشش گیاهی، می‌تواند در چشم انداز برنامه‌ریزی محیطی بسیار کارآمد باشد. در این پژوهش، جهت مشخص کردن شدت تغییرات پوشش سطح زمین در استان خراسان رضوی، از پنج شاخص پوشش گیاهی NDVI، GDVI<sup>3</sup>، SAVI، MSAVI2 و GNDVI استفاده شد. نتایج بیانگر آنست که دقت شاخص‌های پوشش گیاهی MSAVI2 با ۴۵/۶ درصد، SAVI با ۴۴/۶ درصد بیشترین میزان مطابقت پوشش گیاهی را با نقشه کاربری اراضی استان خراسان رضوی نشان دادند.

### مراجع

صادق بیگی، اکرم؛ مروج، کامران؛ دلاور، محمدمامیر. (۲۰۲۱). جایگزینی مؤلفه‌های توافقی و عدم توافقی کمی و مکانی به جای شاخص کاپا برای ارزیابی دقت نقشه‌های موضوعی مختلف. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۹(۱۱۶)، ۷۷-۸۷.



ذوالفقاری، فرهاد؛ عبداللهی، وحیده. (۲۰۲۲). تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص‌های طیفی با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ (منطقه مورد مطالعه: استان سیستان و بلوچستان). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی*

در منابع طبیعی، ۱۳(۱)، ۱۰۸-۱۲۶

عمونیا، حمید؛ شایان، سیاوش؛ یمانی، مجتبی. (۲۰۱۹). شناسایی مناطق فرسایشی با استفاده از الگوریتم آبدو سطحی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (مطالعه موردی حوضه آبریز جاجرود). *مجله علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*،

۱۳(۴۴)، ۱۱۴-۱۲۲.

Aburas, M. M., Abdullah, S. H., Ramli, M. F., & Ash'aari, Z. H. (2015). Measuring Land Cover Change in Seremban, Malaysia Using NDVI Index. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 238-243. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.043>

Akbari, M., Neamatollahi, E., & Neamatollahi, P. (2019). Evaluating land suitability for spatial planning in arid regions of eastern Iran using fuzzy logic and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, 98, 587-598. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.035>

Akbari, M., Feyzi Koushki, F., Memarian, H., Azamirad, M., & Alizadeh Noughani, M. (2020a). Prioritizing effective indicators of desertification hazard using factor-cluster analysis, in arid regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-17.

Akbari, M., Neamatollahi, E., Noughani, M. A., & Memarian, H. (2022b). Spatial distribution of soil erosion risk and its economic impacts using an integrated CORINE-GIS approach. *Environmental Earth Sciences*, 81(10), 287.

Calabrò, E., & Magazù, S. (2016). Correlation between increases of the annual global solar radiation and the ground albedo solar radiation due to desertification—a possible factor contributing to climatic change. *Climate*, 4(4), 64.

Gruber, A., & Peng, J. (2023). Remote sensing of soil moisture. In M. J. Goss & M. Oliver (Eds.), *Encyclopedia of Soils in the Environment (Second Edition)* (pp. 618-630). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00019-7>

Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6.

Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295-309. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

Kaufman, Y. J., & Tanre, D. (1992). Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261-270. <https://doi.org/10.1109/36.134076>

Kriegler, F. (1969). Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment*,

Lamchin, M., Lee, J.-Y., Lee, W.-K., Lee, E. J., Kim, M., Lim, C.-H., Choi, H.-A., & Kim, S.-R. (2016). Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advances in Space Research*, 57(1), 64-77.

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote sensing of environment*, 48(2), 119-126.

Sayl, K. N., Sulaiman, S. O., Kamel, A. H., Muhammad, N. S., Abdullah, J., & Al-Ansari, N. (2021). Minimizing the impacts of desertification in an arid region: A case study of the west desert of Iraq. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1-12.

Wu, W. (2014). The generalized difference vegetation index (GDVI) for dryland characterization. *Remote Sensing*, 6(2), 1211-1233.

Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of sensors*, 2017.