



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست‌بوم گیاهان"

دوره هفتم، شماره پانزدهم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

## بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی پر کاربرد جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در شرایط محیطی مختلف

کمیل رکنی<sup>۱\*</sup>، محمد قلی زاده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه نقشه‌برداری، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس  
<sup>۲</sup>استادیار گروه شیلات، دانشکده‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۳

چکیده

شاخص‌های گیاهی، جهت تفکیک و استخراج پوشش گیاهی روی سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای توسعه یافته‌اند. جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی، معمولاً تصاویر چند زمانه به صورت جداگانه با استفاده از شاخص‌های گیاهی مورد آنالیز قرار می‌گیرند و یا از روش تفاضل شاخص گیاهی استفاده می‌شود. مروری بر مطالعات گذشته نشان می‌دهد، با وجود توسعه شاخص‌های متعدد گیاهی توسط محققان، جهت استخراج پوشش گیاهی یا آشکارسازی تغییرات آن به طور معمول از شاخص‌های NDVI و EVI استفاده می‌شود. لذا، هدف از این مطالعه، مقایسه و بررسی‌ای جامع روی کارایی و قابلیت این دو شاخص در آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در شرایط محیطی و آب و هوایی مختلف می‌باشد. برای این هدف، چندین منطقه نمونه با شرایط محیطی مختلف شامل گرمسیری، نیمه گرمسیری و مدیترانه‌ای واقع در مناطقی از کشورهای مالزی، ایران و ایتالیا انتخاب شدند. سپس، روش تفاضل شاخص با استفاده از چند سری تصویر ماهواره‌ای لندست-۷ ETM+ و لندست-۸ OLI مربوط به دو دوره زمانی مختلف در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ بکار برده شد. جهت ارزیابی دقت نقشه‌های به دست آمده، ماتریس درهم ریختگی ایجاد گردید و پارامترهای دقت کلی و ضریب کاپا محاسبه شدند. سپس برای مشخص شدن ماهیت خطاها در نتایج به دست آمده، خطاهای کمیسیون و امیسیون محاسبه شدند. آنالیزهای ارزیابی دقت نشان داد هر چند نتایج حاصل از روش EVI در برخی از مناطق نمونه قابل قبول می‌باشد، اما در تمامی مناطق نمونه با تنوع محیطی و آب و هوایی مختلف، روش NDVI نتایج بسیار بهتری را جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی ارائه نموده است.

واژه‌های کلیدی: شاخص گیاهی، آشکارسازی تغییرات، لندست، NDVI، EVI

\*نویسنده مسئول: [rokni@gonbad.ac.ir](mailto:rokni@gonbad.ac.ir)

## مقدمه

تغییرات محیطی و تأثیرات آن بر سیستم‌های طبیعی و جوامع انسانی، موضوع تحقیق در حیطه گسترده‌ای از شاخه‌های مختلف علمی می‌باشد. آشکارسازی تغییرات، به فرایند مشاهده یک عارضه یا پدیده در زمان‌های مختلف جهت شناسایی تغییرات آن اطلاق می‌گردد (Singh, 1989). نظارت دقیق و به موقع ویژگی‌های سطح زمین، پایه‌ها و مبانی‌ای را برای درک بهتر تعاملات و روابط بین بشر و پدیده‌های طبیعی، برای استفاده و مدیریت بهتر منابع مهیا می‌کند (Lu et al., 2004). نظارت بر تغییرات سطح زمین با استفاده از سنجش از دور، به طور گسترده‌ای در مطالعات ارزیابی مختلف مانند تغییرات کاربری اراضی (Demir et al., 2013; Salmon et al., 2013)، بلایای طبیعی (Brisco et al., 2018; Martinis et al., 2013; Volpi et al., 2013; al., 2013) گسترش شهری (Bagan and Dronova et al., 2018; Wang et al., 2013; Raja et al., 2012; Yamagata, 2012) هیدرولوژی (Kaliraj et al., 2012; Markogianni et al., 2011; Zhu et al., 2011)، و تغییرات پوشش گیاهی (Song et al., 2013; al., 2013) انجام گرفت.

از زمانی که مقادیر زیادی از داده‌ها راجع به ماهیت سطح زمین، با استفاده از ماهواره‌های سنجش از دور در قدرت تفکیک‌های مختلف مکانی، طیفی و زمانی با استفاده از ترکیبات باندی مناسب تهیه شدند، این داده‌ها به‌عنوان منابع اصلی جهت استخراج پوشش گیاهی و تغییرات آن روی سطح زمین به طور گسترده‌ای در دهه‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفتند. استفاده از شاخص‌های گیاهی برای این منظور همواره از پر طرفدارترین روش‌ها بوده است (Gärtner et al., 2014; Hansen et al., 2008; Hilker et al., 2015; Jamali et al., 2014; Kumagai, 2011; Michishita et al., 2012; O'Connell et al., 2014; Spiekermann et al., 2015; Marston et al., 2017).

شاخص گیاهی به ترکیب محاسباتی دو یا بیشتر از دو باند مرتبط به ویژگی‌های طیفی پوشش گیاهی اطلاق می‌شود (Matsushita et al., 2007). شاخص‌های گیاهی متعددی جهت بهبود استخراج پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره‌ای، توسط محققان مختلف، مانند شاخص گیاهی بهبود یافته یا EVI توسط (Liu and Huete, 1995)، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده یا NDVI توسط (Rouse et al., 1973)، شاخص گیاهی SAVI توسط (Huete, 1988)، شاخص گیاهی MSAVI توسط (Qi et al., 1994) و شاخص گیاهی Wdvi توسط (Clevers and Verhoef, 1993) ارائه شده‌اند. از میان شاخص‌های مختلف گیاهی ارائه شده، شاخص‌های NDVI و EVI به‌عنوان معروف‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های گیاهی شناخته می‌شوند که بیشترین استفاده را در تحقیقات و مطالعات گذشته داشته‌اند (Jarchow et al., 2017; Testa et al., 2018; Zhao et al., 2018; Castillo et al., 2018; Tsai et al., 2018).

گسترده در شرایط محیطی و کشورهای مختلف مانند شرایط محیطی گرمسیری در کشور چین (Lun et al., 2017)، شرایط مدیترانه‌ای در کشور مراکش (Barakat et al., 2018)، شرایط معتدل در کشور آمریکا (Lunetta et al., 2006)، شرایط نیمه‌گرمسیری در کشور ایران (Karimi et al., 2018)، شرایط معتدل در کشور ترکیه (Baskan et al., 2017)، شرایط متنوع در کشور بولیوی (Dutrieux et al., 2015) و شرایط خشک در کشور کنیا (Morrison et al., 2018)، جهت استخراج پوشش گیاهی و یا آشکارسازی تغییرات آن استفاده گردید. لذا در این تحقیق، بررسی جامعی روی کارایی این شاخص‌ها در شرایط محیطی و آب و هوایی مختلف شامل گرمسیری، نیمه گرمسیری و مدیترانه‌ای در کشورهای مختلف با این ویژگی‌های محیطی شامل کشورهای مالزی، ایران و ایتالیا انجام شد و قابلیت آن‌ها در تفکیک و آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی مورد مقایسه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### مناطق نمونه

دقت و قابلیت شاخص‌های NDVI و EVI جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی، با در نظر گرفتن چندین منطقه نمونه در شرایط محیطی و آب و هوایی مختلف شامل گرمسیری در کشور مالزی، نیمه گرمسیری در کشور ایران و مدیترانه‌ای در کشور ایتالیا مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت تسهیل ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از شاخص‌های بکار برده شده، مناطق نمونه از بین مناطقی با پوشش گیاهی متراکم که در آن‌ها تغییرات زمانی پوشش گیاهی مشهود بود انتخاب شدند. خلاصه‌ای از ویژگی‌های اصلی مناطق نمونه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های مناطق مورد مطالعه (<http://www.cia.gov/>)

کشور	منطقه نمونه	مختصات مرکز تصویر (متر)	زون	مساحت (هکتار)	آب و هوا
ایران	شماره ۱	۴۰۴۷۹۱۵ شمال، ۷۳۰۷۵۵ شرق	۳۹ شمالی	۲۳۰	نیمه گرمسیری
ایران	شماره ۲	۳۹۹۹۰۷۵ شمال، ۶۸۰۰۵۵ شرق	۳۹ شمالی	۲۳۰	نیمه گرمسیری
مالزی	شماره ۳	۷۹۱۲۵ شمال، ۱۷۷۹۴۵ شرق	۴۸ شمالی	۲۳۰	گرمسیری
مالزی	شماره ۴	۱۱۳۲۰۵ شمال، ۱۳۴۶۵۵ شرق	۴۸ شمالی	۲۳۰	گرمسیری
مالزی	شماره ۵	۱۴۷۴۶۵ شمال، ۱۶۲۰۴۶ شرق	۴۸ شمالی	۲۳۰	گرمسیری
ایتالیا	شماره ۶	۴۶۹۸۲۸۵ شمال، ۲۸۶۸۷۵ شرق	۳۳ شمالی	۲۳۰	مدیترانه‌ای
ایتالیا	شماره ۷	۴۵۳۴۳۰۵ شمال، ۵۸۹۶۳۵ شرق	۳۳ شمالی	۲۳۰	مدیترانه‌ای

#### داده‌ها

هنگام استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای آشکارسازی تغییرات، باید به این نکته مهم توجه داشت که تصاویر زمانی ترجیحاً از یک سنسور و با قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریک مشابه و از نظر زمانی در ماه‌های مشابه یا نزدیک به هم انتخاب شوند. استفاده از تصاویری با این ویژگی‌ها سبب کاهش تأثیرات منابع خارجی مانند زاویه خورشید و تفاوت‌های فصلی و فنولوژی می‌شود (Lu et al., 2004). جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در مناطق نمونه انتخاب شده در این تحقیق، چهار سری زمانی از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۷ ETM+ مربوط به سال ۲۰۰۱ و لندست-۸ OLI سال ۲۰۱۴ از مناطقی در کشورهای ایران، مالزی و ایتالیا از سایت ناسا (US Geological Survey (USGS) (Global Visualization Viewer) اخذ شدند. تصاویر به دست آمده به صورت پیش زمین مرجع شده به سیستم تصویر UTM زون‌های ۳۹ شمالی (ایران)، ۴۸ شمالی (مالزی) و ۳۳ شمالی (ایتالیا) با استفاده از سطح مبنای WGS-84 بودند و سایر تصحیحات لازم، در این مطالعه روی تصاویر اعمال شد. جدول ۲ ویژگی‌های تصاویر استفاده شده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ویژگی‌های تصاویر لندست ETM+ و OLI مورد استفاده در این مطالعه							
ماهواره	سنجنده	مسیر	ردیف	سال	باند	قدرت تفکیک (متر)	طول موج (میکرومتر)
لندست-۷ ETM+		۱۶۳	۳۵	۲۰۰۱	باند ۱	۳۰	۰/۴۵۰ - ۰/۵۱۵
					باند ۲	۳۰	۰/۵۲۵ - ۰/۶۰۵
					باند ۳	۳۰	۰/۶۳ - ۰/۶۹
					باند ۴	۳۰	۰/۷۵ - ۰/۹۰
					باند ۵	۳۰	۱/۵۵ - ۱/۷۵
					باند ۶	۶۰	۱۰/۴ - ۱۲/۵
					باند ۷	۳۰	۲/۰۹ - ۲/۳۵
					باند ۸	۱۵	۰/۵۲ - ۰/۹۰
لندست-۸ OLI		۱۶۳	۳۵	۲۰۱۴	باند ۱	۳۰	۰/۴۳۵ - ۰/۴۵۱
					باند ۲	۳۰	۰/۴۵۲ - ۰/۵۱۲
					باند ۳	۳۰	۰/۵۳۳ - ۰/۵۹۰
					باند ۴	۳۰	۰/۶۳۶ - ۰/۶۷۳
					باند ۵	۳۰	۰/۸۵۱ - ۰/۸۷۹
					باند ۶	۶۰	۱/۵۶۶ - ۱/۶۵۱
					باند ۷	۳۰	۲/۱۰۷ - ۲/۲۹۴
					باند ۸	۱۵	۰/۵۰۳ - ۰/۶۷۶
					باند ۹	۳۰	۱/۳۶۳ - ۱/۳۸۴

### پیش پردازش تصاویر

تمامی تصاویر اخذشده ابتدا به بازتاب سطح<sup>۲</sup> کالیبره شدند، سپس تصحیح اتمسفری با استفاده از روش تفریق شیء تاریک<sup>۳</sup> توسط نرم افزار ENVI 4.8 روی تمامی تصاویر اعمال گردید. روش تفریق

<sup>۲</sup> surface reflectance

<sup>۳</sup> dark object subtraction (DOS)

شیء تاریک، در هر باند جهت پیدا کردن تیره‌ترین پیکسل‌ها جستجو می‌کند. با فرض اینکه اشیاء تیره نوری منعکس نمی‌کنند، هر ارزشی بزرگ‌تر از صفر باید از پراکندگی اتمسفر حاصل شود. پراکندگی باکم کردن این مقدار از هر پیکسل در باند حذف می‌شود. این روش برای تصحیح مه و غبار در تصاویر چند طیفی مناسب است، اما برای داده‌های فرا طیفی نباید استفاده شود (Chavez Jr, 1996). در مرحله بعد، تصاویر زمانی ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ مربوط به هر سری، به طور جداگانه و با دقت بالا نسبت به هم زمین مرجع<sup>۴</sup> شدند تا از ایجاد خطا در نتایج حاصل شده جلوگیری شود. بدین منظور، روش هم مرجع شدن دستی با خطای جذر میانگین مربعات<sup>۵</sup> کمتر از ۰/۴ پیکسل با استفاده از روش زمین مرجع کردن تصویر به تصویر<sup>۶</sup> و با استفاده از حدود ۲۵ نقاط کنترل در نرم افزار ENVI انجام گرفت. سرانجام، مناطق نمونه انتخاب شده، از تصاویر بریده شده و آماده انجام پردازش‌های اصلی شدند.

### آشکارسازی تغییرات و آنالیزهای ارزیابی دقت

شاخص‌های NDVI (رابطه ۱) و EVI (رابطه ۲) با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$EVI = G \frac{NIR-R}{NIR+C1R+C2B+L} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این روابط،  $NIR$ ،  $R$  و  $B$  به ترتیب بیانگر بازتاب سطح در باندهای مادون قرمز نزدیک، قرمز و آبی می‌باشند. در حالیکه  $G$  بیانگر فاکتور کسب<sup>۷</sup>،  $C1$  و  $C2$  ضرایبی برای تصحیح ذرات معلق پراکنده در باند قرمز با استفاده از باند آبی و  $L$  فاکتور تعدیل خاک می‌باشند (Jiang et al., 2008). در حالت کلی،  $C2=7.5$ ،  $C1=6.0$ ،  $G=2.5$  و  $L=1$  می‌باشند (Huete et al., 1997). پیکسل‌های استخراج‌شده با استفاده از شاخص‌های EVI و NDVI دارای ارزشی بین ۱- تا ۱+ می‌باشند که معمولاً پیکسل‌های با ارزش بالاتر نشان‌دهنده مناطق با پوشش گیاهی متراکم‌تر می‌باشند. روش تفاضل شاخص<sup>۸</sup> با استفاده از دو شاخص انتخاب‌شده در این مطالعه (EVI و NDVI)، جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در شرایط محیطی مختلف بکار برده شد (روابط ۳ و ۴).

<sup>۴</sup>co-register

<sup>۵</sup> root mean square error (RMSE)

<sup>۶</sup>image to image co-registration

<sup>۷</sup>gain factor

<sup>۸</sup> index differencing

$$\text{NDVI differencing} = (\text{NDVI})_{t_2} - (\text{NDVI})_{t_1}$$

رابطه ۳

$$\text{EVI differencing} = (\text{EVI})_{t_2} - (\text{EVI})_{t_1}$$

رابطه ۴

در این مطالعه، آنالیزهای ارزیابی دقت از طریق محاسبه دقت کلی<sup>۹</sup>، ضریب کاپا<sup>۱۰</sup> و خطاهای کمسیون و امیسیون<sup>۱۱</sup> انجام گرفت و نتایج حاصل باهم مقایسه شدند. داده‌های رفرنس از طریق دیجیتایز کردن چندین پلیگون در بین مناطق و پیکسل‌های با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی از روی تصاویر لندست با ترکیب رنگی حقیقی<sup>۱۲</sup> تولید شدند. تولید داده‌های رفرنس در این مطالعه نسبتاً راحت بود از آنجائی که کلاس‌های موردنیاز فقط پیکسل‌های با پوشش و بدون پوشش گیاهی بودند و تمیز بصری بین پیکسل‌های گیاه و غیر گیاه از تصاویر ماهواره‌ای نسبتاً ساده است، به ویژه اینکه مناطق نمونه در نظر گرفته شده در این مطالعه مناطقی با پوشش گیاهی متراکم هستند. از آنجائی که مناطق نمونه انتخاب شده جهت اعمال شاخص‌ها نسبتاً کوچک هستند، سعی شد نمونه‌های ارزیابی دقت در تمام مناطق توزیع شوند. در مرحله بعد، روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌بندی شده<sup>۱۳</sup> بکار برده شد تا نمونه‌های رندم را از داده‌های رفرنس تولید کند. سپس ماتریس درهم ریختگی<sup>۱۴</sup> ایجاد شد تا پارامترهای لازم برای ارزیابی دقت محاسبه شوند.

### نتایج و بحث

خروجی‌های آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از روش‌های تفاضل NDVI و EVI در مناطق نمونه در کشورهای ایران، مالزی و ایتالیا در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین در این شکل، تصاویر لندست پیش‌پردازش شده و بریده شده مربوط به هر یک از مناطق نمونه نمایش داده شده است.

<sup>9</sup> overall accuracy

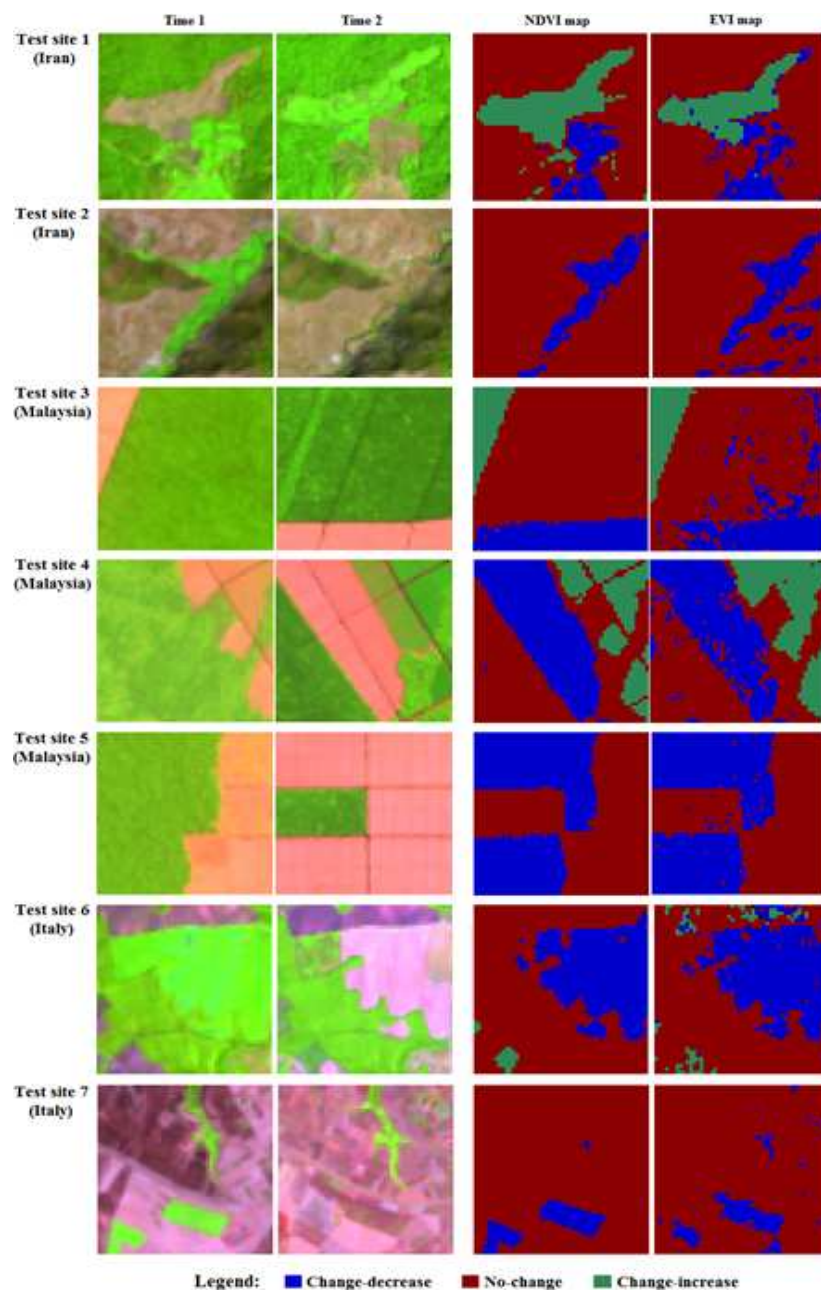
<sup>10</sup> kappa coefficient

<sup>11</sup> commission and omission errors

<sup>12</sup> true color composition

<sup>13</sup> stratified random sampling

<sup>14</sup> confusion matrix



شکل ۱- تصاویر لندست بریده شده در هر سری زمانی برای مناطق نمونه و نقشه های تغییر پوشش گیاهی برای مناطق نمونه با استفاده از روش های تفاضل NDVI و EVI



بازرسی و تفسیر بصری نقشه‌های حاصل شده بیانگر ارجحیت نتایج به دست آمده از روش NDVI نسبت به روش EVI در بیشتر مناطق نمونه مورد مطالعه می‌باشد. با این حال، برای ارزیابی دقیق‌تر، آنالیزهای دقت کلی و ضریب کاپا محاسبه شدند تا دقت نتایج حاصل شده به صورت آماری سنجیده شود. نتایج این آنالیزها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- آنالیزهای ارزیابی دقت				
منطقه نمونه	تفاضل NDVI		تفاضل EVI	
	دقت کلی (درصد)	ضریب کاپا	دقت کلی (درصد)	ضریب کاپا
شماره ۱	۹۷/۹۶	۰/۹۷	۹۳/۸۸	۰/۹۰
شماره ۲	۹۸/۲۸	۰/۹۴	۹۴/۸۳	۰/۸۳
شماره ۳	۹۹/۵۶	۰/۹۹	۹۰/۵۱	۰/۷۷
شماره ۴	۹۸/۶۱	۰/۹۸	۹۶/۱۸	۰/۹۴
شماره ۵	۹۸/۹۱	۰/۹۸	۹۸/۰۳	۰/۹۶
شماره ۶	۹۱/۸۳	۰/۸۵	۸۰/۶۵	۰/۶۶
شماره ۷	۹۸/۷۹	۰/۹۶	۹۱/۸۲	۰/۷۶

همانند تفسیر بصری، آنالیزهای آماری ارزیابی دقت نیز حکایت از برتری روش NDVI نسبت به روش EVI در آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی دارد. این آنالیزها نشان می‌دهند هر چند نتایج حاصل از روش EVI جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در بیشتر مناطق نمونه قابل قبول می‌باشد اما در تمامی مناطق نمونه با تنوع محیطی و آب و هوایی مختلف، روش NDVI نتایج بسیار بهتری را فراهم نموده است. بهترین نتایج روش NDVI، در مناطق نمونه ۳ (با دقت کلی ۹۹/۵۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۹) و ۵ (با دقت کلی ۹۸/۹۱ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۸) حاصل شد. در حالیکه، بهترین نتایج روش EVI، در مناطق نمونه ۴ (با دقت کلی ۹۶/۱۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۴) و ۵ (با دقت کلی ۹۸/۰۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۶) به دست آمد. از طرف دیگر، ضعیف‌ترین نتیجه روش‌های بکار برده شده، در منطقه نمونه ۶ با دقت کلی ۹۱/۸۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۵ برای روش NDVI و دقت کلی ۸۰/۶۵ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۶ برای روش EVI به دست آمد. در مرحله بعد، خطاهای

کمسیون و امیسیون نیز محاسبه شدند تا ماهیت خطاهای ایجاد شده در آنالیزهای بالا تشخیص داده شود (جدول ۴).

جدول ۴- خطاهای کمسیون و امیسیون محاسبه شده

تفاضل EVI		تفاضل NDVI		طبقه	منطقه نمونه
خطای امیسیون (درصد)	خطای کمسیون (درصد)	خطای امیسیون (درصد)	خطای کمسیون (درصد)		
۲۶/۰۹	۰/۰۰	۸/۷۰	۰/۰۰	کاهش پوشش گیاهی	شماره ۱
۰/۰۰	۱۱/۷۶	۰/۰۰	۴/۲۶	بدون تغییر	
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	افزایش پوشش گیاهی	
۶/۹۰	۲۰/۵۹	۰/۰۰	۲/۰۳	کاهش پوشش گیاهی	شماره ۲
۴/۸۳	۱/۴۳	۱۰/۳۴	۰/۰۰	بدون تغییر	
۱۷/۳۹	۳۳/۷۲	۴/۷۶	۰/۰۰	کاهش پوشش گیاهی	شماره ۳
۸/۷۷	۴/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۸	بدون تغییر	
۲/۳۸	۲/۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	افزایش پوشش گیاهی	
۰/۹۳	۷/۸۳	۰/۰۰	۰/۰۰	کاهش پوشش گیاهی	شماره ۴
۸/۸۲	۱/۰۶	۰/۰۰	۳/۷۷	بدون تغییر	
۱/۲۷	۰/۰۰	۵/۰۶	۰/۰۰	افزایش پوشش گیاهی	
۴/۵۵	۱/۳۴	۰/۳۳	۱/۳۰	کاهش پوشش گیاهی	شماره ۵
۰/۶۶	۲/۲۷	۲/۶۰	۰/۰۰	بدون تغییر	
۹/۸۸	۸/۲۸	۶۱/۷۶	۰/۰۰	کاهش پوشش گیاهی	شماره ۶
۱۷/۳۹	۲۳/۵۶	۰/۰۰	۱۵/۲۶	بدون تغییر	
۷۶/۴۷	۶۱/۹۰	۵/۲۳	۰/۰۰	افزایش پوشش گیاهی	
۷/۲۲	۳/۱۷	۱/۱۴	۰/۳۸	کاهش پوشش گیاهی	شماره ۷
۱۱/۹۴	۲۴/۳۶	۱/۴۹	۴/۳۵	بدون تغییر	

همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، خطاهای کمسیون و امیسیون نسبتاً زیادی در نتایج حاصل از روش EVI در مقایسه با روش NDVI ایجاد شده است که به علت دقت کلی و ضریب کاپا پایین‌تر در این روش می‌باشد. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد در مناطق نمونه‌ای که دقت روش‌های NDVI و EVI بالاتر بوده است میزان خطاهای کمسیون و امیسیون در مقایسه با مناطق نمونه دیگر کمتر می‌باشد. از طرف دیگر، در منطقه نمونه ۶ که هر دو روش ضعیف‌ترین نتایج دقت کلی و ضریب

کاپا را حاصل کردند، روش NDVI طبقه "کاهش پوشش گیاهی" را حدود ۶۱/۷۶ درصد کمتر از میزان واقعی آن تخمین زده است که خطای نسبتاً زیادی محسوب می‌شود. همچنین این روش، طبقه "افزایش پوشش گیاهی" را حدود ۵/۲۳ درصد کمتر تخمین زده است، در حالیکه طبقه "بدون تغییر پوشش گیاهی" حدود ۱۵/۲۶ درصد بیشتر از میزان واقعی آن تخمین زده شده است. در نتیجه، علت پائین تر بودن دقت روش NDVI در منطقه نمونه ۶، خطای آمیسیون زیاد در طبقه "کاهش پوشش گیاهی" می‌باشد؛ اما روش EVI، به‌ویژه در طبقه "افزایش پوشش گیاهی"، میزان خطای کمیسیون و آمیسیون زیادی را ایجاد کرده است که عامل اصلی پائین تر بودن دقت این روش در منطقه نمونه ۶ می‌باشد.

علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که در طبقات تغییر (همراه با کاهش یا افزایش پوشش گیاهی) با استفاده از روش NDVI، در بیشتر مناطق نمونه، میزان خطای آمیسیون بیشتر از خطای کمیسیون می‌باشد. این مطلب بیانگر این است که در حالت کلی، روش NDVI طبقات تغییر را کمتر از میزان واقعی آن‌ها تخمین زده است. برعکس، در بیشتر مناطق نمونه، در طبقه "بدون تغییر"، میزان خطای کمیسیون این روش بیشتر از خطای آمیسیون آن می‌باشد که بیانگر بیشتر از میزان واقعی تخمین زده شدن این طبقه با استفاده از روش NDVI می‌باشد. از آنجائی که طبقه‌بندی تصویر در این تحقیق در سطح پیکسل<sup>۱۵</sup> می‌باشد، به نظر می‌رسد دلیل اصلی ایجاد چنین خطاهایی در نتایج، وجود پیکسل‌های مرکب از پوشش گیاهی و خاک در تصاویر می‌باشد که تخصیص طبقه گیاه یا غیر گیاه به این پیکسل‌ها را مشکل می‌سازد.

معمولاً وجود انواع مختلف پوشش گیاهی از متراکم تا پراکنده، انتخاب یک حد آستانه<sup>۱۶</sup> پیش‌فرض و پایدار را برای استخراج پوشش گیاهی مشکل می‌سازد. میزان حد آستانه همچنین می‌تواند در شرایط محیطی مختلف نیز متفاوت باشد. بنابراین، برای کسب بهترین نتیجه باید یک حد آستانه ویژه برای هر منطقه<sup>۱۷</sup> تعیین کرد (Jarchow et al., 2017; Zhao et al., 2018; Castillo et al., 2018; Tsai et al., 2018). از طرف دیگر، از آنجائی که در آشکارسازی تغییرات یک عارضه بین دو زمان مختلف با روش تفاضل شاخص، ممکن هست به طور هم‌زمان با دو حالت تغییر همراه با کاهش و افزایش میزان عارضه موردنظر مواجه باشیم (یعنی در بخشی از منطقه کاهش و در بخشی دیگر افزایش داشته باشیم)، بنابراین امکان مشخص کردن یک حد آستانه منفرد برای تفکیک کردن مناطق "تغییر یافته همراه با کاهش میزان عارضه" و مناطق "تغییریافته همراه با افزایش میزان عارضه" و مناطق "بدون

<sup>۱۵</sup> pixel-level

<sup>۱۶</sup> threshold value

<sup>۱۷</sup> region-specific threshold

تغییر" وجود ندارد. بنابراین، در آشکارسازی تغییرات با استفاده از روش تفاضل شاخص، تعیین حد آستانه چندان مهم نمی‌باشد، بلکه تفکیک دقیق مناطق تغییر یافته از مناطق بدون تغییر هدف اصلی می‌باشد. به طور معمول تفکیک طبقات مختلف از هم با استفاده از روش آزمون و خطا<sup>۱۸</sup> و مقایسه با نقشه مبنا انجام می‌گیرد.

در پایان، نتایج حاصل از این پژوهش، با مطالعات گذشته در زمینه استخراج پوشش گیاهی و یا آشکارسازی تغییرات آن در شرایط محیطی مختلف مقایسه گردید. از آنجائی که در تمامی مناطق نمونه در این مطالعه، دقت روش NDVI بالاتر از روش EVI به دست آمد، لذا نتایج حاصل از روش NDVI مبنای این مقایسه قرار گرفت. در مطالعه لی‌ون و همکاران (Lun et al., 2017) که در شرایط محیطی گرمسیری انجام شد، دقت کلی و ضریب کاپا برای روش NDVI به ترتیب ۸۳/۳۳ درصد و ۰/۶۴ به دست آمد. در حالیکه در این مطالعه، دقت کلی در مناطق نمونه انتخاب شده حدود ۹۹ درصد و ضریب کاپا حدود ۰/۹۸ در این شرایط محیطی به دست آمد. در مطالعه کری‌می و همکاران (Karimi et al., 2018)، دقت کلی ۸۴/۷۵ درصد و ضریب کاپا ۰/۸ در شرایط محیطی نیمه گرمسیری به دست آمد. در حالیکه در مناطق نیمه گرمسیری در این مطالعه، دقت کلی حدود ۹۸ درصد و ضریب کاپا حدود ۰/۹۵ به دست آمد. در شرایط محیطی مدیترانه‌ای، نتایج حاصل از مطالعه باراکات و همکاران (Barakat et al., 2018) بیانگر دقت کلی ۹۷/۷۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۷ می‌باشد. در این شرایط محیطی، در منطقه نمونه ۶، دقت کلی ۹۱/۸۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۵ در این مطالعه به دست آمد، در حالی که در منطقه نمونه ۷، دقت کلی ۹۸/۷۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۶ حاصل شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، غیر از منطقه نمونه ۶، در سایر موارد دقت نتایج به دست آمده در این پژوهش بالاتر از نتایج حاصل از مطالعات دیگر می‌باشد. از آنجائی که در این مطالعه، جهت تسهیل مقایسه روش‌های استفاده شده، مناطق نمونه نسبتاً کوچک و یکنواخت انتخاب شدند، لذا بالاتر بودن دقت نتایج به دست آمده نسبت به تحقیقات مورد مقایسه قابل انتظار است.

### نتیجه‌گیری

مروری بر مطالعات گذشته نشان داد که جهت استخراج پوشش گیاهی یا آشکارسازی تغییرات آن، به طور معمول از شاخص‌های NDVI و EVI استفاده می‌شود. لذا، در این مطالعه بررسی جامعی روی کارایی و قابلیت این دو شاخص در آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در شرایط محیطی و مناطق مختلف انجام شد. به طور خلاصه، نتایج به دست آمده بیانگر برتری مطلق روش NDVI جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در مناطق نمونه انتخاب شده در شرایط محیطی مختلف می‌باشد.

<sup>۱۸</sup>trial and error

بنابراین، به محققان توصیه می‌گردد در صورتی که هدف، استخراج پوشش گیاهی و یا آشکارسازی تغییرات آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد، صرف‌نظر از شرایط محیطی منطقه، شاخص NDVI بهترین روش جهت انجام این کار می‌باشد، هرچند روش EVI نیز در برخی از مناطق نمونه نتایج قابل‌قبولی را ارائه نمود. در پایان، نتایج به دست آمده در این پژوهش، قابلیت اجرای بالاتر روش NDVI را در مقایسه با روش EVI جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در مناطق گرمسیری، نیمه گرمسیری و مدیترانه‌ای با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست نشان داد.

## منابع

- Bagan, H., Yamagata, Y. 2012. Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40 years. *Remote Sensing of Environment*, 127: 210-222.
- Barakat, A., Khellouk, R., El Jazouli, A., Touhami, F., Nadem, S. 2018. Monitoring of forest cover dynamics in eastern area of Béni-Mellal Province using ASTER and Sentinel-2A multispectral data. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 3: 203-215.
- Baskan, O., Dengiz, O., Demirag, İ. T. 2017. The land productivity dynamics trend as a tool for land degradation assessment in a dryland ecosystem. *Environmental monitoring and assessment*, 5: 212.
- Bo-Lun, L. I., Chao-Pu, T. I., Xiao-Yuan, Y. A. N. 2017. Estimating rice paddy areas in China using multi-temporal cloud-free NDVI imagery based on change detection. *Pedosphere*. In Press.
- Brisco, B., Schmitt, A., Murnaghan, K., Kaya, S., Roth, A. 2013. SAR polarimetric change detection for flooded vegetation. *International Journal of Digital Earth*, 6: 103-114.
- Castillo, D.E.G., Sanchez-Azofeifa, A., Gamon, J. A., Avendaño, M. Q. 2018. Integrating proximal broad-band vegetation indices and carbon fluxes to model gross primary productivity in a tropical dry forest. *Environmental Research Letters*, 13: 065017.
- Chavez J.R., P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections - Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62: 1025-1036.
- Clevers, J.G.P.W., Verhoef, W. 1993. LAI estimation by means of the WdVI: A sensitivity analysis with a combined PROSPECT-SAIL model. *Remote Sensing Reviews*, 7: 43-64.
- Demir, B., Bovolo, F., Bruzzone, L. 2013. Updating land-cover maps by classification of image time series: A novel change-detection-driven transfer

- learning approach. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51: 300-312.
- Dronova, I., Gong, P., Wang, L. 2011. Object-based analysis and change detection of major wetland cover types and their classification uncertainty during the low water period at Poyang Lake, China. *Remote Sensing of Environment*, 115: 3220-3236.
- Dutrieux, L.P., Verbesselt, J., Kooistra, L., Herold, M. 2015. Monitoring forest cover loss using multiple data streams, a case study of a tropical dry forest in Bolivia. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 107: 112-125.
- Gärtner, P., Förster, M., Kurban, A., Kleinschmit, B. 2014. Object based change detection of Central Asian Tugai vegetation with very high spatial resolution satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 31: 110-121.
- Hansen, M.C., Roy, D.P., Lindquist, E., Adusei, B., Justice, C.O., Altstatt, A. 2008. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sensing of Environment*, 112: 2495-2513.
- Hilker, T., Lyapustin, A.I., Hall, F.G., Myneni, R., Knyazikhin, Y., Wang, Y., Tucker, C.J., Sellers, P.J. 2015. On the measurability of change in Amazon vegetation from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 166: 233-242.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25, 295-309.
- Huete, A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., van Leeuwen, W., 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59: 440-451.
- Jamali, S., Seaquist, J., Eklundh, L.J. 2014. Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel. *Remote Sensing of Environment*, 141: 79-89.
- Jarchow, C.J., Nagler, P.L., Glenn, E.P. 2017. Greenup and evapotranspiration following the Minute 319 pulse flow to Mexico: An analysis using Landsat 8 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data. *Ecological engineering*, 106: 776-783.
- Jiang, Z., Huete, A.R., Didan, K., Miura, T. 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3833-3845.
- Kaliraj, S., MuthuMeenakshi, S., Malar, V.K. 2012. Application of remote sensing in detection of forest cover changes using geo-statistical change detection matrices - A case study of Devanampatti Reserve Forest, Tamilnadu, India. *Nature Environment and Pollution Technology*, 11: 261-269.
- Karimi, A., Abdollahi, S., Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., Singh, V. P. 2018. Exponential Micro Scale of Forest's Map by Satellite Data of Sensor OLI, Case

- Study: Forests of Golestan Province, Iran. *Journal of Geography and Cartography*, 1: 1-8.
- Kumagai, K. 2011. Verification of the analysis method for extracting the spatial continuity of the vegetation distribution on a regional scale. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35: 399-407.
- Liu, H.Q., Huete, A. 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 33: 457-465.
- Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E., Moran, E. 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 2365-2407.
- Lunetta, R.S., Knight, J.F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G., Worthy, L. D. 2006. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote sensing of environment*, 105: 142-154.
- Markogianni, V., Dimitriou, E., Kalivas, D.P. 2013. Land-use and vegetation change detection in Plastira artificial lake catchment (Greece) by using remote-sensing and GIS techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 34: 1265-1281.
- Marston, C.G., Aplin, P., Wilkinson, D.M., Field, R., O'Regan, H.J. 2017. Scrubbing Up: Multi-Scale Investigation of Woody Encroachment in a Southern African Savannah. *Remote Sensing*, 9: 419.
- Martinis, S., Plank, S., Ćwik, K. 2018. The Use of Sentinel-1 Time-Series Data to Improve Flood Monitoring in Arid Areas. *Remote Sensing*, 10: 583.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., Qiu, G. 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7: 2636-2651.
- Michishita, R., Jiang, Z., Gong, P., Xu, B. 2012. Bi-scale analysis of multitemporal land cover fractions for wetland vegetation mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 72: 1-15.
- Morrison, J., Higginbottom, T., Symeonakis, E., Jones, M., Omengo, F., Walker, S., Cain, B. 2018. Detecting vegetation change in response to confining elephants in forests using MODIS time-series and BFAST. *Remote Sensing*, 10: 1075.
- O'Connell, J., Connolly, J., Holden, N.M. 2014. A monitoring protocol for vegetation change on Irish peatland and heath. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 31: 130-142.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H., Sorooshian, S. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48: 119-126.
- Raja, R.A.A., Anand, V., Kumar, A.S., Maithani, S., Kumar, V.A. 2013. Wavelet Based Post Classification Change Detection Technique for Urban Growth Monitoring. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41: 35-43.

- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). Third ERTS (Earth Resources Technology Satellite) Symposium, Greenbelt, pp. 309-317.
- Salmon, B.P., Kleynhans, W., Van Den Bergh, F., Olivier, J.C., Grobler, T.L., Wessels, K.J. 2013. Land cover change detection using the internal covariance matrix of the extended kalman filter over multiple spectral bands. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6: 1079-1085.
- Singh, A. 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10: 989-1003.
- Song, Y., Jin, L., Wang, H. 2018. Vegetation Changes along the Qinghai-Tibet Plateau Engineering Corridor Since 2000 Induced by Climate Change and Human Activities. *Remote Sensing*, 10: 95.
- Spiekermann, R., Brandt, M., Samimi, C. 2015. Woody vegetation and land cover changes in the Sahel of Mali (1967–2011). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34: 113-121.
- Testa, S., Soudani, K., Boschetti, L., Mondino, E. B. 2018. MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI time series to estimate phenological metrics in French deciduous forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64: 132-144.
- Tsai, Y.H., Stow, D., Chen, H. L., Lewison, R., An, L., Shi, L. 2018. Mapping Vegetation and Land Use Types in Fanjingshan National Nature Reserve Using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 10: 927.
- Volpi, M., Petropoulos, G.P., Kanevski, M. 2013. Flooding extent cartography with Landsat TM imagery and regularized kernel Fisher's discriminant analysis. *Computers and Geosciences*, 57: 24-31.
- Wang, L., Zhu, J., Xu, Y., Wang, Z. 2018. Urban Built-Up Area Boundary Extraction and Spatial-Temporal Characteristics Based on Land Surface Temperature Retrieval. *Remote Sensing*, 10: 473.
- Zhao, L., Dai, A., Dong, B. 2018. Changes in global vegetation activity and its driving factors during 1982–2013. *Agricultural and Forest Meteorology*, 249: 198-209.
- Zhu, X., Cao, J., Dai, Y. 2011. A decision tree model for meteorological disasters grade evaluation of flood. *Proceedings - 4th International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, 916-919.