

جغرافیا و توسعه شماره ۵۳ زمستان ۱۳۹۷

وصول مقاله: ۹۶/۰۸/۱۵

تأیید نهایی: ۹۷/۰۴/۳۰

صفحات: ۸۵-۱۰۴

## ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از معیارهای سیمای سرزمین و مدل مارکوف (مطالعه موردی: شهرستان همدان)

دکتر کامران شایسته<sup>۱\*</sup>، فاطمه محمدیاری<sup>۲</sup>

### چکیده

تخریب سیمای سرزمین، تغییر پوشش گیاهی و تغییر کاربری مواردی هستند که به‌طور مداوم بر محیط‌زیست کشور فشار وارد می‌کنند، بنابراین نقشه‌های پوشش گیاهی، در تولید اطلاعات در جهت برنامه‌ریزی‌های شهری نقش مهمی دارند. در این پژوهش به‌منظور تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی شهرستان همدان از اطلاعات ماهواره‌ی لندست سنجنده‌های ETM<sup>+</sup> و OLI استفاده و مقدار شاخص NDVI محاسبه شد. NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است، که از طریق نسبت‌گیری باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به‌دست می‌آید. بدین منظور برای بررسی تغییرات کیفی پوشش گیاهی، مقادیر عددی این شاخص به ۴ کلاس مختلف سرسبزی شامل اراضی با پوشش عالی، پوشش بسیار خوب، پوشش خوب و ضعیف طبقه‌بندی شد و برای آشکارسازی تغییرات، نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده وارد مدل LCM شدند. سپس تحلیل تغییرات سیمای سرزمین صورت گرفت که بدین منظور تعداد ۵ سنجه در سطح کلاس و ۶ سنجه در سطح سیمای سرزمین مورد محاسبه قرار گرفت. پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در ۱۵ سال آینده با زنجیره مارکوف انجام شد.

تجزیه و تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین حاکی از آن است که سطح پوشش بسیار خوب از ۱۲ درصد در سال ۱۳۸۰، به ۲۱ درصد در سال ۱۳۹۵ رسیده است. همچنین اراضی با پوشش خوب که به‌عنوان پوشش گیاهی طبیعی آن به‌شمار می‌رود، در دوره زمانی مشابه کاهش یافته است. نتایج حاصل از سنجه تنوع شانون در سطح سیمای سرزمین نشان می‌دهد که مقادیر مربوط به تنوع لکه‌ها در سطح شهرستان بالاتر از یک است، که بیانگر تنوع و فراوانی بالا و سیمای سرزمین بسیار متنوع در شهرستان است. نتایج پیش‌بینی نشان می‌دهد که بیشترین احتمال تخریب تا افق ۱۴۱۰ در اراضی با پوشش عالی (۰/۸۳۲۹) خواهد بود. همچنین تخریب اراضی با پوشش خوب به اراضی با درجه سرسبزی ضعیف بیشترین احتمال (۰/۳۵۸۱) تغییر را در آینده دارد. یافته‌های این تحقیق بر لزوم توجه بیشتر به بهره‌برداری پایدار از سرزمین و جلوگیری از تخریب آن در این شهرستان تأکید دارد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره مارکوف، سیمای سرزمین، پوشش گیاهی، آشکارسازی تغییرات، شهرستان همدان.

۱- استادیار محیط زیست، دانشکده محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران\*

۲- دانشجوی دکتری آمایش محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست و منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

\*k.shayesteh@malayeru.ac.ir  
fatemeh.mohammadyary@stu.malayeru.ac.ir

## مقدمه

و کاهش مرگومیر (Lachowycz & Jones, 2014: 9) در ارتباط با فضای سبز شهری گزارش شده است (James et al, 2015: 131). پوشش‌های گیاهی، به علل مختلف و به‌مرور زمان در اثر عوامل طبیعی یا انسانی دچار تغییر شده که شرایط و عملکرد اکوسیستم را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین نیاز به آشکارسازی، پیش‌بینی و مراقبت چنین تغییراتی در یک اکوسیستم از اهمیت بسزایی برخوردار است (Pettorelli et al, 2005: 504).

در مناطق شهری به‌دلیل گسترش نواحی شهری، تکه‌تکه شدن و به اصطلاح پهروشدگی سیمای سرزمین رخ می‌دهد که باعث ایزوله‌شدن، یکنواخت شدن ترکیب گونه‌ای و تخریب زیستگاه‌های طبیعی می‌شود (Alberti & Marzluff, 2004: 84). توسعه مفاهیم و ابزارهایی برای توصیف و تعیین کمیت پوشش گیاهی یا الگوهای چشم‌انداز برای مطالعه تغییرات الگوهای پوشش گیاهی ضروری است (Avits et al, 2005: 2981; Zhang et al, 2013: 51).

از مطالعه سنج‌های سیمای سرزمین به‌طور مستقیم می‌توان در آسیب‌پذیری اکوسیستم و نیز تغییراتی که در آن ایجاد شده است، به‌صورت اعداد کمی‌شده‌ای نتیجه‌گیری کرد. این اعداد کمی که تغییرات سنج‌های سیمای سرزمین، وضعیت ترمیم یا آسیب‌پذیری سیمای سرزمین را بیان می‌دارند، به‌صورت‌های مختلفی قابل تفسیر هستند (Farina, 1998: 112).

درواقع این سنج‌ها الگوها و محاسبات عددی هستند که ویژگی‌های مکانی عوارض موجود در سطح زمین را در سه سطح پهروها، کلاس‌ها یا طبقه‌ها و سیمای سرزمین تعیین می‌کنند که این سنج‌ها

در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص<sup>۱</sup> NDVI و شاخص<sup>۲</sup> EVI شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی هستند که برای آماده‌کردن اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به‌کار گرفته می‌شوند (Piao et al, 2006: 674, 2011: 3229; Zhang et al, 2014: 549). شاخص NDVI شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین شاخص در مطالعات پوشش گیاهی است (Blaes et al, 2016: 531; Lanorte et al, 2014: 443; Wang et al., 2011: 2568) که با استفاده از داده‌های سنجش از دور چندطیفی و براساس اندازه‌گیری‌های انعکاس طیفی باندهای قرمز و مادون قرمز به‌دست می‌آید (James et al, 2015: 132). پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی هر اکوسیستم زمینی، نقش اساسی در تنظیم تبادل انرژی، چرخه کربن، تغییر آب و هوا از طریق فتوسنتز، تنفس، تعرق و بازتاب سطح ایفا می‌کند (Begue et al, 2011: 414). شاخص NDVI معمولاً برای نظارت بر تغییرات در پوشش گیاهی و بررسی پاسخ‌های پوشش گیاهی به تغییرات آب و هوایی است (Yu et al., 2010: 22152; Shen et al., 2014: 72, 2015: 9301; Xu et al., 2015: 2)؛ از این‌رو تجزیه و تحلیل این شاخص، به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم برای ارزیابی پویایی اکوسیستم است (Petropoulos et al., 2014: 121). پوشش گیاهی در مناطق شهری به‌عنوان عاملی مؤثر در کنترل آلودگی هوا و تأثیرگذار بر سلامت انسان‌ها معرفی می‌شود (Wagrowski & Hites, 1997: 279). بهبود سلامت روان (Gascon et al, 2015: 88)، تأثیر بر بیماری‌های قلبی و عروقی (Pereira et al, 2012: 463)

1-Normalized Difference Vegetation Index  
2-Enhanced Vegetation Index

ماهواره‌ای اهمیت زیادی دارد. لازم است پس از دریافت داده‌ها، بررسی دقیقی درباره آن‌ها از نظر هندسی و رادیومتری به عمل آید (علوی پناه و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۷).

#### تصحیح رادیومتری

تصحیحات رادیومتری شامل آن دسته از تصحیحات می‌باشند که تنها بر روی درجات خاکستری اعمال شده و فقط با تغییر مقادیر آن‌ها به صورت مجزا (به صورت پیکسل به پیکسل)، سعی در جبران بعضی خطاهای موجود دارند (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱: ۲۱). تصحیحات رادیومتری در قبال تغییرات منظر، نوردهی، دید هندسی، شرایط جوی و نویز سنجنده باید صورت گیرند.

#### تصحیح اتمسفری

امواج الکترومغناطیسی قبل از دریافت به وسیله سنسورهای سنجنده، از جو عبور می‌کنند که طی این فرایند در اتمسفر جذب و پراکندگی نور خورشید و پرتو بازتاب شده از اهداف صورت می‌گیرد. تصحیح روند از بین بردن این اثرات جوی، تصحیح اتمسفری نامیده می‌شود (8: Yunkai and Fan, 2012).

تصحیح اتمسفری مهم‌ترین بخش قبل از پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای از راه دور است. این تصحیح به خصوص در مواردی استفاده می‌شود که مقایسه و تجزیه و تحلیل تصاویر چندزمانه مدنظر است (90: Hadjimitsis, et al, 2010) و همچنین برای سیستم‌های تصویربرداری چندطیفی مانند اسکنرهای سنجنده‌های ماهواره لندست که در بخش طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک اطلاعات را ثبت می‌کنند و جذب اتمسفر به‌طور عمده بر روی باندهای مرئی و مادون قرمز تأثیر می‌گذارد، اهمیت دارد

به صورت کمی شده و عددی نمایش داده می‌شوند (151: Gustafson, 1998). با توجه به آثار منفی و پیامدهای نامطلوبی که در اثر بهره‌کشی و استفاده ناپایدار از سرزمین به وجود آمده است، بررسی و تجزیه و تحلیل تغییرات سیمای سرزمین و روندسازی آن در طی زمان می‌تواند در ارزیابی کمی اثرات توسعه به عنوان ابزاری مفید مؤثر باشد. بسیاری از محققان استفاده از شاخص NDVI را برای بررسی پوشش گیاهی گزارش کرده‌اند (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۳؛ جعفری و آرمان، ۱۳۹۳: ۳۹۱؛ Wen et al, 2017: 947؛ Wu et al, 2017: 171؛ Nouri et al, 2017: 11؛ Gascon et al, 2016: 88؛ Davies et al, 2016: 332؛ Aburas et al, 2015: 238). پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی با مدل مارکوف توسط سرودی و جوزی (۱۳۹۱) و استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین در بررسی تغییرات پوشش گیاهی را ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) ارائه کردند. وجه تمایز این مطالعه با مطالعات مشابه که تنها به سنجش میزان تغییرات پوشش گیاهی پرداخته‌اند، طبقه‌بندی نقشه‌های پوشش گیاهی، آشکارسازی تغییرات با مدل LCM، مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی شده با تحلیل CROSSTAB، بررسی تغییرات پوشش گیاهی در سطح سیمای سرزمین و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در آینده با زنجیره مارکوف است.

#### مبانی نظری پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در مرحله پیش‌پردازش، با یک سری عملیات بر روی داده‌های خام (قبل از هرگونه پردازش بصری یا رقومی)، خطاهای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و غیره مورد توجه قرار می‌گیرند؛ بنابراین شناسایی و تشخیص خطاهای احتمالی موجود در داده‌های

(Tyagi & Bhosle, 2011: 565).

برای رفع خطای اتمسفری سنجنده<sup>+</sup> ETM<sup>+</sup> از رابطه ۱ و سنجنده<sup>-</sup> OLI از رابطه‌های ۲ و ۳ استفاده شد:

(۱)

$$L = L_{MIN} + \frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN}} (Q_{CAL} - Q_{CALMIN})$$

که در آن،  $L$ : تابش طیفی هر باند؛  $L_{MIN}$ : تابش طیفی در مقدار  $DN = 0$ ؛  $L_{MAX}$ : تابش طیفی در  $DN = 255$ ؛  $Q_{CAL}$ : عدد رقومی  $(DN)$ ؛  $Q_{CALMIN}$  و  $Q_{CALMAX}$  بیشترین و کمترین ارزش پیکسل واسنجی و کوانتیزه شده است.

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (3)$$

که  $\rho\lambda$ : بازتاب‌های سیاره‌ای در اتمسفر فوقانی؛

$\rho\lambda'$ : انعکاس‌های اتمسفر فوقانی بدون تصحیح زاویه‌های خورشیدی؛  $M_p$ : فاکتور تغییر اندازه REFLECTANCE MULT BAND که مقدار آن برای تمام باندها  $10^{-5} * 2$  است؛  $A_p$ : فاکتور تغییر اندازه REFLECTANCE ADD BAND که مقدار آن برای تمام باندها  $0.1$  است؛  $Q_{cal}$ : مقدار پیکسل  $(DN)$  و  $\theta_{SE}$ : زاویه محلی ارتفاع خورشید که برابر با  $34/8$  است. همه مقادیر از فایل هدر<sup>۱</sup> تصویر استخراج و در رابطه استفاده شد (محمدیاری، ۱۳۹۴: ۶۱).

شاخص نرمال شده<sup>۲</sup> اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)

NDVI، در مطالعات متعدد تعیین گسترش گیاهان و نباتات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌توان براساس هر پیکسل و به‌سادگی آن را محاسبه کرد:

(۴)

باند قرمز + باند مادون قرمز / باند قرمز - باند مادون قرمز = NDVI

که برای سنجنده<sup>+</sup> ETM، باند مادون قرمز، باند چهار و باند قرمز، باند سه و برای سنجنده<sup>-</sup> OLI، باند مادون قرمز، باند پنج و باند قرمز، باند چهار است. این شاخص واکنش به اعمال فتوسنتزی را به خوبی نمایش می‌دهد؛ به طوری که پوشش گیاهی سالم یا مترکم، نور مرئی (قرمز) بیشتری را جذب و بخش زیادی از مادون قرمز را منعکس می‌کند، در حالی که پوشش گیاهی ناسالم نور مرئی بیشتری را منعکس و بخش کمی از مادون قرمز را جذب می‌کند

(Dutta et al, 2015: 54; Mulmi et al, 2016: 65)

### آشکارسازی تغییرات<sup>۲</sup>

روش‌های متعدد آشکارسازی تغییرات برای ارزیابی تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ارائه شده است (Lu et al, 2004: 2369; Coppin et al., 2004: 1571; Dewan & Yamaguchi, 2009: 394).

فرض اساسی در این روش‌ها این است که تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی، در نتیجه تفاوت‌های مقادیر بازتاب پیکسل‌ها بین تاریخ‌های موردنظر است. با این حال، در حالی که این روش‌ها در مکان‌یابی تغییر مؤثر هستند، اما نمی‌توانند ماهیت تغییر را شناسایی کنند (Ridd & Liu, 1998: 96). این روش به‌طور گسترده، برای شناسایی تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی (Lu et al, 2004: 2370)، به‌ویژه در محیط‌های شهری استفاده می‌شود (Jensen & Cowen, 1999: 614).

### مدل‌ساز تغییر کاربری<sup>۱</sup>

مدل‌ساز تغییر کاربری زمین، تجزیه و تحلیل کاملی از تغییرات زمین با ایجاد نقشه‌های تغییرات کاربری، نمودار، انتقال طبقه کاربری و روند آن‌ها را فراهم می‌کند. همچنین، قادر به ایجاد سناریوهای تغییر اراضی با ادغام عوامل زیستی، فیزیکی و اجتماعی و اقتصادی است که در تغییر کاربری اراضی تأثیرگذار هستند (Mas & Flores, 2008: 622).

مدل‌ساز تغییر کاربری اراضی در نرم‌افزار IDRISI و به صورت الحاقی در ArcGIS، ابزاری برای ارزیابی و طراحی تغییر پوشش زمین فراهم و کاربری اراضی/پوشش زمین را آنالیز می‌کند (Eastman, 2012: 27) (Gontier et al, 2009: 10; Václavík & Rogan, 2009: 16)

### مدل مارکوف<sup>۲</sup>

آنالیز زنجیره مارکوف فرایندی است که در آن حالت یک سیستم در زمان دوم با استفاده از حالت سیستم در زمان اول پیش‌بینی می‌شود و ماتریس احتمال‌های تغییر از هر کلاس پوشش به هر کلاس پوشش دیگر را ارائه می‌دهد (Eastman, 2006). در این روش ماتریس تغییرات ناحیه نشان می‌دهد، تغییر تعداد پیکسل‌هایی از یک کلاس کاربری اراضی به کلاس دیگر در یک دوره مشخص به چه میزان خواهد بود (محمدیاری، ۱۳۹۴: ۱۷). آنالیز زنجیره مارکوف ابزاری مناسب در جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی است و زمانی کاربرد دارد که تغییرات موجود در چشم‌انداز به راحتی قابل توصیف نباشد (Fan et al., 2007: 1326).

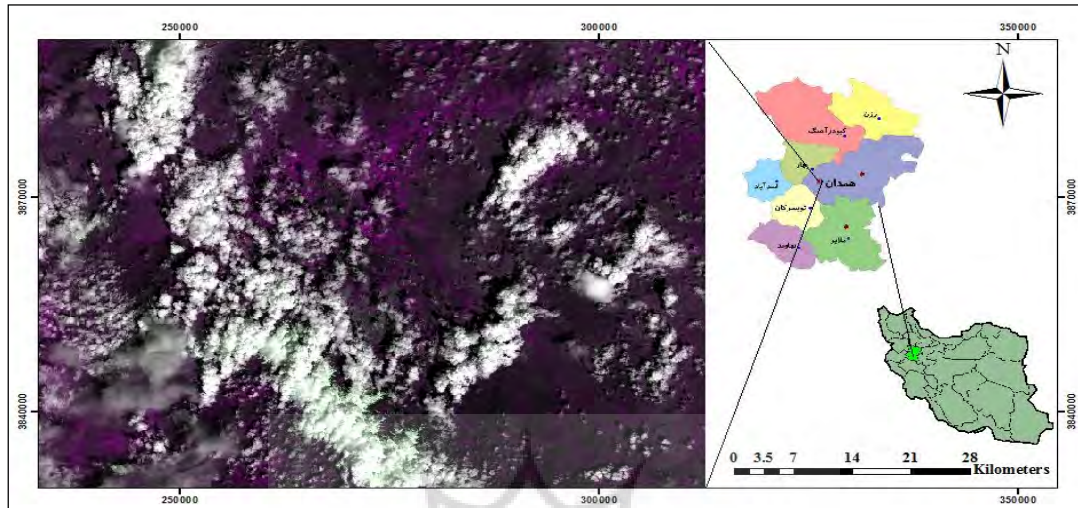
### متریک‌های سیمای سرزمین<sup>۳</sup>

سیمای سرزمین عبارت است از موزاییکی با کیلومترها وسعت که در آن اکوسیستم‌های محلی و کاربری‌های زمین تکرار شده باشند (Dramestad et al, 1996: 28). در واقع سیمای سرزمین عبارت است از سرشت و ویژگی کلی یک منطقه. سنجه‌های سیمای سرزمین ساختار فضایی سرزمین را به عنوان مجموعه‌ای واحد و دارای هویتی معین تشریح کرده و به منظور ارائه یک طبقه‌بندی اولیه از سیمای سرزمین مورد استفاده می‌باشند. در عمل متریک‌های سیمای سرزمین به عنوان شاخص‌های کمی‌ساز محیط زیست مطرح می‌شوند (Leitao et al, 2006: 76) که گوناگونی آن‌ها باعث کاربرد گسترده‌شان در برنامه‌ریزی محیط زیستی سیمای سرزمین می‌شود (خزائی و آذری دهکردی، ۱۳۸۸: ۷۲).

### مواد و روش‌ها

#### محدوده و قلمرو پژوهش

منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۸ دقیقه شمالی قرار دارد. مساحت منطقه ۴۹۹۷/۳ کیلومتر مربع است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

دو سری داده از دوره‌های زمانی مختلف مورد نیاز است (Sanchez & Yool, 2007: 1071)، در این پژوهش از دو تصویر ماهواره‌ی لندست (جدول ۱) استفاده شد. این تصاویر دارای شماره‌ی گذر ۱۶۶ و ردیف ۳۶ است (شکل ۲ و ۳).

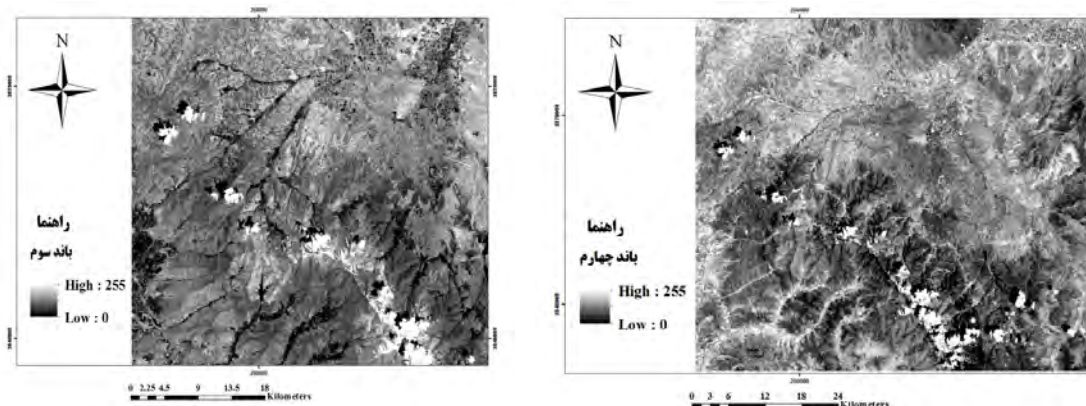
### روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع کاربردی و به روش توصیفی-تحلیلی است. در این تحقیق از نرم‌افزارهای Arc GIS، ENVI 4.8 و IDRISI Tige، Fragstats 4، 10.3 استفاده شده است. از آنجا که برای پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، حداقل

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

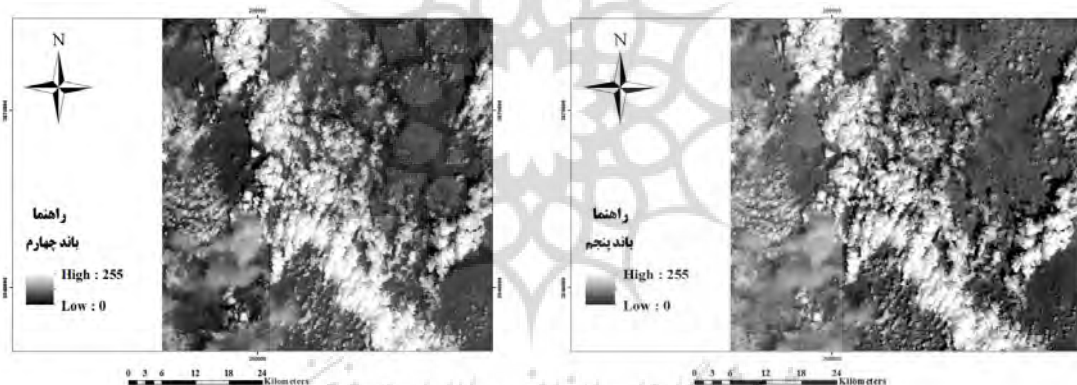
ردیف	تاریخ میلادی	تاریخ هجری شمسی	ماهواره	سنجنده	اندازه پیکسل	تعداد باند
۱	۲۰۰۱/۰۴/۳۰	۱۳۸۰/۰۲/۱۰	Landsat-7	ETM <sup>+</sup>	۲۸/۵	۸
۲	۲۰۱۶/۰۴/۱۵	۱۳۹۵/۰۱/۲۷	Landsat-8	OLI	۳۰	۱۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۲: تصاویر ماهواره لندست سنجنده ETM<sup>+</sup>

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۳: تصاویر ماهواره لندست سنجنده OLI

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

۵ سنجه در سطح کلاس و ۶ سنجه در سطح سیمای سرزمین مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته است. نحوه انتخاب سنجه‌ها براساس اهداف و مقیاس مطالعه، خروجی آن و مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) بوده است. درنهایت با استفاده از مدل مارکوف تغییرات پوشش گیاهی منطقه در افق ۱۴۱۰ پیش‌بینی شده است. در جدول (۲) توضیحات مربوط به هر سنجه ارائه شده است.

بر روی تصاویر چند زمانه استفاده شده در این تحقیق در نرم‌افزار ENVI 4.8 تصحیح هندسی، اتمسفری و پیش‌پردازش‌های اولیه صورت گرفت. سپس در محیط نرم‌افزار IDRISI Tiga، نقشه NDVI یا شاخص پوشش گیاهی تهیه شد و به ۴ کلاس اراضی با پوشش عالی، پوشش بسیار خوب، پوشش خوب و پوشش فقیر طبقه‌بندی شد. سپس تحلیل تغییرات سیمای سرزمین صورت گرفت که بدین منظور تعداد

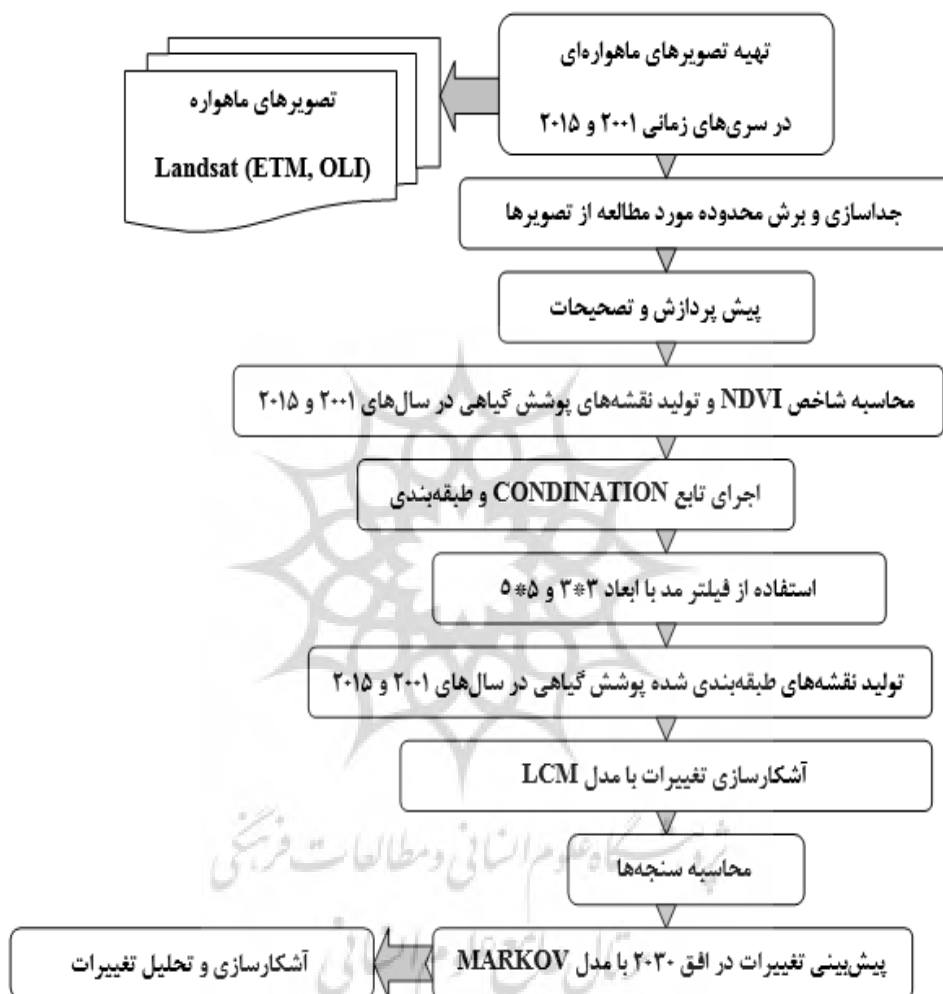
جدول ۲: مشخصات سنج‌های مورد استفاده

سطح	نوع سنج	توضیح	فرمول
کلاس	مساحت طبقه (CA)	مجموع مساحت پهروهای از یک نوع را محاسبه می‌کند	$CA = \sum_{l=1}^n A_{ij}$
	میانگین سطح لکه (MPA)	حاصل تقسیم مجموع مساحت پهروهای با کاربری مشابه بر تعداد کل آنها	$MPA = \frac{\sum_{j=1}^n A_{ij}}{n_i}$
	میانگین شاخص بعد فرکتال (MFRAC)	مجموع تمام لکه‌های متناظر با ارزش لکه فرکتال، تقسیم بر تعدادی از لکه‌های همان نوع	$MFRAC = \frac{\sum_{j=1}^n FRAC_{ij}}{n_i}$
	میانگین شاخص شکل (MSHI)	متوسط پیچیدگی شکل لکه است. با افزایش مقدار این سنج به صورت نامحدود، شکل لکه نامنظم‌تر می‌شود.	$MSHI = \frac{\sum_{j=1}^n SHAPE_{ij}}{n_i}$
	میانگین نزدیک‌ترین همسایه (MENN)	متوسط فاصله بین لکه‌های مشابه از یک کلاس است که نشان‌دهنده میزان ایزوله بودن آنهاست.	-
سیمای سرزمین	میانگین سطح لکه (MPA)	حاصل تقسیم مجموع مساحت پهروهای با کاربری مشابه بر تعداد کل آنها	$MPA = \frac{\sum_{j=1}^n A_j}{n_i}$
	میانگین شاخص بعد فرکتال (MFRAC)	مجموع تمام لکه‌های متناظر با ارزش لکه فرکتال تقسیم بر تعدادی از لکه‌های همان نوع	$MFRAC = \frac{\sum_{j=1}^m FRAC_j}{m}$
	میانگین شاخص شکل (MSHI)	متوسط پیچیدگی شکل لکه است. با افزایش مقدار این سنج به صورت نامحدود شکل لکه نامنظم‌تر می‌شود.	$MSHI = \frac{\sum_{j=1}^m SHAPE_j}{m}$
	شاخص تنوع شانون (SHDI)	تنوع را در هر لکه به‌طور نسبی محاسبه می‌کند. اگر در سیمای سرزمین فقط یک لکه وجود داشته باشد، این شاخص برابر با صفر است و با افزایش تعداد لکه افزایش می‌یابد.	$SHDI = -\sum_{l=1}^k (P_l \times \ln P_l)$
	شاخص یکنواختی شانون (SHEI)	چنانچه در منطقه پراکنش، کلاس‌های مختلف به‌طور متناسب و یکسان باشد، حداکثر یکنواختی شانون مشاهده می‌شود. حد پایین این شاخص صفر است که در این حالت لنداسکیپ تنها شامل یک لکه بوده و فاقد تنوع است. زمانی که پراکنش کلاس‌های مختلف کاملاً یکسان باشد، این شاخص معادل یک خواهد بود.	$SHEI = \frac{\sum_{l=1}^k (P_l \times \ln P_l)}{\ln k}$
	میانگین نزدیک‌ترین همسایه (MENN)	متوسط فاصله بین لکه‌های مشابه از یک کلاس است که نشان‌دهنده میزان ایزوله بودن آنهاست.	-

مأخذ: McGarigal et al, 2002; Zhang et al, 2013



روند کلی تحقیق در شکل (۴) نشان داده شده است.

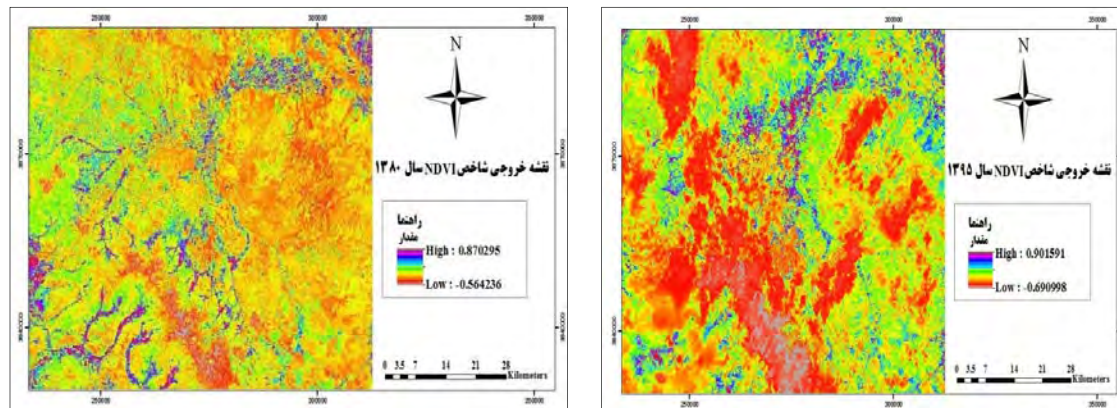


شکل ۴: روند اجرای تحقیق

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

## نتایج

پس از نسبت‌گیری باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، نقشه پوشش گیاهی منطقه به‌دست آمد (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه خروجی NDVI

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

به منظور بررسی تغییرات کیفی پوشش گیاهی در طی ۱۵ سال، نقشه‌های خروجی NDVI به چهار کلاس پوشش گیاهی (عالی، بسیار خوب، خوب و ضعیف) طبقه‌بندی شدند. چهار طبقه براساس میانگین و انحراف معیار تقسیم‌بندی شد. طبقه (۱): مقادیر کوچک‌تر از میانگین منهای انحراف معیار؛ طبقه (۲): میانگین منهای انحراف معیار تا میانگین؛ طبقه (۳): میانگین تا میانگین افزون بر انحراف معیار؛ طبقه (۴): مقادیر بزرگ‌تر از میانگین افزون بر انحراف معیار (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۳). (جدول ۳).

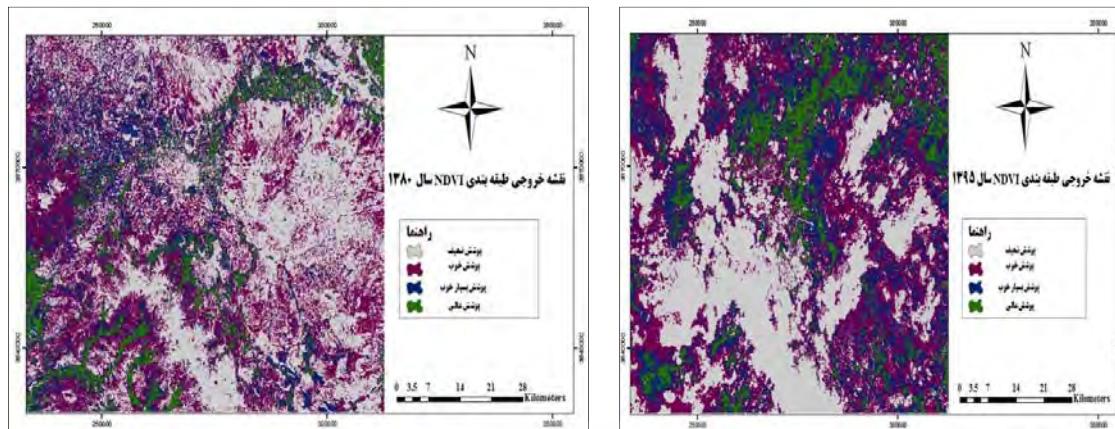
جدول ۳: ویژگی‌های طبقات پوشش گیاهی

سال ۱۳۹۵	سال ۱۳۸۰	طبقات
دامنه اعداد < ۰/۰۵	دامنه اعداد < ۰/۰۷	پوشش ضعیف
۰/۰۵ - ۰/۲	۰/۰۷ - ۰/۲	پوشش خوب
۰/۲ - ۰/۳۵	۰/۲ - ۰/۳۴	پوشش بسیار خوب
> ۰/۳۵	> ۰/۳۴	پوشش عالی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

قسمت‌هاست که نشان‌دهنده پوشش گیاهی انبوه‌تری است. سپس درصد مساحت اختصاص‌یافته به هر کلاس برای هر سال محاسبه و اعداد به‌دست‌آمده با هم مقایسه شد (جدول ۴).

شکل (۶) نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. با بررسی میزان عددی شاخص NDVI در نرم‌افزار و با توجه به شکل قسمت‌های سبزرنگ دارای مقادیر مثبت بزرگ‌تری نسبت به سایر



شکل ۶: نقشه خروجی طبقه‌بندی شده NDVI

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

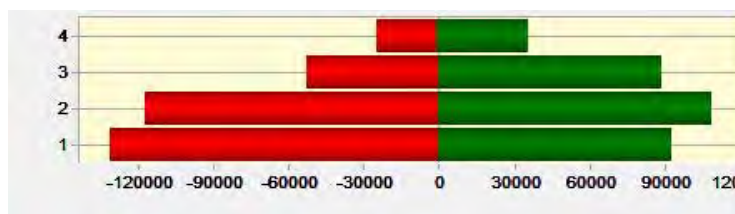
جدول ۴: مساحت طبقات پوشش گیاهی

سال ۱۳۹۵		سال ۱۳۸۰		طبقات
مساحت به درصد	مساحت به هکتار	مساحت به درصد	مساحت به هکتار	
۳۵	۱۷۶۸۴۹/۲	۴۳	۲۱۵۵۱۰/۵	پوشش ضعیف
۳۴	۱۶۸۷۸۲/۱	۳۵	۱۷۷۲۱۱/۳	پوشش خوب
۲۱	۱۰۶۰۷۵/۳	۱۴	۷۰۱۶۳/۸	پوشش بسیار خوب
۱۰	۴۸۰۲۹/۸	۷	۳۶۸۵۰/۸	پوشش عالی
۱۰۰	۴۹۹۷۳۶/۴	۱۰۰	۴۹۹۷۳۶/۴	مجموع

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

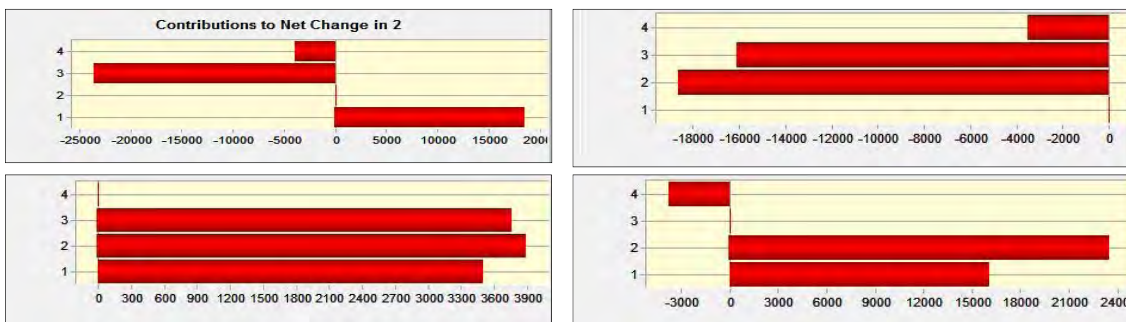
تغییرات عمدتاً شامل تبدیل کلاس با پوشش ضعیف و تبدیل آن به سایر کاربری‌هاست. همچنین بیشترین افزایش مساحت، در کلاس پوشش بسیار خوب دیده شد. همچنین تغییرات خالص کلاس‌های پوشش در شکل (۸) نشان داده شده است. نقشه تغییرات نیز که نشان‌دهنده محل وقوع تغییرات هر یک از کاربری‌ها بوده، در شکل (۹) نشان داده شده است.

پس از تهیه نقشه پوشش گیاهی، اقدام به آشکارسازی تغییرات و بررسی تغییرات اتفاق افتاده در طی دوره زمانی مورد مطالعه شد. این تغییرات شامل کاهش‌ها، افزایش‌ها و تغییرات خالص برای هر کلاس و انتقال از یک کلاس به کلاس دیگر است. در طی بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ منطقه مورد مطالعه دستخوش تغییرات زیادی شده است (شکل ۷). بیشترین کاهش

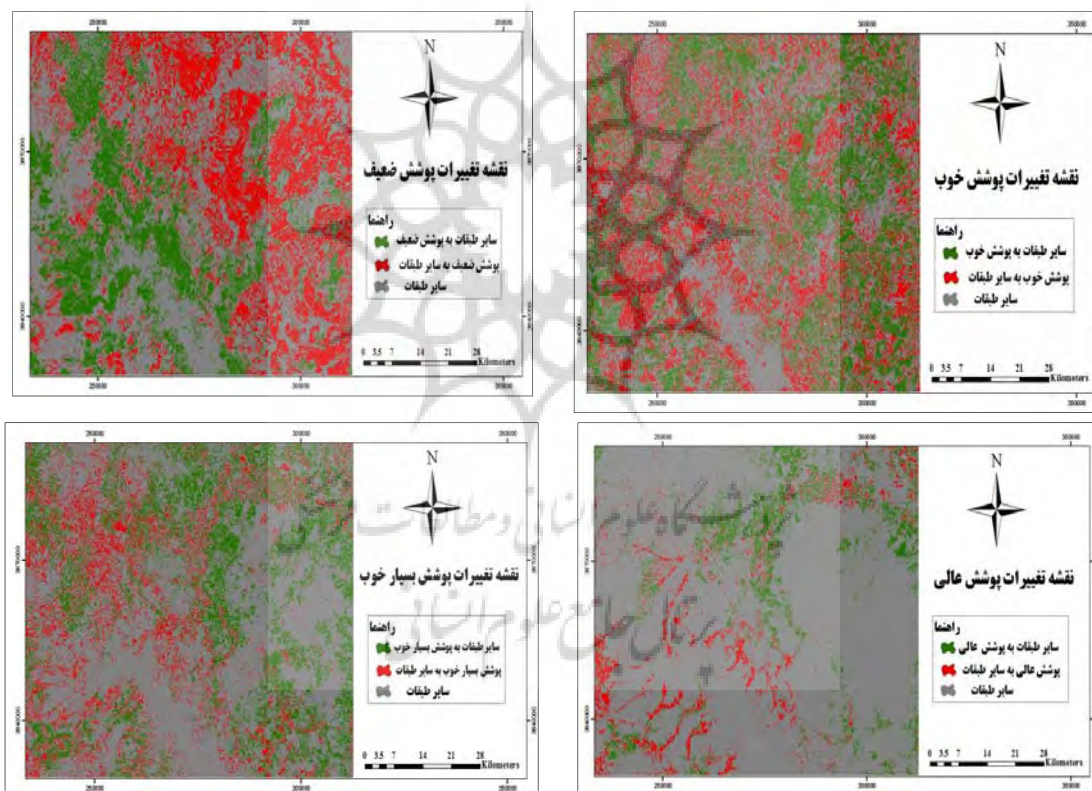


شکل ۷: کاهش و افزایش مساحت کلاس‌های پوشش گیاهی (هکتار)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



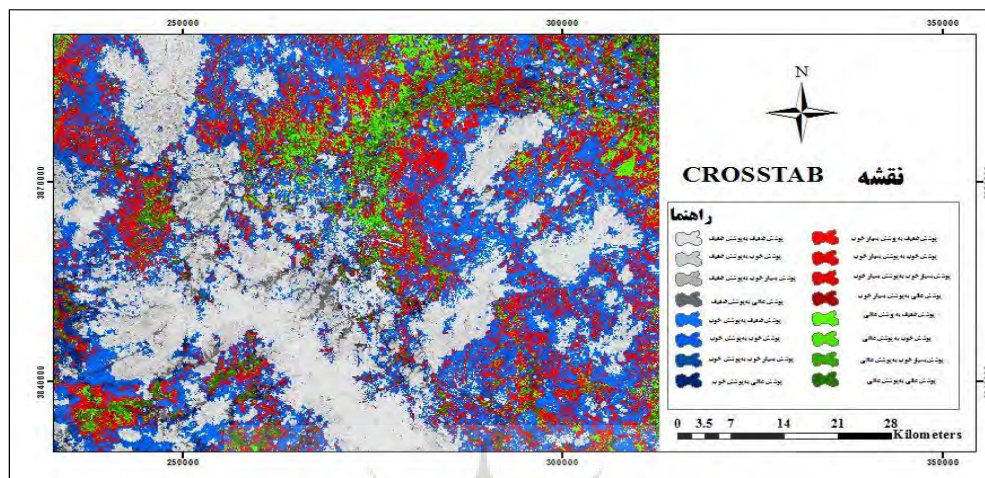
شکل ۸: تغییرات خالص کلاس‌ها (هکتار): از راست به چپ؛ پوشش ضعیف، پوشش خوب، پوشش بسیار خوب، پوشش عالی تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۹: نقشه‌های تغییرات کلاس‌های پوشش گیاهی تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

سپس با استفاده از CROSSTAB دو نقشه طبقه‌بندی شده با هم مقایسه شدند و نوع تغییرات در کلاس‌ها از سال ۱۳۸۰ نسبت به سال ۱۳۹۵ مشخص شدند (شکل ۱۰ و جدول ۵).

با توجه به نتایج تغییرات خالص و نقشه‌های تغییرات کاهش مساحت در کلاس با پوشش ضعیف و خوب، به ترتیب ۳۸۲۳۸ و ۸۸۳۶ هکتار است. از طرفی، تغییرات خالص افزایش مساحت در کلاس با پوشش بسیار خوب و عالی به ترتیب ۳۵۹۰۴ و ۱۱۱۷۰ هکتار است.



شکل ۱۰: نقشه CROSSTAB

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۵: جدول‌بندی افقی بین نقشه‌های NDVI سال‌های ۱۳۸۰ (افقی) و ۱۳۹۵ (عمودی) (هکتار)

طبقات	پوشش ضعیف	پوشش خوب	پوشش بسیار خوب	پوشش عالی	مجموع
پوشش ضعیف	۸۴۲۱۱/۳	۸۱۲۲۱/۵	۳۷۸۰۲/۱	۱۲۳۲۰/۲	۲۱۵۵۵۵/۱
پوشش خوب	۶۲۴۳۱/۴	۵۹۹۳۱/۸	۴۲۸۸۳/۲	۱۲۱۱۶/۸	۱۷۷۳۶۳/۲
پوشش بسیار خوب	۲۱۵۳۳	۱۹۳۰۱/۲	۱۷۳۰۸/۷	۱۱۸۲۴/۶	۶۹۹۶۷/۵
پوشش عالی	۸۸۳۲/۱	۸۲۱۶/۵	۸۰۶۳/۲	۱۱۷۳۸/۸	۳۶۸۵۰/۶
مجموع	۱۷۷۰۰۷/۸	۱۶۸۶۷۱	۱۰۶۰۵۷/۲	۴۸۰۰۰/۴	۴۹۹۷۳۶/۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

در جدول‌های (۶ و ۷)، نتایج حاصل از بررسی و مقایسه سنجه‌های سرزمین در شهرستان همدان طی یک دوره پانزده ساله ارائه شده است.

جدول ۶: سنجه‌های طبقه پوشش گیاهی محاسبه شده در سطح کلاس (۱۳۸۰-۱۳۹۵)

سنجه‌ها در سطح کلاس					طبقات پوشش گیاهی	سال
میانگین نزدیک‌ترین همسایه (متر)	میانگین شاخص شکل	میانگین شاخص بعد فرکتال	میانگین سطح لکه (هکتار)	مساحت طبقه (هکتار)		
۲۵۷/۹	۱/۳۱	۱/۰۵	۱۲/۸	۳۸۴۶۳/۶	پوشش عالی	۱۳۸۰
۱۷۷/۱	۱/۳۶	۱/۰۵	۷/۵	۶۲۱۶۸/۲	پوشش بسیار خوب	
۱۴۸/۳	۱/۴۲	۱/۰۵	۲۳/۲	۱۷۹۱۰/۷	پوشش خوب	
۱۷۰/۴	۱/۳۳	۱/۰۵	۴۱/۳	۲۲۰۱۲۳/۹	پوشش ضعیف	
۲۵۳/۷	۱/۳	۱/۰۴۹	۱۷/۵	۴۶۵۵۰/۶	پوشش عالی	۱۳۹۵
۱۷۳/۴	۱/۴۳	۱/۰۵	۲۲/۱	۱۰۴۳۰/۷	پوشش بسیار خوب	
۱۷۵/۲	۱/۳۹	۱/۰۵۲	۴۸/۸	۱۷۴۵۳۲/۱	پوشش خوب	
۲۸۱/۱	۱/۲۶	۱/۰۴	۶۹/۶	۱۷۴۳۵۳	پوشش ضعیف	

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۷: سنجه‌های طبقه پوشش گیاهی محاسبه شده در سطح سیمای سرزمین (۱۳۸۰-۱۳۹۵)

سنجه‌ها در سطح سیمای سرزمین						سال
میانگین نزدیک‌ترین همسایه	شاخص یکنواختی شانون	شاخص تنوع شانون	میانگین شاخص شکل	میانگین شاخص بعد فرکتال	میانگین سطح لکه	
۱۷۶/۴۷	۰/۸۵	۱/۱۸	۱/۳۸	۱/۰۵۵	۲۰/۵۵	۱۳۸۰
۲۰۹/۸	۰/۹۲	۱/۲۸	۱/۳۶	۱/۰۵۲	۳۷/۱۷	۱۳۹۵

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

در پایان با استفاده از زنجیره مارکوف، تغییرات هم‌دان پیش‌بینی شد. نتایج پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی برای چشم‌انداز ۱۴۱۰ شهرستان پوشش گیاهی در جدول (۸) آمده است.

جدول ۸: پیش‌بینی احتمال تبدیل کلاس‌های مختلف پوشش گیاهی در سال ۱۴۱۰

طبقات	پوشش ضعیف	پوشش خوب	پوشش بسیار خوب	پوشش عالی
پوشش ضعیف	۰/۴۵۲۴	۰/۴۴۴۲	۰/۱۰۳۴	۰
پوشش خوب	۰/۳۵۸۱	۰/۳۵۱۶	۰/۲۸۴۳	۰/۰۰۵۹
پوشش بسیار خوب	۰/۲۶۸۸	۰/۲۰۸۳	۰/۲۹۷۸	۰/۲۲۵۱
پوشش عالی	۰/۱۱۶۶	۰/۱۰۵۸	۰/۲۱۵۹	۰/۵۶۱۷

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

## بحث

کرد که میزان تخریب نهایی در وسعت پوشش گیاهی منطقه،  $26227/1$  هکتار است. بررسی تغییرات پوشش گیاهی منطقه در طی سال‌های  $1380$  تا  $1395$  نشان می‌دهد،  $173190/6$  هکتار از پوشش گیاهی منطقه بدون تغییر و  $326545/8$  هکتار به کلاس‌های دیگر تغییر پیدا کرده‌اند. تغییر کلاس‌های پوشش در شهرستان همدان نشانگر پویایی روند تغییرات و سرعت قابل توجه این فرایند است (شکل ۸). در بین مناطق تغییریافته، پوشش بسیار خوب (باغ و جنگل) و مناطق با پوشش ضعیف (اراضی بایر) به ترتیب بیشترین افزایش و کاهش مساحت در شهرستان را داشته‌اند. همچنین پوشش عالی (اراضی کشاورزی) و پوشش خوب (اراضی مرتعی) نسبت به دوره مشابه با سرعت تدریجی در حال تغییر هستند؛ به گونه‌ای که انتظار می‌رود وضعیت این دو کلاس پوشش منطقه در حال هشدار باشد. همان‌طور که نتایج جدول (۸) نشان می‌دهد، بیشترین احتمال تخریب تا افق  $1410$  در اراضی با پوشش عالی ( $0/8329$ ) مشاهده می‌شود. همچنین تخریب اراضی با پوشش خوب به اراضی با درجه سرسبزی ضعیف بیشترین احتمال ( $0/3581$ ) تغییر را در آینده دارد. نتایج همچنین حاکی از این است که پوشش ضعیف منطقه کمترین احتمال تبدیل و تغییر را در سال  $1410$  خواهند داشت. پوشش ضعیف منطقه، مناطق آبی و قسمت‌های سنگلاخی و لخت شهر را شامل می‌شود. پوشش خوب که بیشترین کاهش مساحت را داشته است، اراضی مرتعی را شامل می‌شود که تخریب این اراضی عواقب زیست‌محیطی و اقتصادی بسیاری را به دنبال خواهد داشت. نقشه تغییرات (شکل ۷) کلاس با پوشش خوب نیز به وضوح کاهش مساحت این کلاس را نشان می‌دهد؛ به طوری که شدت تخریب این کلاس نگران‌کننده است. نتایج به دست آمده از بررسی

شاخص پوشش گیاهی NDVI یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعات توسط محققان مختلف گزارش شده است. ارزش عددی این شاخص بین اعداد  $+1$  و  $-1$  در نوسان است (Weier & Herring, 2015: 24) و ثابت شده که هرچه به عدد  $+1$  نزدیک شود، بر میزان پوشش گیاهی افزوده می‌شود. این شاخص اولین بار در سال  $1973$  مطرح شد (Rouse et al., 1973: 311). نتایج مقایسه‌های مساحت طبقات در دو سال مورد مطالعه (جدول ۴) نشان داد که اراضی با پوشش بسیار خوب و عالی، افزایش مساحت و اراضی با پوشش ضعیف و خوب، کاهش مساحت را داشته است. بیشترین افزایش مساحت در اراضی با پوشش گیاهی بسیار خوب صورت گرفته، به طوری که از  $70163$  هکتار در سال  $1380$  به  $106075$  هکتار در سال  $1395$  افزایش یافته است. همچنین بیشترین کاهش مساحت در اراضی با پوشش ضعیف است که از  $215510$  هکتار به  $176849$  هکتار رسیده است. نقشه CROSSTAB (شکل ۸) نشان‌دهنده موقعیت و پراکندگی مکانی کلاس‌های مختلف پوشش است که با ارزیابی این تغییرات می‌توان برای مدیریت منطقه، بهتر برنامه‌ریزی کرد. بر این اساس کلاس‌های پوشش گیاهی خوب، بسیار خوب و عالی به ترتیب با  $62431/4$ ،  $21533$  و  $8832/1$  هکتار به کلاس اراضی با پوشش ضعیف تبدیل شده‌اند که این امر نشان‌دهنده تخریب صورت گرفته در پوشش گیاهی منطقه به میزان  $92796/5$  هکتار است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که  $81221/5$ ،  $37802/1$  و  $12320/2$  هکتار از سطح اراضی پوشش ضعیف به ترتیب به اراضی خوب، بسیار خوب و عالی تبدیل شده است؛ بنابراین می‌توان بیان

مطالعه منظم بوده و بیشترین نظم مربوط به پوشش عالی (اراضی کشاورزی) است.

میانگین شاخص بعد فرکتال (MFRAC) نیز برای پوشش خوب، افزایش؛ برای پوشش عالی و ضعیف کاهش؛ و برای پوشش بسیار خوب بدون تغییر نسبت به سال اول بوده است. سنجه‌های شاخص شکل و بعد فرکتال روابط فضای محیط اطراف را تعیین می‌کند (McGarigal et al, 2002:52; Zhang et al, 2013) افزایش فرکتال برای پوشش خوب (اراضی مرتعی) ممکن است برای تبدیل این طبقه به اراضی کشاورزی (پوشش عالی) باشد، اما به طور کلی تفسیر معنای محیط‌زیستی از معیارهای شکل و بعد فرکتال دشوار است که به شدت تحت تأثیر عوامل زیادی مانند مقیاس، فرمت داده‌ها و معادلات ریاضی است (Frohn, 1998: 99; Li & Wu, 2004: 394).

بعد فرکتال، غنا و یکنواختی برای تعیین کمیت چشم‌انداز ناهمگن فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Farina, 2006). با این حال، درک مفهوم از ناهمگونی چشم‌انداز، آشفتگی‌های محیط و پویایی پوشش گیاهی از چالش‌های مهم پیش‌روی اکوسیستم و اکولوژی سیمای سرزمین است (Turner et al., 2001: 98; Dorner et al, 2002; 734). نتایج به دست آمده از سنجه‌ها در سطح سیمای سرزمین (جدول ۷) نشان می‌دهد که تنوع شانون در هر دو سال بالای ۱ است که اگر مقدار این نسبت بیشتر از ۱ باشد، پراکنش کپه‌ای و اگر برابر یک باشد، تصادفی و در صورتی که کمتر از یک باشد، به صورت یکنواخت توزیع یافته‌اند. وقتی مقدار همگنی، عدد یک باشد؛ یعنی سیمای سرزمین بسیار متنوع است و وقتی به سمت صفر برود، تنوع سیمای سرزمین کاهش می‌یابد. هرچه میزان سنجه‌های تنوع به یک نزدیک شود، میزان تنوع

تغییرات سیمای سرزمین در شهرستان همدان در سطح کلاس (جدول ۶) حاکی از آن است که کلاس‌های طبقاتی (CA) برای اراضی با پوشش عالی و اراضی با سطح پوشش بسیار خوب به طور قابل ملاحظه‌ای بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ افزایش یافته است. در مقابل، کلاس‌های طبقاتی (CA) اراضی با پوشش خوب (اراضی مرتعی) که به عنوان پوشش گیاهی طبیعی آن به شمار می‌رود و اراضی با پوشش ضعیف (کاربری بایر) در دوره مشابه کاهش یافته است. میانگین سطح لکه (MPA) برای تمام کلاس‌های طبقاتی در بازه زمانی ۱۵ ساله افزایش یافته است. متریک میانگین سطح لکه یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کمی برای ارزیابی چشم‌انداز و تکه‌تکه شدن زیستگاه است (Batistella et al., 2003: 807). متریک میانگین نزدیک‌ترین همسایه (MENN) حاکی از افزایش این متریک در طبقات پوشش خوب و ضعیف و کاهش در طبقات با پوشش عالی و بسیار خوب است. این سنجه میانگین فاصله بین لکه‌های مشابه از یک کاربری را نشان می‌دهد. با بررسی فاصله اقلیدسی بین لکه‌ها مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار آن در سال ۱۳۸۰ مربوط به پوشش عالی بوده، ولی در سال ۱۳۹۵ پوشش ضعیف بیشترین مقدار این سنجه را داراست. مقایسه این متریک در بازه زمانی ۱۵ ساله حاکی از این است که مقادیر پوشش ضعیف (اراضی بایر) بالاترین حد خود را نشان می‌دهد. سنجه شاخص شکل (SHI) نشان می‌دهد که میانگین شکل لکه برای طبقات با پوشش عالی و بسیار خوب افزایش و برای طبقات پوشش اراضی خوب و ضعیف به طور قابل توجهی کاهش یافته است. این شاخص می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های شهری مفید واقع شود. در بین طبقات مورد بررسی، تمام طبقات در هر دو سال مورد



### نتیجه

نتایج تجزیه و تحلیل سیمای سرزمین نشان از دادن دید و بینش وسیع‌تر در زمینه تغییرات پوشش گیاهی است، لذا نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌تواند در راستای الگوی پایدار استفاده از سرزمین و سیاست‌گذاری بهره‌برداری از سرزمین اطلاعاتی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار دهد. در این زمینه پیش و نقشه‌سازی مداوم پویایی سیمای سرزمین، امری ضروری برای مدیریت منابع طبیعی به‌شمار می‌رود.

### منابع

- جعفری، علی؛ زهرا آرمان (۱۳۹۳). پایش تغییرات پوشش گیاهی منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن و دلایل آن براساس تحلیل دو زمانه NDVI، مجله محیط زیست طبیعی- منابع طبیعی ایران. ۶۷ (۴). صفحات ۴۰۲-۳۹۱.
- سرودی، مونا؛ سیدعلی جوزی (۱۳۹۱). پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از مدل مارکوف (مطالعه موردی: منطقه ۴ شهرداری تهران)، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی. ۲ (۲). صفحات ۹۵-۸۳.
- خزاعی، نوشین؛ فرود آذری‌دهکردی (۱۳۸۸). سامانه پشتمانه تصمیم‌گیری سریع برای ارزیابی پیامدهای فعالیت‌ها در تخریب سیمای سرزمین حوزه آبخیز سفارود، مجله محیط‌شناسی. ۳۵ (۵۱). صفحات ۸۰-۶۹.
- علوی‌پناه، سیدکاظم؛ امیرهوشنگ احسانی؛ حمیدرضا متین‌فر؛ عمار رفیعی؛ عمار رفیعی‌امام؛ رضا امیری (۱۳۸۷). مقایسه محتوای اطلاعاتی سنجنده‌های TM و ETM<sup>+</sup> در محیط‌های بیابانی و شهری ایران، پژوهش‌های جغرافیا. ۴۷. صفحات ۶۴-۵۶.
- فاطمی، سیدباقر؛ یوسف رضایی (۱۳۹۱). مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده.

افزایش می‌یابد. هرچه این مقدار به صفر نزدیک شود، از میزان تنوع کاهش می‌یابد؛ بنابراین همان‌طور که جدول ۷ نشان می‌دهد، مقادیر مربوط به تنوع لکه‌ها در سطح شهرستان نزدیک به یک و بالاتر از آن است، که تنوع و فراوانی بالا را در این شهرستان نشان می‌دهند. سنجه شاخص شکل (SHI) نیز در سطح سرزمین حاکی از نظم بالای لکه‌هاست. همچنین بررسی سنجه میانگین نزدیک‌ترین همسایه (MENN) در این سطح نشان می‌دهد که این متریک نسبت به سال اولیه روند افزایشی داشته است. نتایج این تحقیق شاخص NDVI را عمومی‌ترین شاخص در ارزیابی پوشش گیاهی می‌داند که با نتایج ( Wen et al, 2017: 965; Nouri et al, 2017: 16; Wu et al, 2017: 179; Davies et al, 2016: 341; Gascon et al, 2016: 90) مطابقت دارد. در این پژوهش برای پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی از مدل مارکوف استفاده شد که در مطالعات محمدیاری و همکاران (۱۳۹۳) و جعفری و آرمان (۱۳۹۳) چنین کاری انجام نشده است. سرودی و جوزی (۱۳۹۱) در مطالعه خود از زنجیره مارکوف استفاده کردند؛ اما بررسی تغییرات طبقات پوشش، به خوبی این مطالعه که از مدل LCM استفاده شده، تحلیل نشده است. علاوه بر این، در این مطالعه برای بررسی دقیق‌تر روند تغییرات، پس از تهیه نقشه اولیه پوشش گیاهی اقدام به طبقه‌بندی نقشه‌های پوشش شد که در مطالعات سرودی و جوزی (۱۳۹۱) و جعفری و آرمان (۱۳۹۳) چنین کاری صورت نگرفته و به نقشه اولیه پوشش گیاهی برای تحلیل تغییرات اکتفا کرده‌اند. همچنین در این تحقیق ارزیابی تغییرات در سیمای سرزمین نیز تحلیل شده است که در هیچ مطالعه داخلی مانند محمدیاری و همکاران (۱۳۹۳)، جعفری و آرمان (۱۳۹۳) و سرودی و جوزی (۱۳۹۱) تغییرات پوشش گیاهی در سیمای سرزمین بررسی نشده است.

- Davies, k., Murphy, R., Bruce, E (2016). Detecting historical changes to vegetation in a Cambodian protected area using the Landsat TM and ETM+ sensors Remote Sensing of Environment. 187: 332-344.
- Dewan, A. M., Yamaguchi, Y (2009). Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization, Applied Geography, 29: 390-401.
- Dorner, B., Lertzman, K., Fall, J (2002). Landscape pattern in topographically complex landscapes: issues and techniques for analysis. Landscape Ecol. 17, 729-743.
- Dremstad, W.E., Olson, J.D., Forman, R.T (1996). Landscape ecology principles in land-use planning. Harvard University Graduate School of Design and Island press and American Society of Landscape Architecture, 80pp.
- Dutta, D., Kundu, A., Patel, N.R., Saha, S.K., Siddiqui, A.R (2015). Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived vegetation condition index (VCI) and standardized precipitation index (SPI). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science 18, 53-63.
- Eastman, J. R (2006). Instruction to remote sensing. The Guilford press.
- Eastman, J. R (2012). IDRISI Selva. Clark-Labs, Clark University, Worcester, MA. Geneletti, D. 2012. Assessing the impact of alternative land-use zoning policies on future ecosystem services. Environ. Impact Assess. Rev. 40, 2-35.
- Fan, F., Wang, Q., Wang, Y (2007). land use and land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on land sat TM/ETM+ imagery. Sensors, 7: 1323-1342.
- Farina, A (1998). Principles and Methods in Landscape Ecology. Chapman and Hall. London. 235pp.
- Farina, A (2006). Principles and Methods in Landscape Ecology. Springer, Dordrecht, The Netherlands
- Frohn, R. C (1998). Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators for Monitoring Modeling and Assessment of Ecosystems. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, P.99.
- محمدیاری، فاطمه (۱۳۹۴). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان.
- محمدیاری، فاطمه؛ حمیدرضا پورخباز؛ مرتضی توکلی؛ حسین اقدر (۱۳۹۳). تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر). صفحات ۳۴-۲۳.
- هاشمی، سید محمود؛ سید کاظم علوی‌پناه؛ مرتضی دیناروندی (۱۳۹۲). ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی، مجله محیط‌شناسی، ۳۹ (۱): ۹۹-۸۱.
- Aburas, M., Abdullah, S., Ramli, M., Ash'aari, Z (2015). Measuring land cover change in Seremban, Malaysia using NDVI index, Procedia Environmental Sciences 30: 238-243.
- Alberti, M., Marzluff, J (2004). Resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological.
- Batistella, M., Robeson, S., Moran, E. F (2003). Settlement design, forest fragmentation, and landscape change in Rondônia, Amazônia. Photogram. Eng. Rem. S. 69 (7), 805-812.
- Begue, A., Vintrou, E., Ruelland, D., Claden, M., Dessay, N (2011). Can a 25-year trend in Soudano-Sahelian vegetation dynamics be interpreted in terms of land use change? A remote sensing approach. Glob. Environ. Chang. 21, 413-420.
- Blaes, X., Chomé, G., Lambert, M.-J., Traoré, P., Schut, A., Defourny, P (2016). Quantifying fertilizer application response variability with VHR satellite NDVI time series in a rain-fed smallholder cropping system of Mali. Remote Sens. 8, 531.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, Int. J. Remote Sensing, 9: 1565-1596.

- Li, H., Wu, J (2004). Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecol.* 19, 389-399.
- Lu, D, Mausel, P, Brondizio, E, Moran, E (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 2365-2407.
- McGarigal K., Cushman S.A., Neel M.C., Ene E (2002). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. [www.umass.edu/landeco/research/fragstats.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats.html)
- Mulmi, P., Block, S. A., Shively, G.E., Masters, W.A (2016). Climatic conditions and child height: sex-specific vulnerability and the protective effects of sanitation and food markets in Nepal. *Econ. Hum. Biol.* 23, 63-75.
- Mas, J. F., Flores, J. J (2008). The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data (review article). *International Journal of Remote Sensing*, 29: 617-663.
- Nouri, H., Anderson, SH., Sutton, P., Beecham, S., Nagler, P., Jarchow, J., Dar, R (2017). NDVI, scale invariance and the modifiable areal unit problem: An assessment of vegetation in the Adelaide Parklands, *Science of the Total Environment*. 585: 11-18.
- Ridd, M. K., Liu, J (1998). A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in an Urban Environment, *Remote Sens. Environ*, 63: 95-100.
- Pereira, G., Foster, S., Martin, K., Christian, H., Boruff, B.J., Knuiaman, M., Giles-Corti, B (2012). The association between neighborhood greenness and cardiovascular disease: an observational study. *BMC Public Health* 12, 466.
- Pettorelli, N., Vik, O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., Stenseth, N, C (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental Journal *Trends in Ecology and Evolution* 20 (9): 503-510.
- Petropoulos, G. P., Griffiths, H. M., Kalivas, D. P (2014). Quantifying spatial and temporal vegetation recovery dynamics following a wildfire event in a Mediterranean landscape using EO data and GIS. *Applied Geography*, 50: 120-131.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.02.006>.
- Piao, S., Fang, J., Zhou, L., Ciais, P., Zhu, B (2006). Variations in satellite-derived phenology in China's temperate vegetation. *Glob. Change Biol.* 12, 672-685.
- Gascon, M., Cirach, M., Martínez, D., Davdand, P, Valentín, A., Plasència, A., Nieuwenhuijsen, M (2016). Normalized difference vegetation index (NDVI) as a marker of surrounding greenness in epidemiological studies: The case of Barcelona city, *Urban Forestry & Urban Greening*, 19:88-94.
- Gascon, M., Triguero-Mas, M., Martínez, D., Davdand, P, Forn, J., Plasència, A., Nieuwenhuijsen, M (2015). Mental health benefits of long-term exposure to residential green and blue spaces: a systematic review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12, 4354-4379.
- Gontier, M., Mörtberg, U., Balfors, B (2009). Comparing GIS-based habitat models for applications in EIA and SEA. *Environmental Impact Assessment Review*, 30: 8-18.
- Gustafson, E. J. 1998. Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art. *Ecosystems*: 143-156.
- Hadjimitsis, D.G., Papadavid, G., Agapiou, A., Themistocleous, K., Hadjimitsis, M.G., Retalis, A., Michaelides, S., Chrysoulakis, N., Toullos, L., Clayton C. R. I (2010). Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10: 89-95.
- Ivits, E., Koch, B., Blaschke, T., Jochum, M., Adler, P (2005). Landscape structure assessment with image grey-values and object-based classification at three spatial resolutions. *Int. J. Remote Sens.* 26 (14), 2975-2993.
- James, P., Banay, R.F., Hart, J.E., Laden, F (2015). A review of the health benefits of greenness. *Curr. Epidemiol. Rep.* 2, 131-142.
- Jensen, J. R., Cowen, D.C (1999). Remote Sensing of Urban/ Suburban infrastructure and Socio-Economic Attributes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 5: 611-622.
- Lachowycz, K., Jones, A.P (2014). Does walking explain associations between access to green space & lower mortality? *Soc. Sci. Med.* 107,9-17.
- Lanorte, A., Lasaponara, R., Lovallo, M., Telesca, L (2014). Fisher-Shannon information plane analysis of SPOT/VEGETATION normalized difference vegetation index (NDVI) time series to characterize vegetation recovery after fire disturbance. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 26, 441-446.
- Leitao, A. B., Miller, I., Ahern, J., McGrigal, K (2006). *Measuring landscapes: A planners Handbook*. Washington D.C: Island press 250 pp.

- Wen, Z., Wu, SH., Chen, J., Lü, M (2017). NDVI indicated long-term inter annual changes in vegetation activities and their responses to climatic and anthropogenic factors in the Three Gorges Reservoir Region, China, *Science of the Total Environment* 574: 947-959.
- Weier, J., Herring, D (2015). NASA Earth Observatory. <http://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/> (accessed 13.7.2015).
- Wu, CH., Peng, D., Soudani, K., Siebicke, L., Gough, CH., Arain, M., Bohrer, G., Lafleur, P., Peichl, M., Gonsamo, A., Xu, SH., Fang, B., Ge, Q (2017). Land surface phenology derived from normalized difference vegetation index (NDVI) at global FLUXNET sites, *Agricultural and Forest Meteorology* 233:171-182.
- Xu, Y., Yang, J., Chen, Y (2015). NDVI-based vegetation responses to climate change in an arid area of China. *Theoretical&Applied Climatology* 1e10.
- Yu, H., Luedeling, E., Xu, J (2010). Winter and spring warming result in delayed spring phenology on the Tibetan Plateau. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 22151e22156.
- Yunkai, G., Fan, Z (2012). Atmospheric correction comparison of SPOT-5 image based on model Flash and model QUAC. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B7:7-11.
- Zhang, Z., Van Coillie, F., De Clercq, E., Ou, X., De Wulf, R (2013). Mountain vegetation change quantification using surface landscape metrics in Lancang watershed, China, *Ecological Indicators* 31: 49-58.
- Zhang, X., Tan, B., Yu, Y (2014). Inter annual variations and trends in global land surface phenology derived from enhanced vegetation index during 1982–2010. *Int. J. Bioclimatol.* 58, 547-564.
- Piao, S., Wang, X., Ciais, P., Zhu, B., Wang, T., Liu, J (2011). Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006. *Global Change Biol.* 17, 3228-3239.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D.W (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I*: 309-317.
- Sanchez Flores, E. S., Yool, S, R (2007). Sensitivity of Change Vector Analysis to Land Covers Change in an Arid Ecosystem, *International Journal of Remote Sensing*, 28: 1069-1088.
- Shen, M., Zhang, G., Cong, N., Wang, S., Kong, W., Piao, S (2014). Increasing altitudinal gradient of spring vegetation phenology during the last decade on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology* 189e190, 71e80.
- Shen, M., Piao, S., Jeong, S.-J., Zhou, L., Zeng, Z., Ciais, P., Cheng, D., Huang, M., Jinh, C. S., Li, L.Z.X., Li, Y., Myneni, R.B., Yang, K., Zhang, G., Zhang, Y., Yao, T (2015). Evaporative cooling over the Tibetan Plateau induced by vegetation growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112, 9299e9304.
- Turner, M.G, Gardner, R.H., O'Neill, R.V (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice*. Springer Verlage, New York, USA, PP:93-134.
- Tyagi, P., Bhosle, U (2011). Atmospheric Correction of Remotely Sensed Images in Spatial and Transform Domain. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, 5: 564-579.
- Václavík, T., Rogan, J (2009). Identifying trends in land Use/Land cover changes in the context of Post-Socialist Transformation in Central Europe. *GIS Science and Remote Sensing*, 49:1-32.
- Wagrowski, D.M., R. Hites, A (1997). Polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation in urban, suburban and rural vegetation, *Environmental Science & Technology*, 31, 1, 279-282.
- Wang, X., Wang, Q., Yang, S., Zheng, D., Wu, C., Mannaerts, C.M (2011). Evaluating nitrogen removal by vegetation uptake using satellite image time series in riparian catchments. *Sci. Total Environ.* 409, 2567-2576.