



## پایش تغییرات پوشش گیاهی حوزه آبخیز کرج با استفاده از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی و تحلیل گرادیان

فاطمه محمدیاری<sup>۱</sup>، میرمهرداد میرسنجری<sup>۲\*</sup>، اردوان زرندیان<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۲. استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۳. استادیار گروه ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار سازمان حفاظت محیط زیست، تهران

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۷

پذیرش: ۹ مهر ۱۳۹۷

دسترسی اینترنتی: ۳۰ بهمن ۱۳۹۷

واژه‌های کلیدی:

آنالیز گرادیان

شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی

(NDVI)

حوزه آبخیز کرج

### چکیده

در تحقیق حاضر تغییرات پوشش گیاهی حوزه آبخیز کرج در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۶ با استفاده از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، تلفیق متریک‌های سرزمین و تحلیل گرادیان بررسی شده است. پس از محاسبه شاخص NDVI، برای انجام تحلیل گرادیان دو ترانسکت در جهت شمال - جنوب و شرق - غرب طراحی شد. سپس ۶ متریک در دو سطح کلاس و سیمای سرزمین با روش پنجره متحرک محاسبه گردید. نتایج مقایسات مساحت طبقات نشان داد که بیشترین افزایش مساحت در اراضی با پوشش گیاهی بسیار خوب صورت گرفته، به طوری که ۵۱۰۴ هکتار (۴ درصد) بر وسعت آن افزوده شده است. همچنین بیشترین کاهش مساحت در اراضی با پوشش عالی است که در بازه زمانی مورد مطالعه به میزان ۴۰۵۵ هکتار (۳ درصد) کاهش یافته است. نتایج تحلیل گرادیان نیز نشان داد که الگوی پراکنش پوشش گیاهی در هر سه سال مورد بررسی به صورت کپه‌ای است. نتایج حاصل از آنالیز هر دو ترانسکت در سطح سیمای سرزمین و کلاس نشان داد که میانگین فاصله از نزدیک‌ترین همسایه به تدریج در طول ترانسکت‌ها افزایش و در مجموع در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال اولیه افزایش یافته است. این امر نشانگر افزایش فاصله میان لکه‌های هم نوع و دشواری ارتباط میان آنهاست که از علائم بروز ازهم‌گسیختگی در سیمای سرزمین است.

\*مهردادمیرسنجری@yahoo.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

## مقدمه

شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (Normalized difference vegetation index) شناخته شده ترین و پرکاربردترین شاخص در مطالعات پوشش گیاهی است (۱۴)، که از باندهای قرمز و مادون قرمز به دست می آید و می تواند به صراحت مربوط به استفاده از سودمندی های گیاهی (۱۳) و تأثیرات بارش (۱۱) باشد. همچنین با زیست توده، تجزیه کربن، استرس آب گیاه و تنوع زیستی ارتباط دارد (۱۸). این شاخص معمولاً برای نظارت بر تغییرات در پوشش گیاهی و بررسی پاسخ های پوشش گیاهی به تغییرات آب و هوایی است (۳۱). لذا تجزیه و تحلیل آن، به عنوان یکی از شاخص های مهم برای ارزیابی پویایی اکوسیستم است (۲۵). در حال حاضر پوشش گیاهی از اهمیت ویژه ای برخوردار است زیرا منابع متنوعی را برای مدیریت مؤثر و تعدیل انواع مشکلات مرتبط با شهرنشینی ارائه می دهد. در واقع پوشش گیاهی شهری به بسیاری از توابع اکوسیستم شهری کمک می کند (۲۰). در مناطق شهری به دلیل گسترش نواحی شهری، تکه تکه شدن و به اصطلاح پهروشدگی (Fragmentation) سیمای سرزمین رخ می دهد که باعث ایزوله شدن، یکنواخت شدن ترکیب گونه ای و تخریب زیستگاه های طبیعی می شود (۱۰).

توسعه مفاهیم و ابزارهایی برای توصیف و تعیین کمیت پوشش گیاهی برای مطالعه تغییرات الگوهای پوشش گیاهی در سیمای سرزمین ضروری است (۳۲). سیمای سرزمین شامل سه دسته از فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی، زیست شناختی و اقتصادی اجتماعی است (۵) که برای مطالعه آن در یک منطقه این سه فاکتور باید در غالب اصول اکولوژی سیمای سرزمین مورد بررسی قرار گیرند. توانایی برای تشریح کمی ساختار سیمای سرزمین، پیش شرط مطالعه و عملکرد ساختار سیمای سرزمین است و متریک های مختلفی برای رسیدن به این هدف در اکولوژی سیمای سرزمین مورد استفاده قرار می گیرند (۲۳). بسیاری از محققان استفاده از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی برای بررسی پوشش گیاهی را گزارش کرده اند (۱، ۲، ۳، ۹، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۸ و ۳۰).

احمدی و همکاران (۱) پوشش گیاهی اراضی شور حاشیه دریاچه ارومیه را با استفاده از تصاویر ماهواره ای بررسی کردند. نتایج نشان داد که مراتع منطقه مورد مطالعه از نظر پوشش گیاهی در وضعیت مناسبی قرار ندارند.

محمدیاری و همکاران (۹) نیز نقشه پوشش گیاهی شهرستان بهبهان و پایش تغییرات آن را با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد تغییرات کمی و کیفی پوشش گیاهی در بازه زمانی ۱۴ ساله برای منطقه مورد مطالعه گسترده بوده است به طوری که اراضی با پوشش عالی، بسیار خوب و ضعیف افزایش مساحت و اراضی با پوشش خوب کاهش مساحت را داشته است.

همچنین گیلسی و همکاران (۱۸) تغییرات پوشش گیاهی در مناطق حفاظت شده جنوب کالیفرنیا را بررسی کردند. بدین منظور از تصاویر ماهواره ای و شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی استفاده کردند. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی منطقه در حال کاهش است. همچنین نتایج این تحقیق توانایی بالای تصاویر ماهواره ای و شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی را برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی تأیید کرد.

ون و همکاران (۲۸) نیز در مطالعه خود به بررسی تغییرات طولانی مدت پوشش گیاهی در چین با استفاده از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی پرداختند. نتایج نشان داد که عوامل انسانی مانند تراکم جمعیت و افزایش مناطق ساخت و ساز و توسعه شهری تغییرات قابل توجهی بر پوشش گیاهی منطقه داشته اند.

استفاده از متریک های سیمای سرزمین در بررسی تغییرات پوشش گیاهی را ژانگ و همکاران (۳۲) ارائه کردند. همچنین تحلیل گرادیان توسط محققان در مطالعاتی چون خدمات اکوسیستم (۲۶) و پایش تغییرات سیمای سرزمین شهری (۷) مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله میرسنجری و محمدیاری (۷) تغییرات سیمای سرزمین شهرستان بهبهان را با استفاده از تحلیل گرادیان ارزیابی کردند. بر پایه نتایج در طول ترانسکت ها، علاوه بر تغییرات کاربری ها، شکل و تراکم لکه ها

بیش از پیش روشن می‌کند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

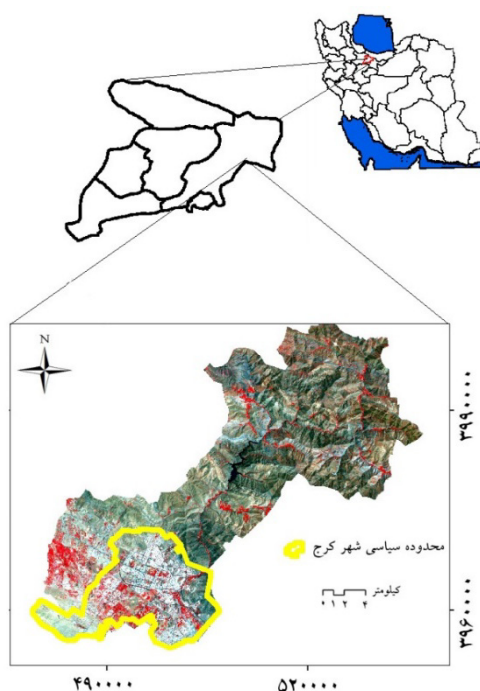
با توجه به اینکه مرز حقوقی کلان‌شهر کرج منطبق بر مرزهای اکولوژیکی نیست، لذا مرزبندی با توجه به واحدهای لندسکیپ صورت گرفت. بر این اساس برای تعیین محدوده نهایی بررسی شده با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و استخراج واحدهای هیدرولوژیک، مرز نهایی کلان‌شهر کرج، منطبق بر خط الراس آبراهه‌های اصلی موجود در ناحیه‌ای به مساحت ۱۱۷۵۲۰ هکتار تعریف شد. بر این اساس محدوده مورد مطالعه بین موقعیت  $۵۰^{\circ} ۴۶'$  تا  $۵۱^{\circ} ۲۱'$  طول شرقی و  $۳۵^{\circ} ۴۶'$  تا  $۳۶^{\circ} ۰۹'$  عرض شمالی در شرق استان البرز قرار دارد (شکل ۱).

### روش تحقیق

برای پایش تغییرات پوشش گیاهی از سه تصویر ماهواره لندست استفاده شد (جدول ۱).

نیز تغییر کرده است و روند این تغییرات در دو ترانسکت از هم متفاوت است. همچنین بیان کردند که تراکم لکه و تراکم حاشیه به سمت مرکز شهر افزایش یافته است. بر این اساس در مطالعه حاضر هدف کمی کردن و بررسی تغییرات مکانی پوشش گیاهی حوزه آبخیز شهری کرج و درک چگونگی تغییر انواع مختلف طبقات پوشش گیاهی و متریک‌ها در طول ترانسکت‌های مورد بررسی با استفاده از تحلیل گرادیان و متریک‌های سیمای سرزمین است. وجه تمایز این مطالعه با مطالعات مشابه که تنها به سنجش میزان تغییرات پوشش گیاهی پرداخته‌اند، طبقه‌بندی نقشه‌های پوشش گیاهی و بررسی تغییرات پوشش گیاهی در سطح سیمای سرزمین با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین برای کمی کردن تغییرات پوشش گیاهی است. همچنین با توجه به اینکه تحلیل گرادیان به منظور تحلیل پوشش گیاهی سازمان‌دهی شده است (۲۷).

برای بررسی تغییرات با الگوهای سیمای سرزمین از تحلیل گرادیان استفاده شده است که چگونگی تغییرات در طول هر ترانسکت را برای ما مشخص می‌کند. اجرای تحلیل گرادیان تاکنون برای بررسی پوشش گیاهی در ایران گزارش نشده است. با توجه به اینکه درک تغییرات مکانی الگوی پوشش گیاهی و کاربری اراضی برای برنامه‌ریزان شهری به منظور تصمیمات مدیریتی مهم است، ضرورت این مطالعه را



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ردیف	تاریخ میلادی	تاریخ هجری شمسی	ماهواره	سنجنده	اندازه پیکسل	تعداد باند
۱	۲۰۰۶/۰۸/۳	۱۳۸۵/۰۵/۱۲	Landsat-5	TM	۳۰	۷
۲	۲۰۱۱/۰۸/۱	۱۳۹۰/۰۵/۱۰	Landsat-5	TM	۳۰	۷
۳	۲۰۱۷/۰۸/۱	۱۳۹۶/۰۵/۱۰	Landsat-8	OLI	۳۰	۱۱

طبقه‌بندی شدند (۹). چهار طبقه بر اساس میانگین و انحراف معیار تقسیم‌بندی شد. طبقه یک، مقادیر کوچک‌تر از میانگین منهای انحراف معیار، طبقه دو، میانگین منهای انحراف معیار تا میانگین، طبقه سه، میانگین تا میانگین افزون بر انحراف معیار، طبقه چهار، مقادیر بزرگ‌تر از میانگین افزون بر انحراف معیار (۹). سپس با استفاده از آنالیز گرادیان تحلیل تغییرات سیمای سرزمین صورت گرفت که بدین منظور تعداد ۴ متریک در سطح کلاس و ۷ متریک در سطح سیمای سرزمین مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته است. نحوه انتخاب متریک‌ها بر اساس اهداف و مقیاس مطالعه، خروجی آن و مطالعه ژانگ و همکاران (۳۲) بوده است. در جدول ۲ توضیحات مربوط به هر متریک ارائه شده است.

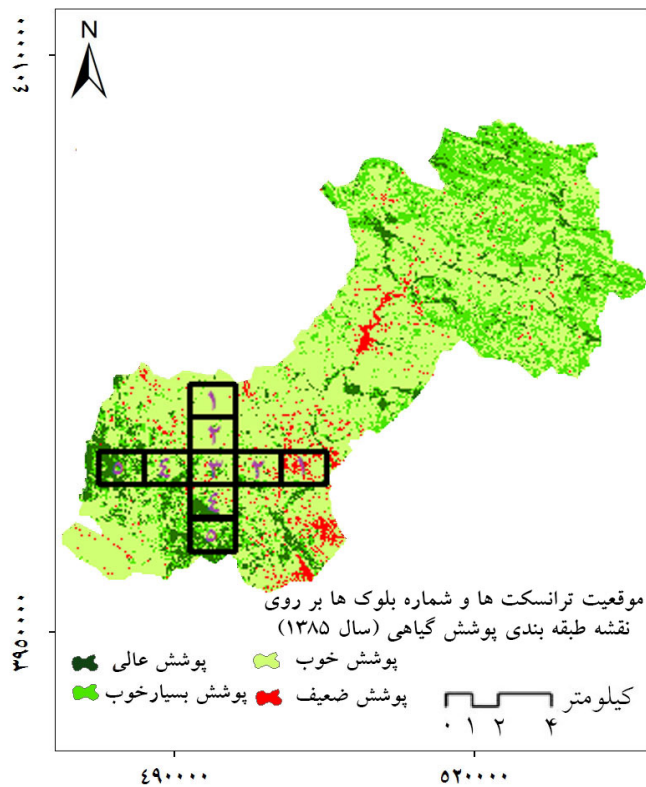
لازمه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای این است که کیفیت داده‌ها از لحاظ رادیومتری و هندسی قبل از استفاده مورد بررسی قرار گیرد و اطمینان حاصل شود که داده‌ها عاری از هرگونه خطای رادیومتری و هندسی هستند. با توجه به اینکه تصاویر ماهواره لندست تصحیح هندسی شده‌اند، اما به منظور اطمینان از عدم وجود خطاهای اتمسفری و هندسی بر روی تصاویر تصحیح هندسی، اتمسفری و پیش‌پردازش‌های اولیه در نرم‌افزار ENVI صورت گرفت. سپس شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی محاسبه گردید. جهت بررسی تغییرات کیفی پوشش گیاهی در طی ۱۱ سال نقشه‌های خروجی شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی به چهار کلاس پوشش عالی (اراضی کشاورزی و فضای سبز)، بسیار خوب (باغات)، خوب (مراتع) و ضعیف (اراضی بایر و مناطق آبی)

جدول ۲. معرفی متریک‌های سیمای سرزمین

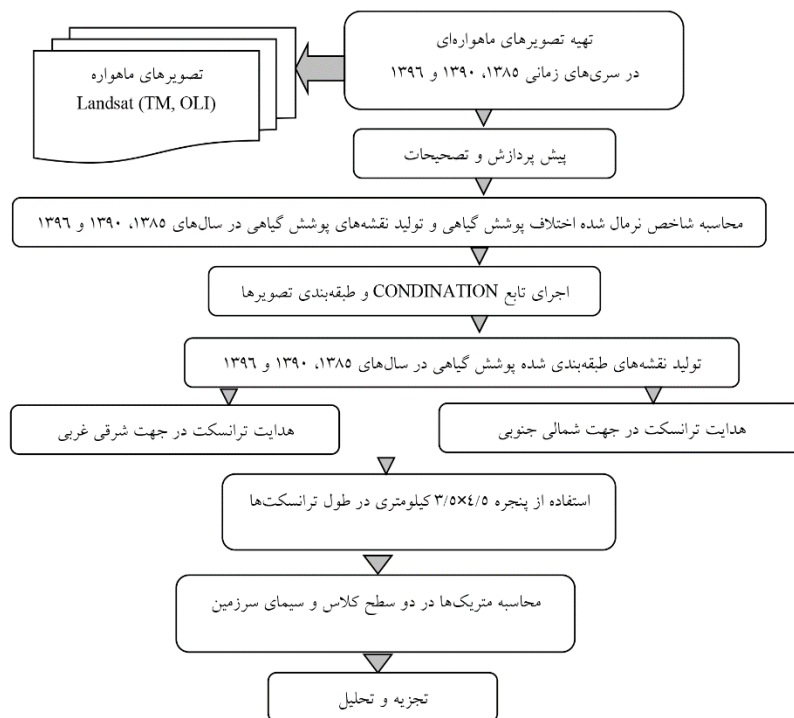
متریک	توضیح	دامنه تغییرات	رابطه
میانگین سطح لکه (MPA)	حاصل تقسیم مجموع مساحت لکه‌های با کاربری مشابه بر تعداد کل آن‌ها. تفسیر کاهش اندازه لکه‌ها نشان‌دهنده افزایش ازهم‌گسیختگی منطقه در فاصله زمانی موردبررسی است. واحد این متریک هکتار است.	$MPS > 0$	$MPA = \frac{\sum_{j=1}^n A_{ij}}{n_i}$
میانگین شاخص بعد فرکتال (MFRAC)	مجموع تمام لکه‌های متناظر با ارزش لکه فرکتال تقسیم‌بر تعدادی از لکه‌های همان نوع. این شاخص پیچیدگی شکل در طیف وسیعی از مقیاس‌های فضایی را نشان می‌دهد. این متریک واحد ندارد.	$1 \leq \text{FRAC} \leq 2$	$MFRAC = \frac{\sum_{j=1}^n \text{FRAC}_{ij}}{n_i}$
میانگین شاخص شکل (MSHI)	متوسط پیچیدگی شکل لکه است با افزایش مقدار این متریک به صورت نامحدود شکل لکه نامنظم‌تر می‌شود. این متریک واحد ندارد.	$\text{SHAPE-MN} \geq 1$	$MSHI = \frac{\sum_{j=1}^n \text{SHAPE}_{ij}}{n_i}$
میانگین نزدیک‌ترین همسایه (MENN)	متوسط فاصله بین لکه‌های مشابه از یک کلاس است که نشان‌دهنده میزان ایزوله بودن آن‌هاست. افزایش این شاخص، به معنی افزایش فاصله میان لکه‌های هم نوع و دشواری ارتباط میان آن‌هاست که از علائم بروز ازهم‌گسیختگی در سیمای سرزمین است. در این رابطه $h_i$ ؛ فاصله هر لکه نسبت به نزدیک‌ترین همسایه از نوع خود لکه است. همچنین $m$ تعداد کل نزدیک‌ترین همسایه‌ها به این لکه است. واحد این متریک متر است.	$\text{ENN-MN} > 0$	$MNN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{N'}$
شاخص تنوع شانون (SHDI)	$i$ لکه‌های یک نوع از، $1, 2, \dots, m$ میزان فضای اشغال‌شده توسط لکه‌های از یک نوع (طبقه) $i$ و $m$ تعداد لکه‌های هم نوع در سیمای سرزمین به‌جز مرز خارجی سیمای سرزمین است. تنوع به‌وسیله دو جزء غنا و یکنواختی به‌صورت مستقل از هم اندازه‌گیری می‌شود. به تعداد کلاس‌های موجود غنا می‌گویند. همچنین یکنواختی توزیع مساحت کلاس‌های مختلف را اندازه‌گیری می‌کند. این متریک بدون واحد است.	$S_i \quad \text{SHDI} \geq 0$	
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. این متریک بدون واحد است.	$0 \leq \text{SHEI} \leq 1$	$\text{SHEI} = \frac{-\sum_{i=1}^k (P_i \times \ln P_i)}{\ln k}$

تشخیص تغییرات گرادیان پوشش گیاهی، دو ترانسکت در جهت شمالی- جنوبی و شرقی- غربی به کار گرفته شد. مسیر عبور این دو ترانسکت به‌گونه‌ای طراحی شد که هر دو از مرکز شهر عبور کنند. طول ترانسکت شمالی- جنوبی ۱۷ کیلومتر و عرض آن ۴ کیلومتر و طول ترانسکت شرقی- غربی ۴ کیلومتر و عرض آن ۲۲ کیلومتر طراحی شد. همچنین هر دو ترانسکت از ۵ بلوک،  $3/5 \times 4/5$  کیلومتری تشکیل شده است. مراحل انجام تحقیق در شکل ۳ نشان داده شده است.

برای بررسی گرادیان شهری در طول ترانسکت‌ها مدل پنجره متحرک (Moving windows) به‌کاربرده شد. ترانسکت‌ها در محیط ArcGIS طراحی شدند (شکل ۲). پنجره‌ها در طول ترانسکت به‌وسیله یک ایستگاه نمونه‌گیری حرکت می‌کند و پهنای پنجره بستگی به هدف کاربر دارد. اگرچه این روش باعث می‌شود که در مرکز نمونه‌برداری بیشتر و در نواحی پیرامونی نمونه‌برداری کمتری صورت گیرد اما این امر نتیجه نهایی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد (۷). سپس جهت



شکل ۲. موقعیت ترانسکت ها و شماره بلوک ها در دو جهت شرقی- غربی و شمالی- جنوبی بر روی نقشه طبقه بندی پوشش گیاهی (سال ۱۳۸۵)



شکل ۳. مراحل انجام تحقیق

سرزمین را می‌توان با متریک‌های سیمای سرزمین کمی کرد که یکی از ابزارهای کلیدی برای نظارت، ارزیابی و مدیریت سیمای سرزمین است (۱۹). لذا متریک‌های سیمای سرزمین به‌طور گسترده در مطالعات مربوط به ارزیابی مناطق طبیعی، جنگل‌ها و پارک‌های ملی به کار می‌رود. نرم‌افزار Fragstats محاسبه‌های آماری متعددی برای هر لکه طبقه در سیمای سرزمین و برای کل سرزمین دارد.

### تحلیل گرادیان

این روش اولین بار توسط ویتاگر (۲۹) باهدف مطالعه پوشش گیاهی ابداع شد که می‌تواند به‌صورت واقعی‌تری تغییرات الگوی سیمای سرزمین را نشان دهد (۲۳)، لذا بسیار کارا و مؤثر است و تحلیل آن با ابزارهایی مانند نرم‌افزار Fragstats امکان‌پذیر است. روش گرادیان بدین معنی است که بر روی یک سطح، بدون طبقه‌بندی خاصی از کاربری اراضی و یا بدون ایجاد طبقات همگن با مرزهای مشخص، ویژگی موردنظر مطالعه می‌شود. بنابراین، این روش ارائه‌ای واقع‌گرایانه‌ای از خصوصیات سطحی می‌دهد (۲۲).

### نتایج

در نقشه‌های پوشش گیاهی قسمت‌های سبز رنگ بهترین پوشش گیاهی را دارند که شامل باغات (قسمت‌های شمال و شرق منطقه و بخش اندکی از مرکز) و اراضی کشاورزی (غرب و قسمتی از مرکز) می‌باشند (شکل ۴). نتایج طبقه‌بندی پوشش گیاهی در جدول ۳ نشان داده شده است.

### شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)

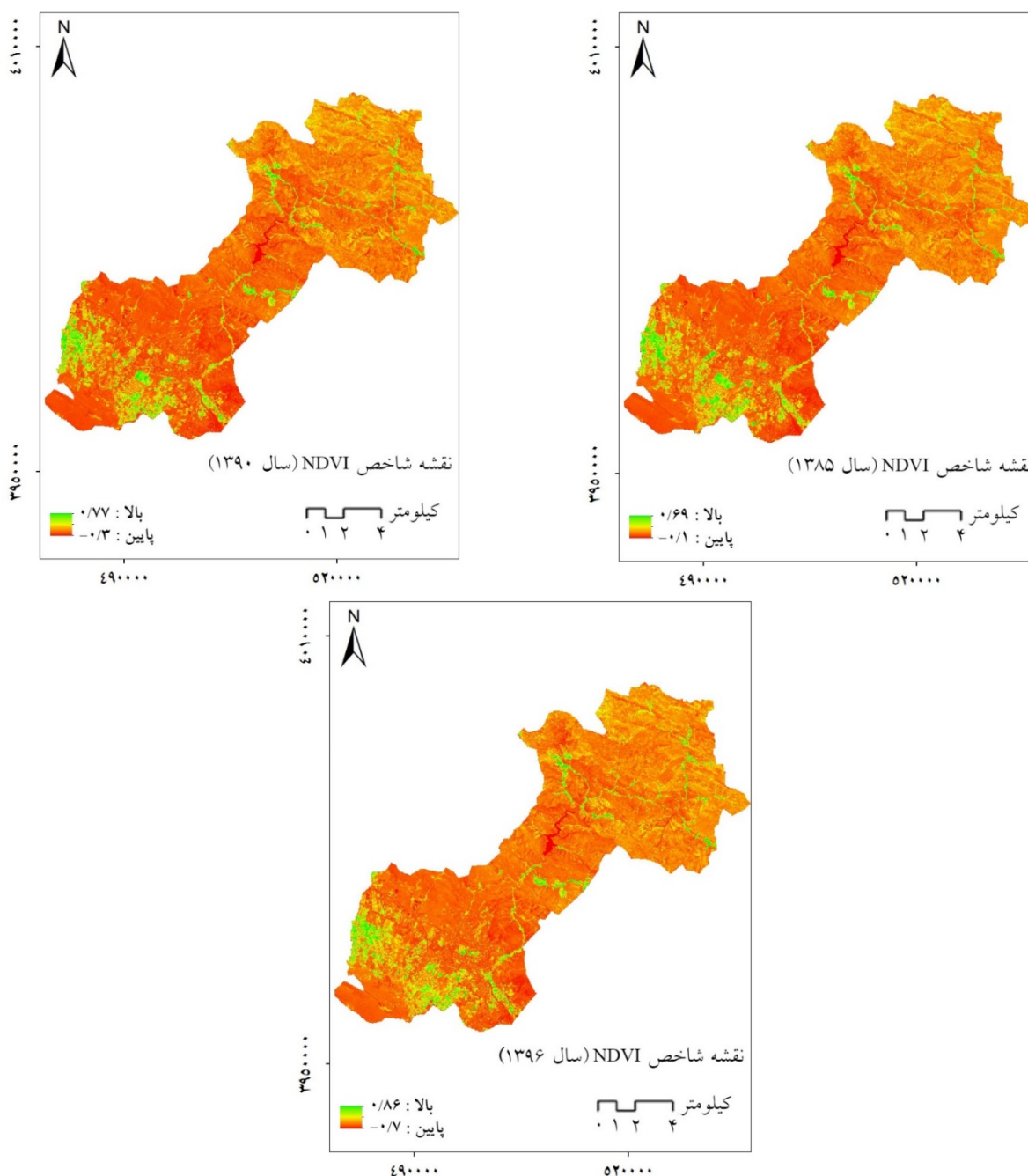
شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است. شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (۱۸).

$$NDVI = (\rho NIR - \rho RED) / (\rho NIR + \rho RED) \quad [1]$$

در این رابطه؛ برای سنجنده TM باند مادون‌قرمز (ρNIR) باند چهار و باند قرمز (ρRED) باند سه و برای سنجنده OLI باند مادون‌قرمز (ρNIR) باند پنج و باند قرمز (ρRED) باند چهار است. ارزش عددی این شاخص بین اعداد +۱ و -۱ متغیر است که هر چه به عدد +۱ نزدیک شود بر میزان پوشش گیاهی افزوده می‌گردد (۲۳). شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی واکنش به اعمال فتوسنتزی را به‌خوبی نمایش می‌دهد که ارزش بالاتر آن نشان‌گر پوشش گیاهی متراکم‌تر و شاداب‌تر است. در این شاخص فرض بر این است که ناحیه تحت بررسی دارای نوع خاک یکسانی است، بنابراین، اگر این فرض صادق نباشد ناهمسانی انواع خاک بر روی نتایج حاصل از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی تأثیر خواهد گذاشت و نتایج نادرستی حاصل خواهد شد (۹).

### متریک‌های سیمای سرزمین (Landscape index)

سیمای سرزمین منطقه‌ای است که در مقیاس تعیین‌شده توسط ملاحظات محیط‌زیستی، فرهنگی، تاریخی، اجتماعی و اقتصادی موردبررسی قرار می‌گیرد (۱۶). الگوهای سیمای



شکل ۴. نقشه‌های خروجی شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی

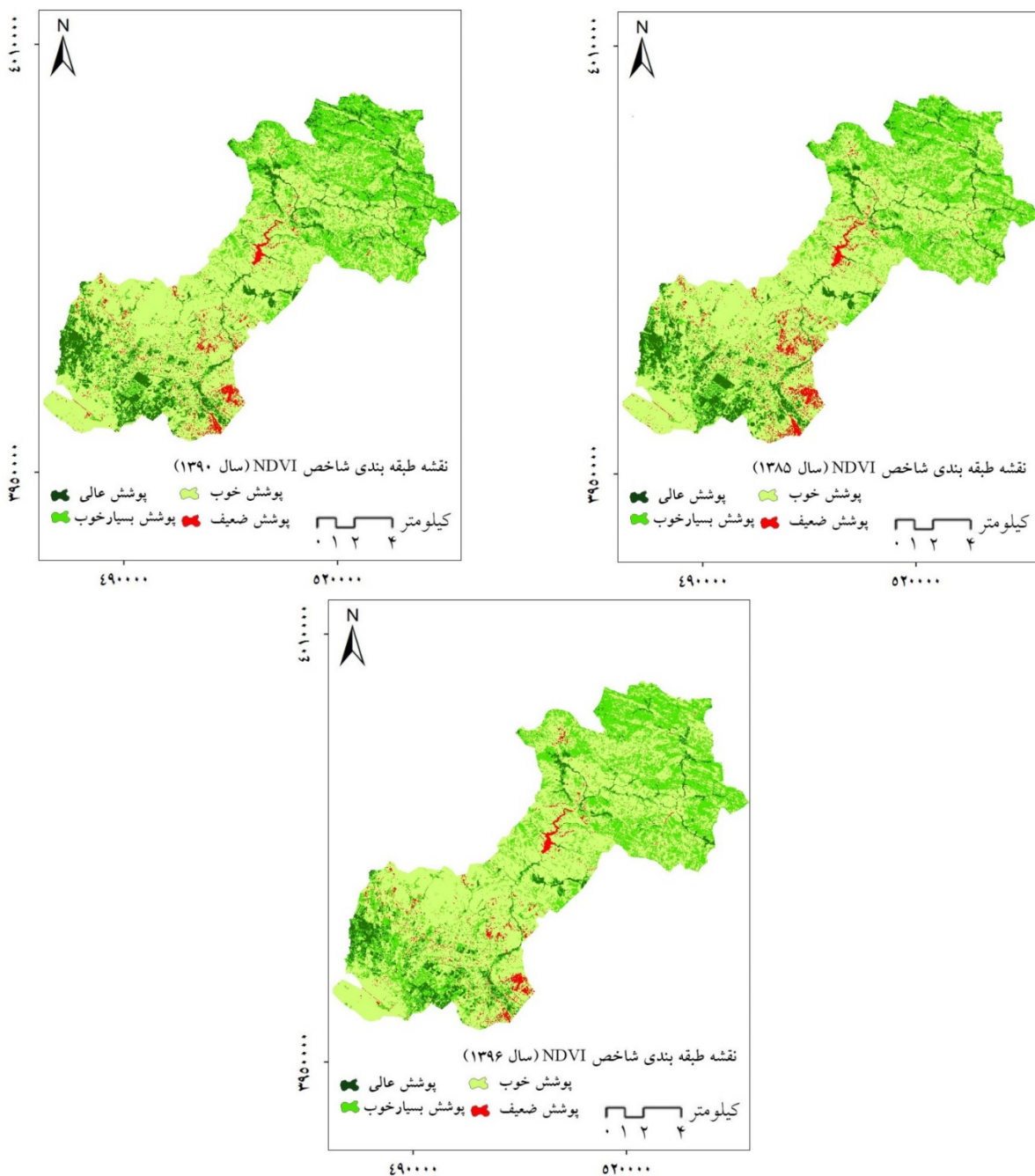
جدول ۳. ویژگی‌های طبقات پوشش گیاهی

سال ۱۳۹۶	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۸۵	طبقات
< ۰/۰۶	< ۰/۰۵	< ۰/۰۵	پوشش ضعیف
۰/۰۶ - ۰/۱۸	۰/۰۵ - ۰/۱۵	۰/۰۵ - ۰/۱۴	پوشش خوب
۰/۱۸ - ۰/۳	۰/۱۵ - ۰/۲۵	۰/۱۴ - ۰/۲۳	پوشش بسیار خوب
> ۰/۳	> ۰/۲۵	> ۰/۲۳	پوشش عالی

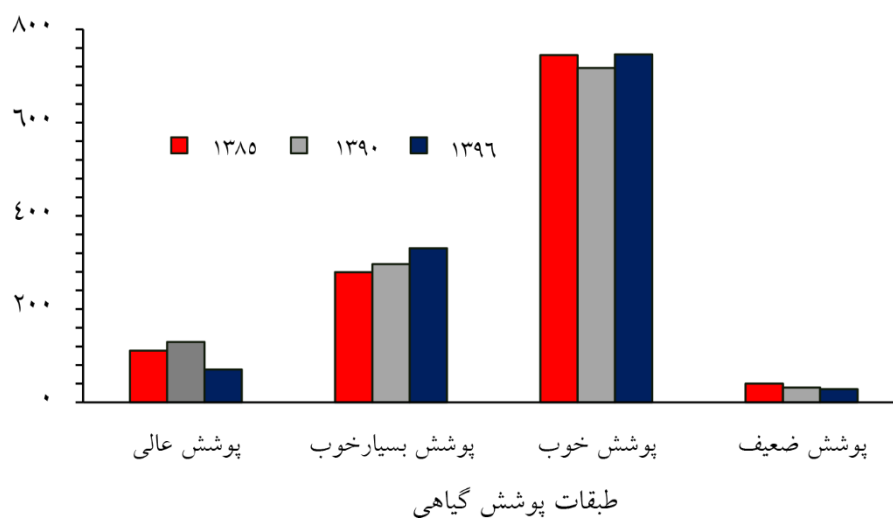


نقشه‌های طبقه‌بندی شده پوشش گیاهی که با توجه به نتایج جدول ۳ به دست آمده‌اند، برای سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که قسمت‌های بالادست و پایین دست حوزه آبخیز در سال ۱۳۸۵ پوشش گیاهی بهتری نسبت به سال ۱۳۹۶ دارند. همچنین پوشش گیاهی در قسمت‌های مرکزی حوزه آبخیز بیشترین کاهش را داشته است (شکل ۵). درصد مساحت مختلف نیز محاسبه شد (جدول ۵).

اختصاص یافته به هر کلاس نیز در شکل ۶ آمده است. بیشترین طبقه پوشش گیاهی در سه دوره مطالعه مربوط به کلاس خوب است. نتایج حاصل از بررسی و مقایسه متریک‌های سرزمین در حوزه آبخیز کرج در سطح کلاس ارائه شده است (جدول ۴). همچنین میزان افزایش یا کاهش هر کدام از متریک‌ها در طبقات مختلف نیز محاسبه شد (جدول ۵).



شکل ۵. نقشه‌های خروجی طبقه‌بندی شده شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی



شکل ۶. درصد مساحت اختصاص یافته به هر کلاس طبقات پوشش گیاهی

جدول ۴. مقایسه متریک‌های کلاس پوشش گیاهی حوزه آبخیز کرج در سری زمانی ۱۱ ساله

سال	طبقات پوشش	متریک‌ها در سطح کلاس	ترانسکت شمالی جنوبی	ترانسکت شرقی غربی	کل
۱۳۸۵	عالی	MPA	۱۴/۹	۱۸/۲	۳۳/۱
		MFRAC	۵/۲۲	۵/۶۶	۱۰/۸۸
		MSHI	۶/۴۱	۶/۳۲	۱۲/۷۳
	بسیار خوب	MENN	۸۱۴/۸	۷۴۷/۸	۱۵۶۲/۶
		MPA	۴/۶۹	۴/۲۷	۸/۹۶
		MFRAC	۵/۲۴	۵/۲۵	۱۰/۴۹
۱۳۹۰	خوب	MSHI	۶/۸۶	۶/۶۸	۱۳/۳۴
		MENN	۴۶۵/۶	۳۹۴/۷	۸۶۰/۳
		MPA	۱۰۳۱/۴	۱۰۳/۴	۱۱۳۴/۸
	ضعیف	MFRAC	۵/۲۵	۵/۲	۱۰/۴۵
		MSHI	۸/۰۸	۷/۱۵	۱۵/۲۳
		MENN	۳۷۸/۶	۳۹۰/۵	۷۶۹/۱
۱۳۹۶	عالی	MPA	۰/۹۳	۲/۱۹	۳/۱۲
		MFRAC	۵/۱	۵/۱۴	۱۰/۲۴
		MSHI	۵/۴۲	۵/۷۶	۱۱/۱۸
	بسیار خوب	MENN	۸۹۸/۷	۷۸۹/۱	۱۶۸۷/۸
		MPA	۱۳/۵	۲۱/۸	۳۵/۳
		MFRAC	۵/۲۴	۵/۲۶	۱۰/۵
ضعیف	MSHI	۶/۴	۶/۳۴	۱۲/۷۴	
	MENN	۸۳۸/۳	۷۰۰/۹	۱۵۳۹/۲	

ادامه جدول ۴. مقایسه متریک‌های کلاس پوشش گیاهی حوزه آبخیز کرج در سری زمانی ۱۱ ساله

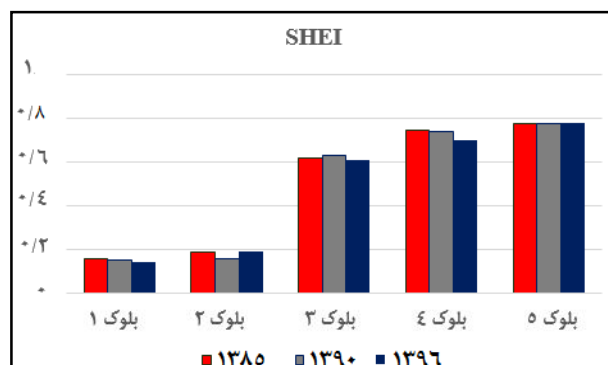
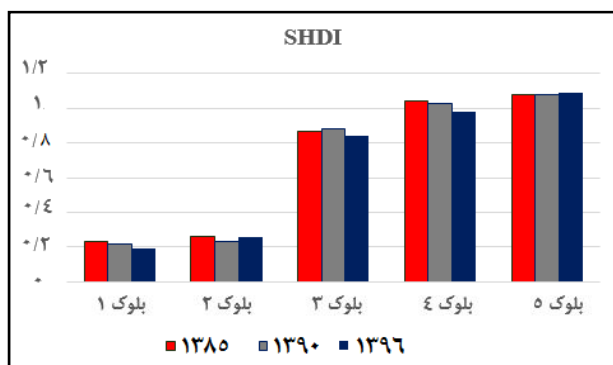
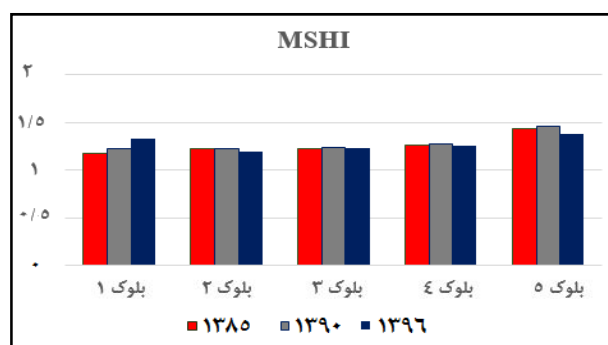
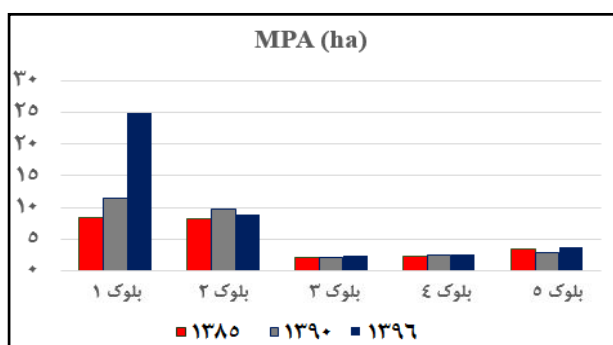
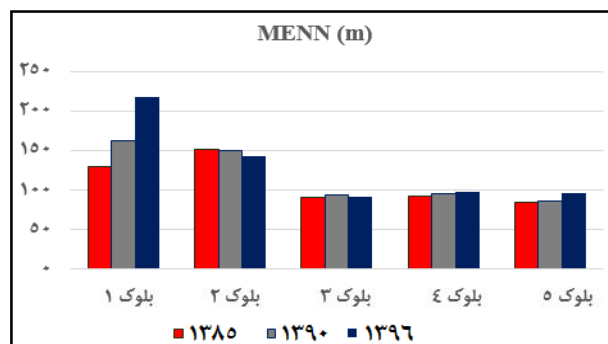
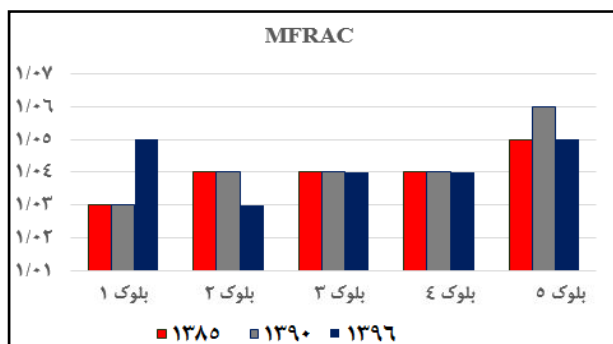
سال	طبقات پوشش	متریک‌ها در سطح کلاس	ترانسکت شمالی جنوبی	ترانسکت شرقی غربی	کل
۱۳۹۰	بسیار خوب	MPA	۳/۹	۳/۳	۷/۲
		MFRAC	۵/۲۸	۵/۲۴	۱۰/۵۲
		MSHI	۷	۶/۵۱	۱۳/۵۱
	خوب	MENN	۴۸۶/۵	۴۱۲/۹	۸۹۹/۴
		MPA	۷۵۶/۳	۱۱۰/۳	۸۶۶/۶
		MFRAC	۵/۲۶	۵/۲۱	۱۰/۴۷
	ضعیف	MSHI	۷/۵۲	۷/۱۷	۱۴/۶۹
		MENN	۳۸۵/۳	۳۸۳/۴	۷۶۸/۷
		MPA	۱/۱	۲/۲۹	۳/۳۹
	عالی	MFRAC	۵/۰۹	۵/۱۷	۱۰/۲۶
		MSHI	۵/۳۹	۵/۹۵	۱۱/۳۴
		MENN	۱۱۴۳/۱	۹۰۴/۹	۲۰۴۸
		MPA	۸/۲۱	۹/۳۲	۱۷/۵۳
		MFRAC	۵/۲۳	۵/۲	۱۰/۴۳
		MSHI	۶/۱۳	۶/۲۳	۱۲/۳۶
	بسیار خوب	MENN	۷۸۵/۹	۶۷۱/۲	۱۴۵۷/۱
		MPA	۱۱/۵۳	۹/۳۱	۲۰/۸
		MFRAC	۵/۲	۵/۲۳	۱۰/۴۳
MSHI		۶/۸۶	۶/۷۱	۱۳/۵۷	
MENN		۵۵۶/۳	۴۲۵/۲	۹۸۱/۵	
MPA		۶۹۵/۱	۱۲۲/۵	۸۱۷/۶	
MFRAC		۵/۲۵	۵/۲	۱۰/۴۵	
MSHI		۷/۶۱	۷/۱۶	۱۴/۷۷	
MENN		۳۷۸/۵	۳۹۰/۷	۷۶۹/۲	
MPA		۱/۳۱	۲/۲۵	۳/۵۶	
ضعیف	MFRAC	۵/۱	۵/۱	۱۰/۲	
	MSHI	۵/۵۳	۵/۶۴	۱۱/۱۷	
	MENN	۱۱۹۲/۷	۸۲۸/۶	۲۰۲۱/۳	

جدول ۵. میزان افزایش یا کاهش متریک‌ها در بازه زمانی ۱۱ ساله

میزان افزایش یا کاهش				طبقات پوشش
MENN	MSHI	MFRAC	MPA	
-۱۰/۵	-۰/۳۷	-۰/۴۵	-۱۵/۵۷	پوشش عالی
۱۲۱/۲	۰/۲۳	-۰/۰۶	۱۱/۸	پوشش بسیار خوب
۰/۱	-۰/۴۶	۰	-۳۱۷/۲	پوشش خوب
۳۳۳/۵	-۰/۰۱	-۰/۰۴	۰/۴۴	پوشش ضعیف

ترانسکت است. ترانسکت‌ها با بلوک شماره ۱ (شمالی‌ترین) شروع و به بلوک شماره ۵ (جنوبی) ختم می‌شوند.

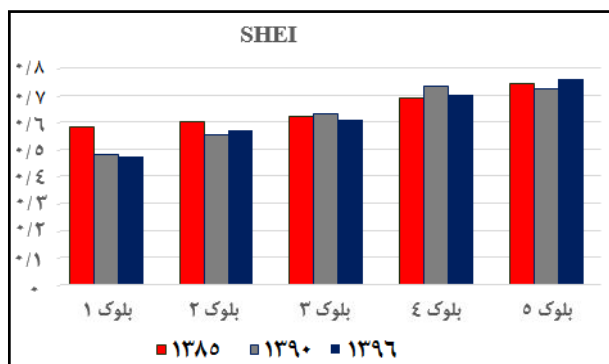
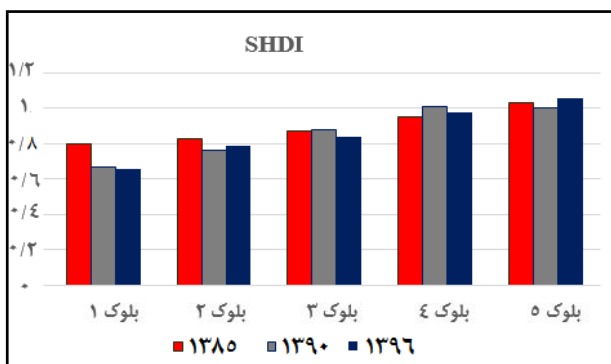
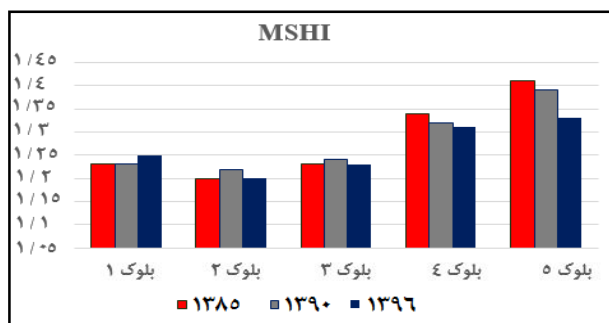
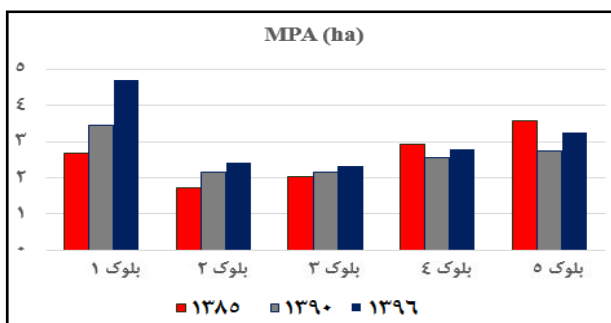
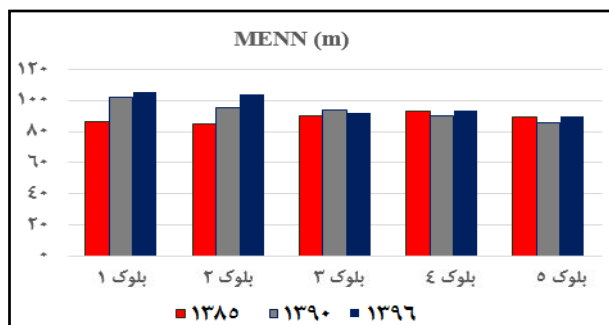
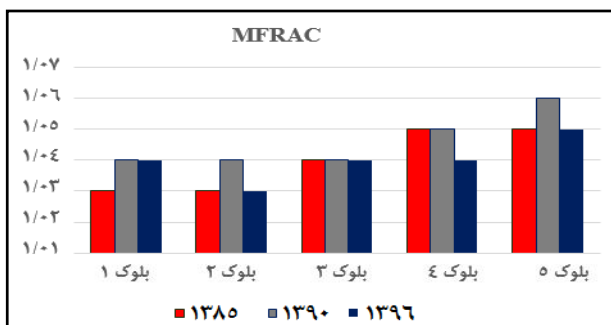
نتایج بررسی ترانسکت شمالی- جنوبی در سطح سیمای سرزمین در شکل ۷ نشان داده شده است. در این شکل اعداد درج شده در ردیف افقی شکل‌ها شماره بلوک‌ها در این



شکل ۷. روند تغییرات متریک‌ها در طول ترانسکت شمالی- جنوبی در سطح سیمای سرزمین

بلوک شماره ۱ شرقی‌ترین و بلوک شماره ۵ غربی‌ترین بلوک است.

همچنین نتایج بررسی ترانسکت شرقی- غربی در سطح سیمای سرزمین در شکل ۸ آمده است. در این ترانسکت نیز



شکل ۸. روند تغییرات متریک‌ها در طول ترانسکت شرقی- غربی در سطح سیمای سرزمین

## بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به رشد فزاینده شهرنشینی و تغییر شدید کاربری اراضی، پوشش گیاهی به‌عنوان یک عامل دینامیک و مؤثر بر شرایط زیستی، باید به‌طور پیوسته از لحاظ کمی و کیفی موردبررسی قرار گیرد، به‌طوری‌که از تخریب پوشش گیاهی شهری و تغییر کاربری آن‌ها جلوگیری شود و توسعه مرزهای شهری به سمتی پیش رود که پوشش‌های گیاهی مورد تخریب واقع نشوند. نتایج مقایسات مساحت طبقات در سری زمانی مورد مطالعه (شکل ۶) نشان داد که در سری زمانی ۱۱ ساله

اراضی با بسیار خوب و خوب افزایش مساحت و اراضی با پوشش عالی و ضعیف کاهش مساحت را داشته است. بیشترین افزایش مساحت در اراضی با پوشش گیاهی بسیار خوب صورت گرفته، به‌طوری‌که از ۲۷۹۳۹ هکتار در سال ۱۳۸۵ به ۳۳۰۴۳ هکتار در سال ۱۳۹۶ رسیده است. همچنین بیشترین کاهش مساحت در اراضی با پوشش عالی است که در بازه زمانی مورد مطالعه به میزان ۴۰۵۵ هکتار کاهش یافته است. در بین طبقات پوشش گیاهی در بازه زمانی مورد مطالعه مساحت طبقه پوشش بسیار خوب در هر سه سال مورد بررسی

این مسئله نشان‌دهنده تخریب و خردشدگی بیشتر اراضی زراعی در ناحیه مرکز و جنوبی شهر است و این خردشدگی به‌گونه‌ای است که سبب کاهش نامتناسب مساحت این اراضی و افزایش پیچیدگی در فرم آن‌ها شده است. در ترانسکت شرقی- غربی میزان میانگین اندازه لکه در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۶ هر چه از شرق به‌طرف غرب می‌رویم کاهش می‌یابد. در سال ۱۳۸۵ نیز این مقدار در مرکز بیشترین و در غرب به‌طور کم و منظم کاهش یافته است. نوسانات متریک میانگین اندازه لکه در طی هر سه سال موردبررسی ریزدانه بودن پوشش گیاهی در مرکز شهر را نشان می‌دهد. میانگین سطح لکه برای کلاس‌های طبقاتی دارای پوشش مناسب (عالی و خوب) در بازه زمانی ۱۱ ساله کاهش و برای پوشش ضعیف افزایش یافته است (جدول ۵)، که گویای ازهم‌گسیختگی و تخریب در پوشش‌های طبیعی منطقه است. این متریک یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کمی برای ارزیابی چشم‌انداز و تکه‌تکه شدن زیستگاه است (۱۲). میانگین شاخص بعد فرکتال نیز در بازه مورد مطالعه برای پوشش‌های عالی، بسیار خوب و ضعیف روند کاهشی و برای پوشش خوب بدون تغییر نسبت به سال اولیه بوده است (جدول ۵). متریک شاخص شکل نشان می‌دهد که میانگین شکل لکه برای طبقه با پوشش عالی افزایش و برای سایر طبقات کاهش یافته است. این شاخص می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های شهری مفید واقع شود. متریک‌های شاخص شکل و بعد فرکتال روابط فضای محیط اطراف را تعیین می‌کند (۳۲). به‌طور کلی تفسیر معنای محیط‌زیستی از معیارهای شکل و بعد فرکتال دشوار است که به‌شدت تحت تأثیر عوامل زیادی مانند مقیاس، فرمت داده‌ها و معادلات ریاضی است (۱۹). متریک میانگین نزدیک‌ترین همسایه، میانگین فاصله بین لکه‌های مشابه از یک کاربری را نشان می‌دهد. مقایسه این متریک در بازه زمانی ۱۱ ساله حاکی از این است که مقادیر پوشش عالی (اراضی کشاورزی) بالاترین روند کاهشی را داشته‌اند. بررسی ترانسکت در سطح سیمای سرزمین با شش متریک انجام شد (شکل‌های ۷ و ۸). نتایج حاصل از روند تغییرات متریک‌ها در طول ترانسکت شمالی- جنوبی در سطح

روند افزایشی داشته است. با توجه به اینکه مناسب‌ترین وسیله برای شناخت تغییرات سیمای سرزمین در مقیاس وسیع در طول گرادیان، ترانسکت است (۲۱)، لذا در این مطالعه تغییرات پوشش گیاهی حوزه آبخیز کرج با استفاده از تحلیل گرادیان و در طول ترانسکت‌ها بررسی شد. بر این اساس در هر دو ترانسکت شمالی- جنوبی و شرقی- غربی (سطح کلاس، سال ۱۳۸۵)، متریک میانگین اندازه‌ی لکه (MPA) پوشش گیاهی خوب و ضعیف به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار بود. مقادیر متریک میانگین شاخص بعد فرکتال (MFRAC) برای کل طبقات پوشش در ترانسکت شرقی- غربی به میزان بسیار کمی افزایش یافته است. متریک شاخص شکل (MSHI) در هر دو ترانسکت در طبقه پوشش خوب دارای بالاترین مقدار بود. نتایج متریک میانگین نزدیک‌ترین همسایه (MENN) نیز حاکی از این است که مقدار این متریک در هر دو ترانسکت در طبقه با پوشش ضعیف دارای بالاترین مقدار است. تغییرات متریک‌ها در طبقات پوشش گیاهی در سال ۱۳۹۰، سطح کلاس، در هر دو ترانسکت نشان می‌دهد که بالاترین میزان متریک MPA همانند سال ۱۳۸۵ در پوشش گیاهی خوب است. میانگین شاخص بعد فرکتال نیز برای تمام طبقات پوشش در این سال دارای نوسانات اندکی بوده است. همچنین پوشش عالی بالاترین و پوشش ضعیف پایین‌ترین مقدار MSHI را داشتند. بررسی متریک MENN در این سطح نیز نشان می‌دهد که پوشش ضعیف بالاترین مقدار این متریک را دارد. در سال ۱۳۹۶ نیز در هر دو ترانسکت شمالی- جنوبی و شرقی- غربی، در سطح کلاس، میزان MPA طبقه پوشش خوب بالاترین مقدار را دارد. همچنین مقادیر متریک MFRAC در هر دو ترانسکت در این سال نیز باهم برابر است. مقدار متریک MSHI نیز در هر دو ترانسکت در طبقه پوشش خوب دارای بالاترین مقدار بود. مقدار متریک MENN نیز در ترانسکت شمالی- جنوبی همانند سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ در طبقه با پوشش ضعیف دارای بالاترین مقدار است (جدول ۴). به‌طور کلی متریک میانگین اندازه لکه در هر سه سال مورد بررسی هر چه به سمت جنوب شهر می‌رویم کاهش می‌یابد.

در سال ۱۳۹۰ بالاترین مقدار این متریک در بلوک ۱ مشاهده می‌شود و بعد از این به طرف غرب روند کاهشی دارد. در سال ۱۳۹۶ نیز مقدار این متریک از بلوک ۱ به سمت بلوک ۵ روند کاهشی دارد. یعنی هر چه از شرق به سمت غرب می‌رویم به تدریج از مقدار این متریک کاسته می‌شود. شاخص تنوع شانون و یکنواختی شانون نیز در هر سه سال به طرف غرب افزایش می‌یابد. حداکثر این دو متریک در بلوک ۵ سال ۱۳۹۶ مشاهده می‌شود. نتایج این تحقیق شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی را به عنوان شاخص مؤثر در ارزیابی پوشش گیاهی معرفی می‌کند که با نتایج احمدی (۱)، بیات (۲)، پورهایمی (۳)، محمدیاری (۹)، بلس (۱۴)، گیلسپی و همکاران (۱۸)، لی (۲۰)، ون (۲۸)، وو (۳۰) همسو است. در این مطالعه برای بررسی روند تغییرات در سیمای سرزمین پس از تهیه نقشه اولیه پوشش گیاهی اقدام به طبقه‌بندی نقشه‌های پوشش گردید. سپس با استفاده از تحلیل گرادیان تغییرات پوشش گیاهی در سیمای سرزمین بررسی شده است که در مطالعات داخلی مانند محمدیاری و همکاران (۹) و جعفری و آرمان (۴) چنین کاری صورت نگرفته است. نتایج تحلیل سیمای سرزمین به برنامه‌ریزان مدیریت شهری دانش و دید بیشتری در زمینه تغییرات پوشش گیاهی می‌دهد که با نتایج ژانگ و همکاران (۳۲) مطابقت دارد. به‌طور کلی با نگاهی به نتایج حاصل از آنالیز هر دو ترانسکت در سطح سیمای سرزمین و کلاس می‌توان گفت که متریک میانگین اندازه لکه و میانگین فاصله از نزدیک‌ترین همسایه به تدریج در طول ترانسکت‌ها کاهش و در مجموع در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال اولیه افزایش یافته است. این امر نشانگر بزرگ‌تر شدن اندازه لکه‌ها است. تفسیر نتیجه افزایش فاصله لکه‌های هم نوع ممکن است نتیجه پیچیدگی سیمای سرزمین باشد. همچنین افزایش شاخص میانگین فاصله از نزدیک‌ترین همسایه، به معنی افزایش فاصله میان لکه‌های هم نوع و دشواری ارتباط میان آن‌هاست که از علائم بروز ازهم‌گسیختگی در سیمای سرزمین است (۶). متریک شاخص شکل نیز در سطح کلاس در طول ترانسکت‌ها کاهش می‌یابد و در سطح سیمای سرزمین در ترانسکت

سیمای سرزمین (شکل ۷) نشان می‌دهد که میانگین اندازه‌ی لکه در هر سه سال ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ در بلوک ۱ (پوشش ضعیف و خوب) بیشترین مقدار را دارند. میانگین شاخص بعد فرکتال در هر سه سال مورد بررسی به سمت بلوک ۵ (پوشش خوب و بسیار خوب) افزایش می‌یابد. تغییرات متریک میانگین شاخص شکل در هر سه سال از بلوک ۱ به بلوک ۴ روند کاهشی، سپس در بلوک ۴ (اطراف شهر) به سمت بلوک ۵ با پوشش خوب و بسیار خوب افزایش می‌یابد. بررسی متریک میانگین نزدیک‌ترین همسایه در این سطح نشان می‌دهد که در هر سه سال از بلوک ۱ به سمت بلوک ۵ با کاهش مواجه شده است. تنوع شانون در هر سه سال در بلوک ۴ و ۵ 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. بنابراین همان‌طور که شکل ۷ نشان می‌دهد مقادیر مربوط به تنوع لکه‌ها در سطح شهر در سال ۱۳۹۶ نسبت به دو سال دیگر در بلوک ۵ بالاترین تنوع و فراوانی و در بلوک ۱ کمترین تنوع را دارد. بلوک ۵ در این سال شامل طبقات پوشش بسیار خوب و عالی است و پوشش غالب بلوک ۱ را اراضی بایر با پوشش ضعیف تشکیل داده‌اند. طی سه سال مورد بررسی بالاترین شاخص یکنواختی شانون در سال ۱۳۹۶ و در بلوک ۵ مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار این متریک در هر سه سال مورد بررسی در بلوک ۱ بود. نتایج حاصل از روند تغییرات متریک‌ها در طول ترانسکت شرقی-غربی در سطح سیمای سرزمین (شکل ۸) نشان می‌دهد بالاترین و پایین‌ترین میانگین اندازه‌ی لکه در بازه زمانی مورد مطالعه به ترتیب در بلوک ۱ و ۲ سال ۱۳۹۶ است. میانگین شاخص بعد فرکتال در هر سه سال مورد بررسی به سمت بلوک ۵ که پوشش غالب آن اراضی عالی است، افزایش می‌یابد. همچنین حداکثر میانگین شاخص شکل در بازه زمانی مورد مطالعه در سال ۱۳۸۵ در بلوک ۵ و حداقل این شاخص در بلوک ۲ سال ۱۳۹۶ بود. روند تغییرات متریک میانگین نزدیک‌ترین همسایه در سال ۱۳۸۵ از بلوک ۱ به طرف بلوک ۲ کاهش و با شیب بسیار ملایم به سمت بلوک ۴ افزایش می‌یابد.

۱۳۹۴. تحلیل ارتباط پوشش گیاهی بر وقوع تعداد گردوغبار استان خراسان رضوی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۴): ۳۳-۴۵.

۴. جعفری، ع. و ز. آرمان. ۱۳۹۳. پایش تغییرات پوشش گیاهی منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن و دلایل آن بر اساس تحلیل دو زمانه NDVI. مجله محیط‌زیست طبیعی-منابع طبیعی ایران، ۶۷(۴): ۳۹۱-۴۰۲.

۵. جباریان امیری، ب. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات محیط زیستی. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۸۴ صفحه.

۶. زبردست، ل.، ا. ر. یآوری، ا. صالحی و م. مخدوم. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات ساختاری ناشی از جاده در پارک ملی گلستان در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ با استفاده از متریک‌های اکولوژی سیمای سرزمین. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۲(۴): ۱۱-۲۰.

۷. میرسنجری، م.، م. و ف. محمدیاری. ۱۳۹۶. پایش تغییرات سیمای سرزمین با استفاده از تحلیل گرادیان مطالعه موردی (شهرستان بهبهان). مجله جغرافیا و پایداری محیط، ۲۲: ۸۳-۹۶.

۸. میرزایی، م.، ع. ریاحی بختیاری، ع. ماهینی، و م. غلامعلی فرد. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات پوشش اراضی استان مازندران با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین بین سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۸۹. مجله اکولوژی کاربردی، ۲(۴): ۳۷-۵۴.

۹. محمدیاری، ف. ح. پورخباز، م. توکلی و ح. اقدر. ۱۳۹۳. تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان). فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۹۲ (۲۳): ۲۳-۳۴.

10. Alberti M, Marzluff JM. 2004. Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems*, 7(3): 241-265.

11. Barbosa H, Kumar TL. 2016. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, 124: 377-387.

12. Batistella M, Robeson S, Moran EF. 2003. Settlement design, forest fragmentation, and landscape change in Rondônia, Amazônia. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(7): 805-812.

شمالی- جنوبی کاهش و در ترانسکت شرقی- غربی افزایش می‌یابد. در نهایت می‌توان گفت که در بازه زمانی مورد مطالعه در حوزه آبخیز کرج از درصد پوشش‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی کاسته شده و در مقابل پوشش‌های مصنوعی و انسان‌ساخت افزایش یافته است. همچنین متریک بعد فرکتال در طول ترانسکت‌ها نتایج مناسب و قابل اطمینانی نشان نداد. با توجه به اینکه شاخص تنوع شانون در مقایسه با شاخص تنوع سیمپسون حساسیت بیشتری نسبت به لکه‌های نادر دارد. لذا در این مطالعه از شاخص تنوع شانون استفاده گردید که با افزایش تعداد لکه‌های ناهمگون در سیمای سرزمین این متریک میزان بزرگ‌تری را نشان می‌دهد. در واقع بر اساس نتایج شاخص تنوع شانون در بازه زمانی مورد مطالعه روند افزایشی دارد که افزایش این شاخص، افزایش ناهمگونی در لکه‌های کاربری منطقه مطالعاتی را بازگو می‌کند (۸). با توجه به روند تغییرات پوشش گیاهی در متریک‌ها می‌توان گفت که در کل الگوی ترانسکت شمالی جنوبی نسبت به شرقی غربی متغیر است. همچنین الگوی پراکنش پوشش گیاهی در هر سه سال مورد بررسی به صورت کپه‌ای است.

## تشکر و قدردانی

مقاله حاضر با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوریان کشور انجام گرفته است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از صندوق مذکور تشکر و قدردانی نمایند.

## منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ا.، م. ر. طاطیان، ر. تمرتاش، ح. یگانه و ی. عصری. ۱۳۹۵. بررسی پوشش گیاهی اراضی شور حاشیه دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۱): ۱-۱۲.

۲. بیات، ر.، س. جعفری، ب. قرمز چشمه و ا. چرخابی. ۱۳۹۵. مطالعه تأثیر ریز گرد‌ها بر تغییرات پوشش گیاهی (مطالعه موردی: تالاب شادگان خوزستان). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۲): ۱۷-۳۲.

۳. پور هاشمی، س.، م. بروغنی، م. زنگه اسدی و ا. امیر احمدی.



13. Birtwistle AN, Laituri M, Bledsoe B, Friedman JM. 2016. Using NDVI to measure precipitation in semi-arid landscapes. *Journal of Arid Environments*, 131: 15-24.
14. Blaes X, Chomé G, Lambert M-J, Traoré PS, Schut AG, Defourny P. 2016. Quantifying fertilizer application response variability with VHR satellite NDVI time series in a rainfed smallholder cropping system of Mali. *Remote Sensing*, 8(6): 531.
15. Davies KP, Murphy RJ, Bruce E. 2016. Detecting historical changes to vegetation in a Cambodian protected area using the Landsat TM and ETM<sup>+</sup> sensors. *Remote Sensing of Environment*, 187: 332-344.
16. Englund O, Berndes G, Cederberg C. 2017. How to analyse ecosystem services in landscapes-A systematic review. *Ecological Indicators*, 73: 492-504.
17. Gandhi GM, Parthiban S, Thummalu N, Christy A. 2015. NDVI: vegetation change detection using remote sensing and GIS—a case study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57: 1199-1210.
18. Gillespie TW, Ostermann-Kelm S, Dong C, Willis KS, Okin GS, MacDonald GM. 2018. Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 88: 485-494.
19. Li H, Wu J. 2004. Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 19(4): 389-399.
20. Li F, Song G, Liu Jun Z, Yanan Z, Di L. 2017. Urban vegetation phenology analysis using high spatio-temporal NDVI time series. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25: 43-57.
21. Luck M, Wu J. 2002. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 17(4): 327-339.
22. McGarigal K, Cushman SA, Neel MC, Ene E. 2002. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 245 pp.
23. McGarigal K, Marks BJ. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen Tech Rep PNW-GTR-351 Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station 122 p, 351.
24. Nagendra H, Lucas R, Honrado JP, Jongman RH, Tarantino C, Adamo M, Mairota P. 2013. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators*, 33: 45-59.
25. Pettorelli N, Chauvenet AL, Duffy JP, Cornforth WA, Meillere A, Baillie JE. 2012. Tracking the effect of climate change on ecosystem functioning using protected areas: Africa as a case study. *Ecological Indicators*, 20: 269-276.
26. Tao Y, Li F, Liu X, Zhao D, Sun X, Xu L. 2015. Variation in ecosystem services across an urbanization gradient: A study of terrestrial carbon stocks from Changzhou, China. *Ecological Modelling*, 318: 210-216.
27. Yu XJ, Ng CN. 2007. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: A case study of Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning*, 79(1): 96-109.
28. Wen Z, Wu S, Chen J, Lü M. 2017. NDVI indicated long-term interannual 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.
29. Whittaker RH. 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biological Reviews*, 42(2): 207-264.
30. Wu C, Peng D, Soudani K, Siebicke L, Gough CM, Arain MA, Bohrer G, Lafleur PM, Peichl M, Gonsamo A. 2017. Land surface phenology derived from normalized difference vegetation index (NDVI) at global FLUXNET sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233: 171-182.
31. Xu Y, Yang J, Chen Y. 2016. NDVI-based vegetation responses to climate change in an arid area of China. *Theoretical and Applied Climatology*, 126(1-2): 213-222.
32. Zhang Z, Van Coillie F, De Clercq EM, Ou X, De Wulf R. 2013. Mountain vegetation change quantification using surface landscape metrics in Lancang watershed, China. *Ecological Indicators*, 31: 49-58.



## Monitoring of vegetation changes in Karaj watershed using NDVI index and gradient analysis

F. Mohammadyari<sup>1</sup>, M. M. Mirsanjari<sup>2\*</sup>, A. Zarandian<sup>3</sup>

1. PhD Student of Land use Planning Environment, Department of Natural Resources and Environment, Malayer University

2. Assist. Prof. College of Environmental Science, Department of Natural Resources and Environment, Malayer University

3. Assist. Prof. Research Group of Environmental Assessment and Risks, Research Center of Environmental and Sustainable Development (RCESD) Department of Environment, Tehran

### ARTICLE INFO

#### **Article history:**

Received 17 May 2018

Accepted 1 October 2018

Available online 19 February 2019

#### **Keywords:**

Gradient analysis

Normalized difference vegetation index (NDVI)

Karaj watershed

### ABSTRACT

In the present study, vegetation changes in the Karaj watershed in 2006, 2011 and 2017 were investigated using the Normalized difference vegetation index (NDVI), the integration of land metrics and gradient analysis. After calculating the NDVI index, Then, two-section gradient analysis was designed in the direction of north-south and east-west. Then 6 metrics were calculated at two levels of class and landform using moving window design. The results of the comparison of the floor area showed that the highest increase in the area was done in lands with very good vegetation so that 5104 hectares (4%) have been enlarged. It is also the largest reduction in the area of excellent vegetation cover, which decreased by 4055 hectares (3%) during the studied period. The results of gradient analysis showed that the distribution pattern of vegetation in a three-year period is a cluster. The results of the analysis of both transects at the level of the land and the classes show that the average of mean distance from the nearest neighbor gradually increases during transects and the increase in total in 2017 compared to the initial year. This indicates an increase in the distance between the vertices of the same patch and the difficulty of communication between them, which is one of the signs of the disruption of the landscape.

\* Corresponding author e-mail address: [mehrdadmirsanjari@yahoo.com](mailto:mehrdadmirsanjari@yahoo.com)