



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۲۰۴-۱۸۳

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geoh.2020.67236.0>

مقاله پژوهشی

## ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM و زنجیره CA مارکوف ( مطالعه موردی: کلان‌شهر اهواز )

محمد عیبات - کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی - محیط‌زیست گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (خوزستان)، اهواز، ایران.

سینا عطار روشن<sup>۱</sup> - استادیار گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

محمود عیبات - کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۳۰

### چکیده

پایش تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی، نقش مهمی در مدیریت شهری دارد. هدف این مطالعه، بررسی تغییرات پوشش گیاهی کلان‌شهر اهواز در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی است. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان روش شیء‌گرا، طبقه‌بندی شده و نقشه‌های کاربری اراضی تهیه گردید. برای افزایش دقت نقشه‌ها، از سه شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، تعدیل‌کننده اثر خاک و پوشش گیاهی نسبی به‌طور جداگانه در طبقه‌بندی استفاده شد. نتایج نشان داد شاخص تعدیل‌کننده اثر خاک، قابلیت بالاتری داشته و نقشه‌های آن با بالاترین ضرایب کاپا و صحت کلی، جهت آشکارسازی تغییرات وارد مدل‌ساز تغییر سرزمین شدند. پیش‌بینی تغییرات در ۱۰ سال آینده نیز با مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف انجام شد. نتایج بررسی تغییرات نشان داد، پوشش گیاهی روند کاهشی داشته، به‌طوری‌که ۱۳۳۹/۶۵ هکتار در بازه ۲۰۰۲-۱۹۸۹ و ۱۸۶۰/۵۰ هکتار در بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۲، از پوشش گیاهی کاسته شده است. بیش‌ترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده با ۶۸۶/۴۴ هکتار در بازه ۲۰۰۲-۱۹۸۹ و ۱۰۳۲/۵۱ هکتار در بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۲ است. کمترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به پهنه‌های آب با ۷/۱۸ هکتار در بازه ۲۰۰۲-۱۹۸۹ و ۹/۳۳ هکتار در بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۲ است. نتایج پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۹ نیز مؤید کاهش پوشش گیاهی بوده و طی ۱۰ سال ۷۸۵/۷۷ هکتار از پوشش گیاهی کاسته شده و مساحت آن به ۲۹۲۳/۲۴ هکتار خواهد رسید.

**کلیدواژه‌ها:** پوشش گیاهی، شیء‌گرا، مدل‌ساز تغییر سرزمین، زنجیره مارکوف، اهواز.

## ۱- مقدمه

پوشش گیاهی، به علل مختلف در اثر عوامل طبیعی و یا انسانی به مرور زمان دچار تغییر شده و شرایط و عملکرد اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۸؛ پتورلی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). پوشش گیاهی در مناطق شهری از این جهت حائز اهمیت است که می‌تواند شرایط محیطی و تبادلات انرژی را به وسیله انعکاس انتخابی و جذب تشعشعات خورشیدی کنترل نماید و به عنوان عاملی مؤثر در کنترل آلودگی هوا و تأثیرگذار بر سلامت انسان‌ها معرفی شود (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه رشد روزافزون شهرها متأثر از ازدیاد جمعیت و مهاجرت‌های بی‌رویه، منجر به ساخت‌وسازهای بدون ضابطه و تحولات عمده در ساختار فضایی و گسترش شهرها شده است، که این امر سبب تغییر پوشش سطح زمین و تبدیل عوارض طبیعی مانند خاک و پوشش گیاهی به بافت‌های شهری می‌شود (عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۸).

ارزیابی داده‌های سری زمانی پوشش گیاهی به‌طور قابل توجهی درک ما را از تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی بهبود می‌بخشد (کرمانی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به گستردگی تغییرات، روش‌های سنتی برای محققین زمان‌بر و پرهزینه است، ولی تکنیک‌های سنجش‌ازدور با استفاده از تصاویر چند زمانه، حجم عظیمی از اطلاعات را در اختیار محقق قرار می‌دهد (اکبری و همکاران، ۱۳۹۴). انتخاب روش و الگوریتم کار جهت بازیابی و کشف این تغییرات اقدامی مهم و اساسی است (کاظمی‌نیا، ۱۳۹۶). روش‌های طبقه‌بندی، به‌عنوان روش‌هایی با ضریب اطمینان بالا نسبت به روش‌های دیگر استخراج اطلاعات استفاده می‌شوند (ولی و همکاران، ۱۳۹۸). طبقه‌بندی شیء‌گرا، فرآیندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۷). از طرفی، شاخص‌های پوشش گیاهی به عنوان معیارهایی برای آنالیز تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکوهی‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۵؛ موراویتس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ کوه<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۶).

در ارتباط با موضوع تحقیق، مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور به انجام رسیده است. چانگ<sup>۴</sup> و چانگ (۲۰۰۶) برای بررسی پوشش گیاهی و پیش‌بینی تغییرات منطقه جیوجیو از زنجیره CA مارکوف و داده‌های ماهواره اسپات در دوره‌های زمانی ۱۹۹۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ استفاده کردند. نتایج آنان گویای قابلیت بالای مدل مذکور در پیش‌بینی روند تغییرات پوشش گیاهی است. واکلاویک و روگان<sup>۵</sup> (۲۰۰۹) با روش LCM اقدام به آشکارسازی تغییرات در جمهوری چک کردند و به این نتیجه رسیدند که ۶ درصد از جنگل‌های مخلوط به جنگل پهن‌برگ

1 Pettorelli

2 Morawitz

3 Koh

4 Chang

5 Vaclavik &amp; Rogan

تبدیل شده و ۳/۵ درصد افزایش در مناطق مسکونی رخ داده است. برینک و اوا<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) به ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی ۲۵ سال گذشته در ساحاران آفریقا با تصاویر لندست پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق کشاورزی افزایش، مناطق جنگلی و پوشش گیاهی غیرجنگلی کاهش و مناطق بایر گسترش پیدا کرده است که علت آن افزایش جمعیت انسانی بوده است. راوات<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۳) با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و شاخص‌های NDBI، NDVI و NDWI، به بررسی تغییرات پوشش اراضی در شهر رمنگر استان اوتاراکنند هندوستان پرداختند. نتایج نشان داد که در دو دهه گذشته، منطقه مسکونی و نوار شن و ماسه به ترتیب ۸/۸۸ درصد و ۳/۹۸ درصد افزایش یافته است. در حالی که سایر کاربری‌های پوشش گیاهی، زمین‌های کشاورزی و آب به ترتیب ۹/۴۱ درصد، ۰/۶۹ درصد و ۲/۷۶ درصد کاهش یافته است. فاتحه<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای در الاغواط الجزایر جهت انتخاب شاخص مناسب برای مطالعه پوشش گیاهی در مناطق نیمه‌خشک با پوشش کم، سه شاخص NDVI، SAVI و TSAVI را مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که شاخص SAVI شاخص مناسبی برای مطالعه پوشش گیاهی در مناطق نیمه‌خشک است.

در ایران، محمدیاری و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای در شهرستان بهبهان با داده‌های سنجنده ETM+ و OLI در سال ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از NDVI را محاسبه کرد. نتایج نشان داد که طی ۱۴ سال طبقه با پوشش عالی، بسیار خوب و ضعیف افزایش مساحت پیدا کرده و اراضی با پوشش خوب، کاهش یافته است. همچنین استفاده از تصاویر سنجنده OLI نتایج دقیق‌تری ارائه خواهد داد. ناطقی و همکاران (۱۳۹۵) برای ارزیابی پوشش گیاهی جزیره قشم در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ از داده‌های ETM+ و OLI ماهواره لندست و چهار شاخص NDVI، SAVI، RVI و WAVI استفاده کردند. نتایج نشان داد که شاخص SAVI با بیش‌ترین ضریب کاپا ۰/۹۳ در سال ۱۳۹۳ و ۰/۸۳ در سال ۱۳۸۰ بهترین عملکرد و شاخص WAVI با کمترین ضریب کاپا ۰/۸۱ در سال ۱۳۸۰ و ۰/۴۳ در سال ۱۳۹۳ ضعیف‌ترین نتایج را از بین شاخص‌ها داشت. حلبیان و سلطانیان (۱۳۹۵) برای ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی از جمله پوشش گیاهی در شرق و جنوب اصفهان از مدل LCM و زنجیره CA مارکوف استفاده کردند. در این پژوهش، جهت طبقه‌بندی تصاویر از روش Fuzzy ARTMAP و برای شناسایی پوشش گیاهی از NDVI استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تغییرات را پوشش گیاهی داشته است. این تغییر طی دوره ۱۹۹۴-۱۹۸۶ بوده است که ۱۰۶۲ کیلومتر مربع کاهش را نشان می‌دهد. بیش‌ترین تغییرات طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۲۴ در پوشش گیاهی رخ خواهد داد که حدود ۶۰ درصد از پوشش گیاهی منطقه از بین خواهد رفت.

1 Brink & Eva

2 Rawat

3 Fatiha

مکرم و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات تاج پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارتباط آن با شاخص‌های گیاهی (NDVI، VIN، SS و RVI) و اطلاعات اقلیمی در مکان‌های مختلف مرتعی در شمال شهرستان داراب واقع در استان فارس پرداختند. برای این منظور، از تصاویر ماهواره لندست ETM+ (۲۰۱۵) و ASTER (۲۰۰۵) استفاده شد. نتایج نشان داد میزان شاخص‌های گیاهی در فصل رشد زیادتر بوده که با افزایش دما میزان این شاخص در ماه‌های بعد کمتر می‌شود. از بین شاخص‌ها، NDVI دارای دقت جهت پیش‌بینی پوشش گیاهی است.

شکوری و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بالأخص کاربری پوشش گیاهی در منطقه اوغان شهرستان مینودشت استان گلستان در بازه ۳۰ ساله با استفاده از تصاویر سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۳، ۱۹۹۸، ۲۰۰۰، ۲۰۰۳، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ سنجده ETM+ ماهواره لندست و شاخص NDVI پرداختند. در این تحقیق، از مدل CA جهت پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی استفاده شد. نتایج نشان داد که در دو سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ وسعت پوشش گیاهی افزایش یافته و منطقه سبزتر شده است.

سارلی و همکاران (۱۳۹۸) جهت سنجش و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی حوزه مازندران طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۵ از زنجیره مارکوف و GIS استفاده کرده و مناطق دارای تغییرات کاهشی، افزایشی و بدون تغییر را مشخص نمودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که داده‌های ارزیابی شده با میانگین دقت کل ۹۱، ضریب کاپای ۰/۸۸ را در ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی به خود اختصاص داده‌اند.

ساختار و تراکم پوشش گیاهی در سطح کلان‌شهر اهواز، تحت تأثیر عوامل طبیعی مانند تغییرات اقلیمی و عوامل انسانی مانند تغییرات کاربری اراضی قرار گرفته است. به علت افزایش جمعیت و توسعه شهری، بخش‌های وسیعی از پوشش گیاهی کلان‌شهر اهواز دستخوش تغییر شده و به نفع کاربری‌های دیگر از جمله اراضی مسکونی در حال کاهش است. با توجه به اینکه پوشش گیاهی شهری، نقش مهمی در محیط‌زیست شهری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان دارد. لذا هدف این مطالعه، برآورد سطح پوشش گیاهی در کلان‌شهر اهواز و بررسی تغییرات آن در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. آشکارسازی و پیش‌بینی این تغییرات، راهکاری برای حفظ و احیای پوشش گیاهی در مناطق مختلف شهر می‌باشد.

#### ۱-۱- فرضیات تحقیق

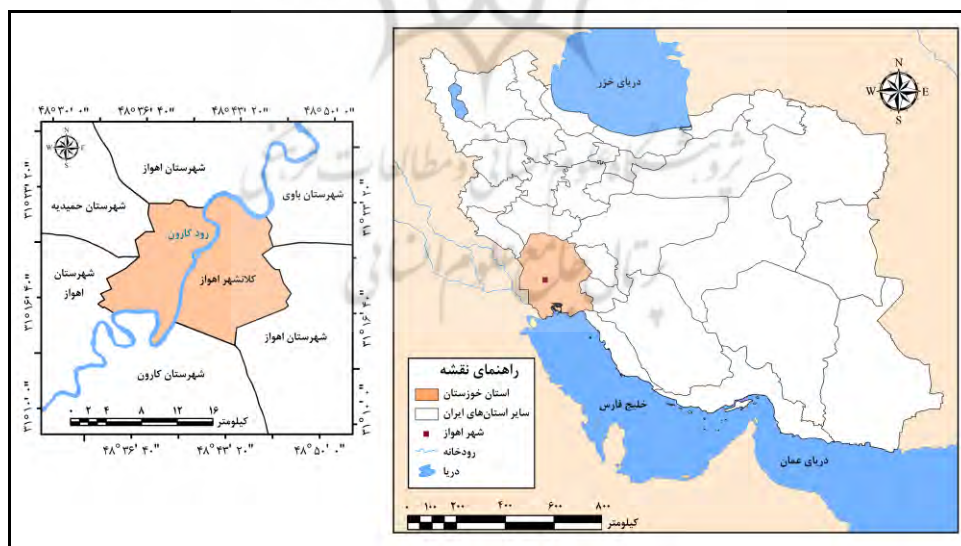
به نظر می‌رسد پوشش گیاهی شهر اهواز در دوره مورد بررسی (۲۰۱۹-۱۹۸۹)، تحت تأثیر تغییرات کاربری اراضی قرار گرفته و روندی رو به کاهش داشته است.

شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در تحقیق (NDVI، SAVI و RVI)، کارایی یکسانی در دقت طبقه‌بندی شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای دارند.

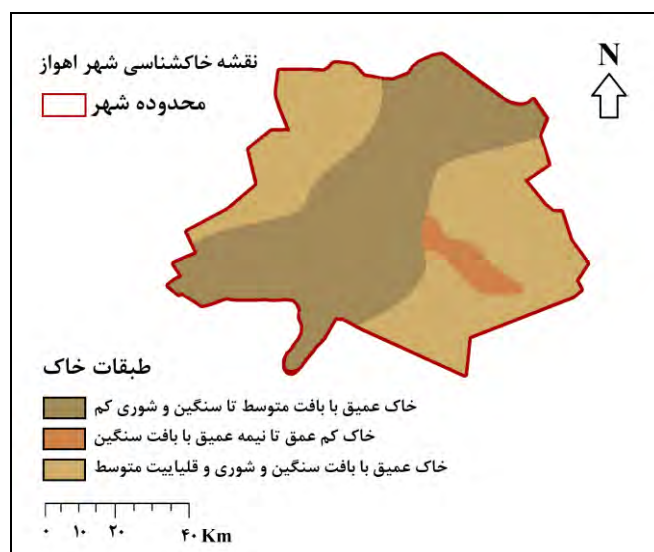
## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر اهواز با مساحت ۲۱۹۰۱/۰۳ هکتار و ارتفاع حدود ۱۲ متر از سطح دریا، در مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و بخش جلگه‌ای استان خوزستان واقع شده است (شکل ۱). پهنه شهر اهواز با عبور رودخانه کارون در جهت شمالی-جنوبی به دو بخش شرقی و غربی تقسیم شده است (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۴). براساس طبقه‌بندی اقلیمی دوماتن که متکی به دو متغیر میانگین بارندگی و میانگین دما است، شهر اهواز در گروه اقلیمی خشک قرار دارد. خاک اهواز از نوع خاک‌های رسوبی و در بعضی از مناطق خاک‌های شور قلیایی و قهوه‌ای لیتوسل است (انوری پور، ۱۳۹۲). به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی و شوری آب، زمین در بعضی بخش‌ها به صورت پف کرده می‌باشد. خاک‌های رسوبی با بافت ریزدانه در سطح شهر وسعت زیادی داشته و شیب آن‌ها بسیار کم، عمق خاک زیاد و زهکش طبیعی آن‌ها متوسط تا خوب می‌باشد (شکل ۲). شهر اهواز در مقایسه با وسعتی که دارد، از نظر پوشش گیاهی فقیر است که این امر متأثر از شرایط نامطلوب محیطی اعم از اقلیم و آب و خاک می‌باشد. اما به دلیل حجم آب جاری و خاک جلگه‌ای، مستعد برای پوشش گیاهی دست‌کشت و مصنوع است. تنوع درختان مثمر و غیرمثمر و نیز درختچه‌ها نسبت به مناطق دیگر بسیار کم و غلبه درختانی مانند کنار، کهور و اکالیپتوس در سطح شهر و حومه آن کاملاً مشهود است.



شکل ۱- موقعیت کلان‌شهر اهواز در ایران و استان خوزستان



شکل ۲- نقشه خاکشناسی شهر اهواز

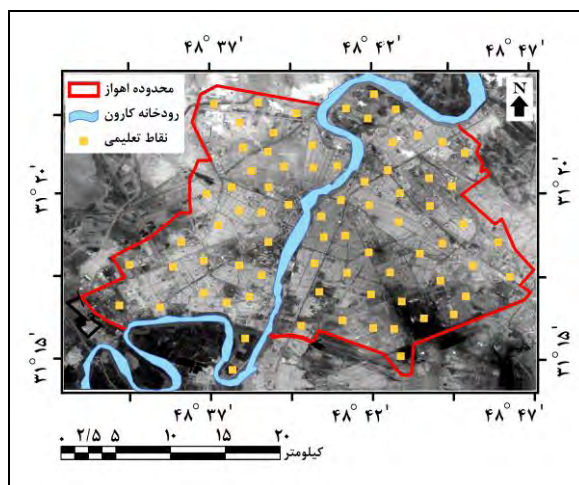
## ۲-۲- روش بررسی

### ۲-۲-۱- داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

تصاویر لندست، طولانی‌ترین آرشیو از تصاویر جهانی با قدرت تفکیک متوسط، کالیبراسیون بالا، داده‌های چند طیفی از منابع منحصربه‌فرد برای برنامه‌ریزی کاربردی در مقیاس‌های مختلف، از جمله کاربری اراضی و پوشش اراضی، شناسایی تغییرات و نظارت بر پویایی اکوسیستم را شامل می‌شوند (طاهرپرور و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین در این پژوهش، از تصاویر TM (۱۹۸۹)، ETM+ (۲۰۰۲) و OLI (۲۰۱۹) لندست استفاده شد (جدول ۱). تهیه تصاویر، از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) صورت گرفت. تهیه نمونه‌های تعلیمی نیز از بازدید میدانی و ترکیب‌های رنگی کاذب انجام شد. ضمن مشاهده و برداشت نمونه (شکل ۳)، داده‌ها با استفاده از GPS کنترل شد که این اطلاعات، مناطق تعلیمی برای طبقه‌بندی بوده است. جهت پردازش تصاویر، از نرم‌افزارهای ENVI، eCognition، Terrset و ArcGIS استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

فرمت	تاریخ تصویر	ابعاد پوشش (کیلومتر)	ردیف و گذر	داده‌های ماهواره‌ای
TIFF	۲۴ می ۱۹۸۹	۱۸۵×۱۸۵	۱۶۵-۳۸	Landsat-5 TM
TIFF	۲۸ می ۲۰۰۲	۱۸۵×۱۸۵	۱۶۵-۳۸	Landsat-7 ETM+
TIFF	۱۵ ژانویه ۲۰۱۹	۱۸۵×۱۸۵	۱۶۵-۳۸	Landsat-8 OLI



شکل ۳- موقعیت نقاط تعلیمی برداشت شده برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

#### ۲-۲-۲- پیش‌پردازش تصاویر

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای، به بررسی زمین مرجع بودن و خطاهای ناشی از اعوجاج تصویر پرداخته شد که تصاویر ماهواره لندست خود در این زمینه جزء تصاویر مرجع برای ژئورفرنس‌دار کردن تصاویر و نقشه‌های فاقد زمین مرجع است، بنابراین نیازی به تصحیح هندسی نداشت (میرعلیزاده فرد و منصوری، ۱۳۹۸). برای تصحیح اتمسفریک، از تکنیک کاهش پیکسل‌های تاریک استفاده شد. با این فرضیه که پیکسل تاریک با حداکثر احتمال، کمترین میزان انعکاس طیفی را دارد و متعلق به آب عمیق و سایه میان تصویر است که انعکاس آن صفر می‌باشد. زیرا در صورت وجود ذرات پراکنده در جو، پراکنش جوی باعث می‌شود که عملاً انعکاس طیفی پیکسل‌های تاریک صفر نباشد (سفیانیان و خداکرمی، ۱۳۹۰). در این مطالعه، از نقاطی در رودخانه کارون که دارای آب عمیق هستند، برای تصحیح تصاویر ماهواره‌ای و رفع خطاهای اتمسفری روی آن‌ها، استفاده شد. مراحل تصحیح رادیومتریک تصاویر در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد.

#### ۳-۲-۲- طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای

فرآیند طبقه‌بندی شیء‌گرا در سه مرحله کلی قابل انجام است که شامل سگمنت‌سازی (قطعه‌بندی)، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی می‌باشد (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶). سگمنت‌سازی، مرحله مهمی در تحلیلی شیء‌گرای تصاویر است. اشیاء به‌وسیله گروهی از پیکسل‌ها مطابق با معیارهای همگنی و ناهمگنی شکل می‌گیرند که مهم‌ترین فرآیند در پردازش شیء‌گرای تصاویر هستند (روستایی و همکاران، ۱۳۹۷). برای سیگمنت‌سازی، از الگوریتم چند

تفکیکه استفاده شد. این الگوریتم فرایندی پایین-بالاست که با شیءهای یک پیکسل آغاز می‌شود (اندریانی و همکاران، ۱۳۹۶) و از عمومی‌ترین الگوریتم‌ها برای این منظور به حساب می‌آید (دراگوت<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

نرم‌افزار eCognition برای سگمنت‌سازی چندتفکیکه از شاخصه‌های مقیاس، رنگ، شکل، نرمی، فشردگی و وزن‌های متناسب برای هریک از باندهای تصویری استفاده می‌نماید (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۸). تعیین مقادیر بهینه برای مقادیر فوق در کیفیت سگمنت‌سازی اهمیت زیادی دارد (بلاشکه<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰). مقیاس سگمنت‌سازی درجه کلی‌گرایی یا جزئی‌گرایی است، هرچه عددی بزرگ‌تر برای مقیاس تعریف شود، شیءهای تصویری بزرگ‌تری ایجاد می‌شود و برعکس با انتخاب عددی کوچک‌تر برای پارامتر مقیاس، شیءهای تصویری کوچک‌تری ایجاد خواهد شد (خضری احمدآباد و سلیمانی، ۱۳۹۶). از دیگر پارامترهای مؤثر در اندازه شیءها، رنگ و شکل است که جمع وزن هر دو عدد یک است (تریمبل<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲). مطالعات قبلی نشان می‌دهد که عدد ۰/۹ برای پارامتر رنگ، بهترین سگمنت‌ها را نتیجه می‌دهد (پو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ متیو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۷) و در نهایت، پارامتر فشردگی یا نرمی است که متناسب با بافت و ویژگی‌های هندسی پدیده‌های زمینی تعیین می‌شود (اندریانی و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش، بر اساس سعی و خطا (Trial and Error) و بررسی بصری نتیجه سگمنت‌سازی، مقادیر پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی تعیین شد (جدول ۲). ترکیب نواری مناسب برای طبقه‌بندی نیز یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در کیفیت سگمنت‌سازی است. در تحلیل شیء‌گرایی تصاویر، علاوه بر امکان استفاده از بهترین ترکیب نواری برای سگمنت‌سازی، امکان اعمال وزن برای هرکدام از نوارها نیز وجود دارد (سرافراز اسبق و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهش حاضر، با تفسیر منحنی‌های انعکاس طیفی و همچنین ارزیابی هیستوگرام همبستگی نوارها، بهترین ترکیب نواری با کمترین ضریب همبستگی و بیشترین واریانس در بین ترکیبات باندهای مختلف، برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شد (جدول ۲). با توجه به اینکه استخراج سطح پوشش گیاهی، از مهم‌ترین اهداف تحقیق می‌باشد، در فرآیند سگمنت‌سازی اقدام به اعمال وزن برای ترکیب نواری منتخب گردید و به نوار شاخص پوشش گیاهی، وزن بیشتری از سایر نوارها داده شد. با در نظر گرفتن این موضوع که در اعمال وزن برای نوارهای تصویر، مجموع وزن‌های انتخاب شده بایستی ۱۰۰ باشد، لذا از سه نوار منتخب برای طبقه‌بندی، به نوار شاخص پوشش گیاهی اهمیت بیشتری داده شد و برای این نوار ۴۰ از ۱۰۰ در نظر گرفته شد که در مرحله ارزیابی کیفیت سگمنت‌ها، با مقایسه نقاط برداشت شده به وسیله GPS به عنوان نمونه‌های تعلیمی، و انطباق سگمنت‌های

1 Dragut  
2 Blaschke  
3 Trimble  
4 Pu  
5 Mathieu



ایجاد شده با وضعیت موجود طبقات اراضی در سطح منطقه مشخص شد که وزن‌های اعمال شده نتیجه مطلوبی را در سیگمنت‌سازی ایجاد نموده است.

جدول ۲- وزن پارامترهای مؤثر در فرآیند سیگمنت‌سازی

تصویر ماهواره‌ای	مقیاس	شکل	فشردگی	ترکیب نواری مناسب	وزن ترکیب نواری
TM (۱۹۸۹)	۲۰	۰/۱	۰/۷	R: ۵, G: شاخص گیاهی, B: ۳	R: ۳۰, G: ۴۰, B: ۳۰
ETM+ (۲۰۰۲)	۲۰	۰/۱	۰/۷	R: ۵, G: شاخص گیاهی, B: ۳	
OLI (۲۰۱۹)	۱۳۰	۰/۱	۰/۴	R: ۷, G: شاخص گیاهی, B: ۴	

وجود شاخص پوشش گیاهی در ترکیب نواری، موجب افزایش دقت طبقه‌بندی در پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای می‌شود. بر این اساس، هریک از شاخص‌های NDVI، SAVI و RVI به‌طور جداگانه به‌عنوان یک باند در کنار دیگر باندها برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. محاسبه سه شاخص مذکور، بر اساس نسبت بین باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک صورت می‌گیرد (جدول ۳). پس از اعتبارسنجی، بهترین شاخص در منطقه مشخص شده و بر اساس آن، روند تغییرات پوشش گیاهی ارزیابی می‌شود. NDVI بیش‌ترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته (کاظمی‌نیا، ۱۳۹۶) و یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۳). شاخص SAVI، واریانس بازتاب طیفی ناشی از تغییرات خاک زمینه را به حداقل کاهش می‌دهد (پتورلی و همکاران، ۲۰۰۵) و شاخص RVI کاربرد ویژه‌ای در از بین بردن اثرات متفاوت روشنایی و توپوگرافی دارد (نیوکامر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱).

جدول ۳- روابط و دامنه تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی

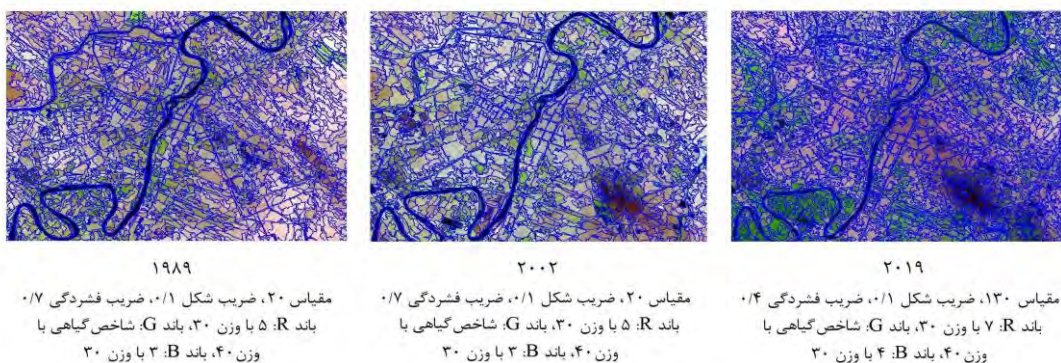
شاخص	رابطه	دامنه تغییرات	مأخذ
NDVI	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	-۱ تا +۱	توکر <sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۷۹
SAVI	$SAVI = NIR - R / (NIR + R + L)(1 + L)$	-۱ تا +۱	پتورلی و همکاران، ۲۰۰۵
RVI	$RVI = NIR / R$	۰ تا بی‌نهایت	نیوکامر و همکاران، ۲۰۱۱

L: فاکتور تصحیح برای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی (مقدار L برای مناطق با پوشش گیاهی کم، ۱ است).

شکل ۴، تصاویر سیگمنت‌سازی شده بر اساس مقادیر بهینه شاخص‌های مقیاس، شکل، فشردگی، ترکیب بانندی مناسب و شاخص پوشش گیاهی را نشان می‌دهد.

1 Newcomer

2 Toker



### شکل ۴- سیگمنت‌سازی بر اساس مقادیر بهینه معیارها، ترکیب باندی و شاخص پوشش گیاهی

در مرحله پردازش شیء‌گرا، سگمنت‌های تصویری موجود بر اساس درجه عضویت آن‌ها به طبقات مختلف نسبت داده شد و هریک از شیء‌های تصویری در این روش بر اساس بیشترین درجه عضویت یک کلاس خاص و بر اساس منطق فازی، طبقه‌بندی شد (اندریانی و همکاران، ۱۳۹۶). طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از پردازش شیء‌گرا تاکنون با بهره‌گیری از تکنیک‌های مختلف به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده قرار گرفته است (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶). صحت طبقه‌بندی و الگوریتم بکار رفته در طبقه‌بندی، نقش مهمی را در کاربرد و ارزش نقشه‌های ایجادشده ایفا می‌کند (برینک<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). در این رابطه، الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) از طبقه‌بندی‌های نظارت‌شده است که در سال ۱۹۶۵ میلادی توسط پژوهشگر روسی ولادیمیر نامویچ و پینک ارائه گردید. این الگوریتم به‌خوبی می‌تواند پردازش‌های مربوط به طبقه‌بندی شیء‌گرا را انجام دهد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۷) و در بسیاری از تحقیقات، به‌عنوان دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است (حاجی بیگلو و همکاران، ۱۳۹۸؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳؛ جانسون<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵؛ بریان<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۱) و می‌تواند مشکلات موجود در اختلاف غیرمتعادل میان نمونه‌های تعلیمی را حل کند (جنسن<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵). بنابراین در این پژوهش، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا در محیط نرم‌افزار eCognition با استفاده از نمونه‌های تعلیمی صورت گرفت و در آن شیء‌های تصویری بر اساس الگوریتم تعیین شده (چندتفکیکه) به کلاس‌های طبقه‌بندی اختصاص یافت. ارزیابی صحت، آخرین مرحله طبقه‌بندی تصویر در هر روشی می‌باشد (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۸). پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، دقت طبقه‌بندی انجام‌شده با استفاده از ماتریس خطا، صحت کلی و آماره کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مرحله، با مقایسه صحت نقشه‌های کاربری

1 Brink  
2 Jonsson  
3 Brian  
4 Jensen

اراضی تهیه‌شده از سه شاخص پوشش گیاهی NDVI، SAVI و RVI، میزان برتری هر شاخص در تشخیص و تفکیک پوشش گیاهی منطقه، مشخص شده تا در مرحله بعد از نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به شاخص منتخب، جهت تحلیل روند تغییرات پوشش گیاهی در بازه زمانی ۳۰ ساله استفاده شود.

### ۲-۲-۴- تحلیل روند تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی ابزاری ضروری برای تجزیه و تحلیل‌های محیط‌زیست، برنامه‌ریزی و مدیریت است (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۸). بر این اساس روش‌های متنوعی برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی وجود دارد که نسبت تبدیل کاربری اراضی مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها را در آینده فراهم می‌آورند (میرعلیزاده فرد و علی‌بخشی، ۱۳۹۵). در این پژوهش، جهت شناسایی تغییرات کاربری پوشش گیاهی منطقه نسبت به کاربری‌های دیگر بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ میلادی، از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) در محیط نرم‌افزار Terrset استفاده شد. این مدل ابزاری را در اختیار قرار می‌دهد که به کمک آن می‌توان به ارزیابی و مدل‌سازی تجربی تغییرات کاربری اراضی و تأثیرات آن بر زیستگاه گونه‌ها و تنوع زیستی پرداخت (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۸). در مرحله بعد، پوشش گیاهی سال ۲۰۲۹ با استفاده از زنجیره CA مارکوف و بر مبنای تغییرات مشاهده‌شده بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ میلادی شبیه‌سازی شد. مدل CA مارکوف تلفیقی از سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی به کار می‌رود (محمدیان بهبهانی و حیدری زادی، ۱۳۹۷). برای تعیین اعتبار پیش‌بینی از شاخص انطباق کاپا استفاده گردید که هرچه به عدد یک یا برحسب درصد به عدد صد نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده اعتبار بالای مدل در پیش‌بینی موردنظر است (حلییان و سلطانیان، ۱۳۹۵).

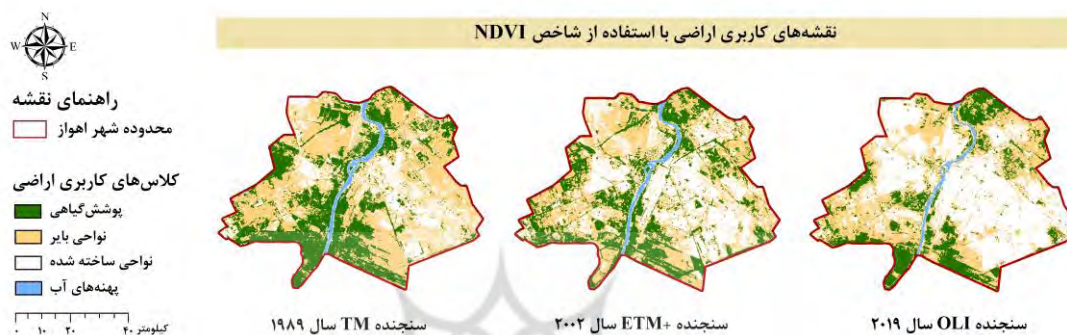
### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نتایج طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای

پس از طبقه‌بندی تصاویر، نقشه‌های کاربری اراضی به چهار کلاس شامل پوشش گیاهی، نواحی بایر، نواحی ساخته‌شده و پهنه‌های آب تفکیک شده (جدول ۴ و شکل‌های ۵ تا ۷) و مساحت هریک از کاربری‌ها برای هر سال مشخص گردید (جدول ۵ تا ۷). در این پژوهش، هریک از شاخص‌های NDVI، SAVI و RVI به‌طور جداگانه در فرآیند طبقه‌بندی تصاویر مورد استفاده قرار گرفت تا با مقایسه مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای هریک از نقشه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده، میزان برتری آن شاخص در افزایش دقت طبقه‌بندی و تفکیک پوشش گیاهی از سایر طبقات کاربری اراضی مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول ۴- کاربری‌های طبقه‌بندی شده در تصاویر ماهواره‌ای

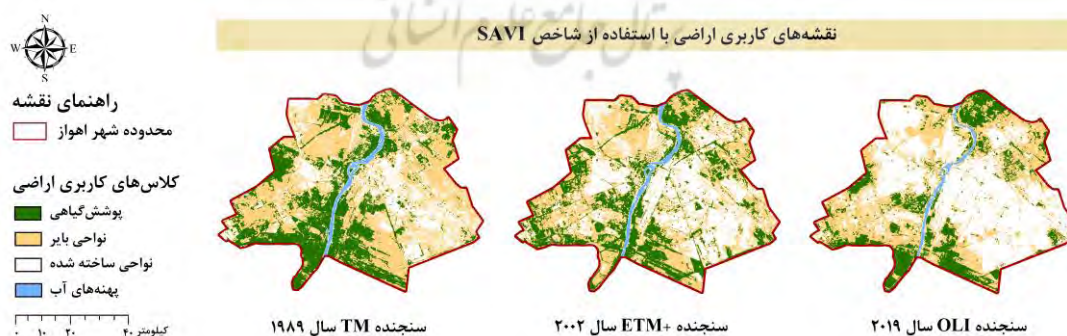
کاربری	کلاس
پارک‌ها، مجتمع‌های درختی، چمن، باغات و فضای سبز	پوشش گیاهی
فضاهای باز و نواحی بدون پوشش گیاهی اطراف شهر	نواحی بایر
مناطق مسکونی، مراکز تجاری و صنعتی، خیابان‌ها و راه‌های ارتباطی	نواحی ساخته شده
رودخانه کارون	پهنه‌های آب



شکل ۵- نقشه‌های کاربری اراضی برای هر سنجنده با استفاده از شاخص NDVI

جدول ۵- مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال با استفاده از شاخص NDVI

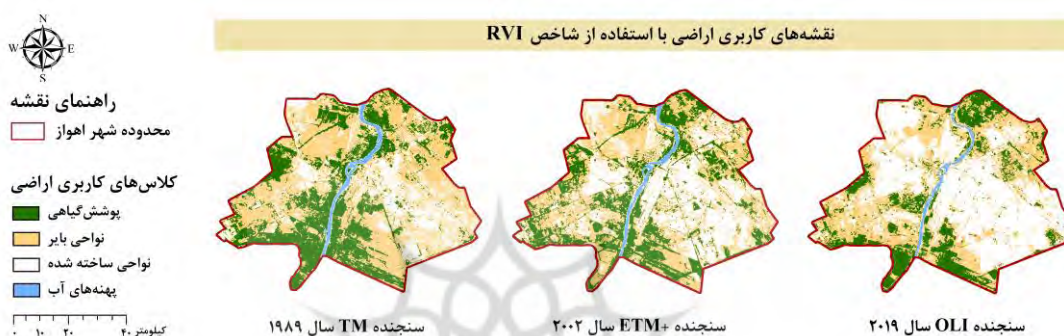
شاخص	مساحت (هکتار)			طبقات کاربری اراضی	NDVI
	۲۰۱۹	۲۰۰۲	۱۹۸۹		
	۳۶۹۶/۸۹	۵۵۵۷/۳۹	۶۱۹۷/۰۴	پوشش گیاهی	
	۷۷۱۰/۹۰	۸۹۸۵/۵۴	۱۰۲۳۲/۵۶	نواحی بایر	
	۱۰۱۱۸/۹۳	۶۹۴۴/۱۶	۴۳۳۹/۲۴	نواحی ساخته شده	
	۳۷۴/۳۱	۴۱۳/۹۴	۴۳۲/۲۰	پهنه‌های آب	



شکل ۶- نقشه‌های کاربری اراضی برای هر سنجنده با استفاده از شاخص SAVI

جدول ۶- مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال با استفاده از شاخص SAVI

مساحت (هکتار)			طبقات کاربری اراضی	شاخص
۲۰۱۹	۲۰۰۲	۱۹۸۹		
۳۷۰۹/۰۱	۵۵۶۹/۵۱	۶۹۰۹/۱۶	پوشش گیاهی	SAVI
۷۶۹۸/۷۸	۸۹۷۳/۴۲	۱۰۲۲۰/۴۴	نواحی بایر	
۱۰۱۰۶/۸۱	۶۹۳۲/۰۴	۴۳۲۷/۱۲	نواحی ساخته شده	
۳۸۶/۴۳	۴۲۶/۰۶	۴۴۴/۳۲	پهنه‌های آب	



شکل ۷- نقشه‌های کاربری اراضی برای هر سنجنده با استفاده از شاخص RVI

جدول ۷- مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال با استفاده از شاخص RVI

مساحت (هکتار)			طبقات کاربری اراضی	شاخص
۲۰۱۹	۲۰۰۲	۱۹۸۹		
۳۷۲۳/۱۵	۵۵۸۳/۶۵	۶۹۲۳/۳۰	پوشش گیاهی	RVI
۷۶۸۴/۶۴	۸۹۵۹/۲۸	۱۰۲۰۶/۳۰	نواحی بایر	
۱۰۰۹۲/۶۷	۶۹۱۷/۹۰	۴۳۱۲/۹۸	نواحی ساخته شده	
۴۰۰/۵۷	۴۴۰/۲۰	۴۵۸/۴۶	پهنه‌های آب	

بر اساس نتایج بررسی نقشه‌های کاربری اراضی سه شاخص، در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۲، نواحی بایر و در سال ۲۰۱۹، نواحی ساخته شده، بیش‌ترین مساحت را داشته‌اند. کلاس پهنه‌های آب نیز، در هر سه سال کمترین مساحت را به خود اختصاص داده است. در نقشه‌های کاربری اراضی شاخص NDVI، مساحت پوشش گیاهی از ۶۸۹۷/۰۴ هکتار در سال ۱۹۸۹ به ۵۵۵۷/۳۹ هکتار در سال ۲۰۰۲ و ۳۶۹۶/۸۹ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است. بررسی نقشه‌های کاربری اراضی شاخص SAVI نشان داد که مساحت پوشش گیاهی در سال ۱۹۸۹ حدود ۶۹۰۹/۱۶ هکتار بوده ولی در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ به ترتیب ۵۵۶۹/۵۱ و ۳۷۰۹/۰۱ هکتار شده است. همچنین، در نقشه‌های

کاربری اراضی مربوط به شاخص RVI پوشش گیاهی از ۶۹۲۳/۳۰ هکتار در سال ۱۹۸۹ به ۵۵۸۳/۶۵ هکتار در سال ۲۰۰۲ و ۳۷۲۳/۱۵ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است.

### ۲-۳- بررسی صحت نقشه‌های کاربری اراضی

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، صحت نقشه‌های به‌دست‌آمده برای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ با استفاده از ۱۰۰ نقطه کنترل زمینی و تصویر رنگی کاذب همان سال‌ها مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۸).

جدول ۸- ضرایب کاپا و صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی بر اساس سه شاخص گیاهی

شاخص	نقشه کاربری اراضی TM		نقشه کاربری اراضی ETM+		نقشه کاربری اراضی OLI	
	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی
NDVI	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۳
SAVI	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۹۶
RVI	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۹۲

نتایج نشان داد نقشه‌های کاربری اراضی هر سه سنجنده، از ضرایب کاپا و صحت کلی بالای ۷۰ درصد برخوردار بودند. بالاترین ضرایب کاپا و صحت کلی در تصاویر سنجنده OLI و پایین‌ترین مقادیر آن‌ها در تصاویر سنجنده TM بوده است. ضرایب کاپا و صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی شاخص SAVI در تصاویر هر سه سنجنده، نسبت به شاخص‌های NDVI و RVI بیشتر می‌باشد. بنابراین، با توجه به نتایج اعتبارسنجی نقشه‌ها، شاخص SAVI به‌عنوان شاخص برتر در شناسایی پوشش گیاهی منطقه معرفی گردیده و در ادامه جهت بررسی تغییرات پوشش گیاهی، از نقشه‌های کاربری اراضی شاخص SAVI استفاده می‌شود.

### ۳-۳- نتایج آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از مدل LCM

جهت بررسی تغییرات پوشش گیاهی از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ مربوط به شاخص SAVI به‌عنوان ورودی مدل LCM استفاده شده و با بررسی تبدیل کاربری اراضی و کاهش‌ها و افزایش‌ها در هر کاربری، میزان تغییرات پوشش گیاهی مشخص شد. جدول ۹، میزان تغییرات پوشش گیاهی نسبت به کاربری‌های دیگر را طی دو بازه ۲۰۰۲-۱۹۸۹ و ۲۰۱۹-۲۰۰۲ نشان می‌دهد.



جدول ۹- مساحت تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با سایر کاربری‌ها

مساحت تغییرات (هکتار)		تغییرات
سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۹	سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۰۲	
۹/۳۳	۷/۱۸	از پوشش گیاهی به پهنه‌های آب
۵۵۱/۶۸	۴۷۹/۷۸	از پوشش گیاهی به نواحی بایر
۱۰۳۲/۵۱	۶۸۶/۴۴	از پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده
۴۴/۴۱	۳۳/۸۸	از پهنه‌های آب به پوشش گیاهی
۱۶۴/۶۳	۹۳/۸۰	از نواحی بایر به پوشش گیاهی
۵۷/۹۴	۳۸/۵۷	از نواحی ساخته‌شده به پوشش گیاهی

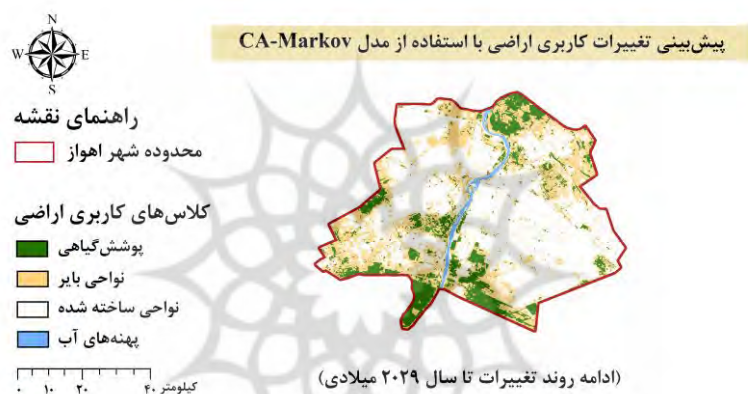
شکل ۸، روند تغییرات پوشش گیاهی را طی دو بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲، تغییرات پوشش گیاهی روندی رو به کاهش داشته، به طوری که به میزان ۱۳۳۹/۶۵ هکتار، مساحت پوشش گیاهی کاهش یافته است. در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ نیز پوشش گیاهی کاهش داشته اما میزان این کاهش نسبت به دوره قبل بیشتر بوده است، به طوری که به میزان ۱۸۶۰/۵۰ هکتار از پوشش گیاهی کاسته شده است. در هر دو بازه زمانی تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده و نواحی بایر چشمگیر بوده است. بیش‌ترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده با ۶۸۶/۴۴ هکتار در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ و ۱۰۳۲/۵۱ هکتار در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ می‌باشد. روند رو به افزایش تغییرات نواحی ساخته‌شده علاوه بر پوشش گیاهی، سبب کاهش دو کلاس نواحی بایر و پهنه‌های آب نیز شده است. با توجه به شکل ۷؛ کمترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به پهنه‌های آب با ۷/۱۸ هکتار در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ و ۹/۳۳ هکتار در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ می‌باشد.



شکل ۸- تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی در بازه‌های مختلف

### ۳-۴- نتایج پیش‌بینی روند تغییرات با استفاده از مدل CA مارکوف

پس از بررسی نتایج حاصل از صحت مکانی مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۹، از زنجیره CA مارکوف برای پیش‌بینی روند تغییرات پوشش گیاهی در محیط نرم‌افزار Terrset استفاده شد. با توجه به تطابق نتایج تحلیل کاربری‌ها با واقعیت، ضریب کاپای حاصل از ماتریس خطا بین نقشه به‌دست‌آمده از مدل‌سازی و نقشه کاربری اراضی به‌دست‌آمده از تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۹، مقدار ۰/۸۲ را نشان داد. در ادامه، اقدام به ساخت سناریوی آینده در دوره ۱۰ سال بعدی (۲۰۱۹-۲۰۲۹) شد. این کار با توجه به تغییرات رخ داده در دوره (۲۰۱۹-۲۰۰۲) اجرا گردید. شکل ۹ و جدول ۱۰، به ترتیب نشان‌دهنده مساحت طبقات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۹ است.



شکل ۹- پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۲۹ با استفاده از مدل CA مارکوف

جدول ۱۰- مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال ۲۰۲۹

مساحت (هکتار)	طبقات کاربری اراضی
۲۹۲۳/۲۴	پوشش گیاهی
۶۲۵۸/۱۳	نواحی بایر
۱۲۳۴۵/۶۳	نواحی ساخته شده
۳۷۴/۰۳	پهنه‌های آب

از جدول پیش‌بینی مساحت‌ها می‌توان دریافت که تنها نواحی ساخته شده روند افزایشی داشته‌اند و بقیه کاربری‌ها با روندی کاهشی روبه‌رو خواهند شد. کاربری نواحی ساخته شده به میزان ۲۲۳۸/۸۲ هکتار، بیش‌ترین رشد را داشته که این طبقه مربوط به مناطق مسکونی، تجاری و صنعتی، خیابان‌ها و راه‌های ارتباطی است. همچنین نواحی بایر با کاهش حدود ۱۴۴۰/۶۵ هکتار، روند رو به کاهش خود را در این بازه زمانی نیز حفظ کرده و به میزان ۶۲۵۸/۱۳



هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده‌اند. کمترین تغییرات مربوط به مساحت رودخانه کارون به‌عنوان پهنه آبی منطقه مورد مطالعه بوده که به میزان ۱۲/۴ هکتار کاهش یافته و به ۳۷۴/۰۳ هکتار در سال ۲۰۲۹ رسیده است. نتایج پیش‌بینی تغییرات در سال ۲۰۲۹ به‌گونه‌ای است که در صورت ادامه روند موجود، به میزان ۷۸۵/۷۷ هکتار از پوشش گیاهی منطقه، کاسته شده و به کاربری‌های دیگر تبدیل می‌شود. البته این میزان کاهش در پوشش گیاهی در مقایسه با دوره قبل (۲۰۱۹-۲۰۰۲)، کمتر بوده و مساحت کمتری از کاربری پوشش گیاهی تا سال ۲۰۲۹ به سایر کاربری‌ها تبدیل شده است.

#### ۴- جمع‌بندی

در این پژوهش، از تصاویر سه سنجنده TM، ETM+ و OLI لندست جهت پایش تغییرات رخ داده در کاربری پوشش گیاهی شهر اهواز استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مشخص شد که استفاده از تصاویر سنجنده OLI، نتایج دقیق‌تری ارائه خواهد داد که با نتایج تحقیق محمدیاری و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد. در مرحله سیگمنت‌سازی تصاویر ماهواره‌ای، وزن‌های در نظر گرفته شده برای پارامترهای مقیاس، شکل، فشردگی و باندهای تصویری، به شکل کاملاً محسوسی در وضوح و کیفیت تصویر تأثیر گذاشته و از این یافته می‌توان به توجیه افزایش کیفیت سیگمنت‌سازی به‌خوبی استفاده کرد. همچنین استفاده از شاخص پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از پارامترهای طبقه‌بندی، موجب افزایش صحت طبقه‌بندی و تشخیص و جداسازی پوشش گیاهی از طبقات دیگر کاربری اراضی شد. در این پژوهش، توانایی سه شاخص NDVI، SAVI و RVI در تشخیص تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی مورد مقایسه قرار گرفت و از هر شاخص به‌طور جداگانه در مرحله سیگمنت‌سازی و طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. در این پژوهش، با توجه به اقلیم خشک و پوشش گیاهی کم منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به شاخص SAVI دارای بالاترین مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی بوده‌اند. چون در این شاخص، شیب خط خاک به کار گرفته شده است و اثر منفی خاک زمینه‌ای به‌خوبی حذف شده و تفکیک پوشش گیاهی با دقت بالاتری انجام شده است. همچنین ضرایب کاپای نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به SAVI، ۰/۸۰ در سال ۱۹۸۹، ۰/۸۱ در سال ۲۰۰۲ و ۰/۹۱ در سال ۲۰۱۹ بوده که نشان‌دهنده قدرت تفکیک پوشش گیاهی از سایر عوارض زمینی و عملکرد بهتر این شاخص در آشکارسازی تغییرات بوده است که با نتایج تحقیقات ناطقی و همکاران (۱۳۹۵) و فاتحه و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی داشته است. این موضوع با فرضیات تحقیق، که یکسان بودن کارایی سه شاخص NDVI، SAVI و RVI در دقت طبقه‌بندی شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای را بیان نموده است، همخوانی ندارد. با بررسی نتایج مدل LCM و مقایسه مساحت کاربری پوشش گیاهی در سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، می‌توان نتیجه گرفت که طی ۳۰ سال تغییرات پوشش گیاهی روندی رو به کاهش داشته است؛ به‌طوری‌که در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ به میزان ۱۳۳۹/۶۵ هکتار و در بازه زمانی

۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ به میزان ۱۸۶۰/۵۰ هکتار از مساحت پوشش گیاهی کلان‌شهر اهواز کاسته شده است. این بدین معنی است که در ۱۷ سال منتهی به سال ۲۰۱۹ نسبت به دوره قبل، مساحت بیشتری از پوشش گیاهی به کاربری‌های دیگر تبدیل شده است. این موضوع با فرضیات تحقیق، که کاهش پوشش گیاهی شهر اهواز ناشی از تغییرات کاربری اراضی را در دوره مورد بررسی (۲۰۱۹-۱۹۸۹) بیان نموده است، همخوانی دارد. نتایج پیش‌بینی تغییرات با استفاده از زنجیره CA مارکوف تا سال ۲۰۲۹ نیز نشان‌دهنده ادامه روند کاهش مساحت کلاس پوشش گیاهی بوده به طوری که طی ۱۰ سال به میزان ۷۸۵/۷۷ هکتار از پوشش گیاهی کاسته شده و مساحت آن به ۲۹۲۳/۲۴ هکتار در سال ۲۰۲۹ خواهد رسید. همچنین با ملاحظه به نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، می‌توان دریافت که پوشش گیاهی کلان‌شهر اهواز از توزیع یکنواخت در تمام سطح شهر اهواز خارج شده و به تدریج با شدت گرفتن روند تغییرات کاربری اراضی به خصوص تبدیل اراضی دارای پوشش گیاهی به مناطق مسکونی و صنعتی، خیابان‌ها و راه‌های ارتباطی، تراکم آن در مناطق مرکزی شهر کاهش یافته و در مناطق حاشیه‌ای، تمرکز بیشتری پیدا کرده است. این روند در نیمه شرقی شهر اهواز چشمگیرتر بوده و می‌تواند مشکلاتی مانند کاهش کیفیت هوا، افزایش آلودگی صوتی، افزایش اثرات ریزگردها و افزایش دمای هوا را در این بخش‌ها ایجاد کند. در این زمینه، با بررسی وضعیت پوشش گیاهی موجود، شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث پارک‌های محله‌ای، کاشت گونه‌های جدید درختی و درختچه‌ای گل‌دار و پهن‌برگ و گونه‌های گرمسیری، استفاده از مشارکت مردمی و در نهایت تهیه طرح جامع فضای سبز شهری اهواز، می‌توان در جهت بهبود وضعیت پوشش گیاهی در این مناطق اقدام نمود.

نتایج این پژوهش نشان داد که ساختار و تراکم پوشش گیاهی کلان‌شهر اهواز تحت تأثیر تغییرات کاربری اراضی، تغییر پیدا کرده است. بنابراین آگاهی از خصوصیات کمی و کیفی این تغییرات در برنامه‌ریزی محیطی، آمایش سرزمین و توسعه پایدار بسیار حائز اهمیت می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه پوشش گیاهی در مناطق شهری، بازتابی از وضعیت اقلیمی، نوع خاک، وضعیت اقتصادی و اجتماعی، اثر عوامل مدیریتی و به‌طور کلی نشان‌دهنده رابطه انسان، محیط و گیاهان است، پیشنهاد می‌شود تا مطالعات بیشتری در این زمینه صورت گیرد و مسئولان نسبت به حفاظت از پوشش گیاهی، برنامه‌های عملیاتی ارائه نمایند.

#### کتابنامه

- اکبری، الهه، زنگنه اسدی، محمدعلی، تقوی مقدم، ابراهیم؛ ۱۳۹۴. پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های مختلف تئوری آموزش آماری منطقه نیشابور. *آمایش جغرافیایی فضا*. ۶(۲۰): ۳۵-۴۹.
- انتظاری، علیرضا، زندی، رحمان، خسروی‌ان، مریم؛ ۱۳۹۸. ارزیابی تغییرات فضایی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست و مادیس، مطالعه موردی: استان فارس ۲۰۱۷-۱۹۸۶. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۱۱(۴):

اندریانی، صغری، نیکجو، محمد رضا، رضایی مقدم، محمد حسن، مختاری، داوود؛ ۱۳۹۶. تحلیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های شی‌اگرا و زنجیره مارکوف در حوضه آبریز زلیبیرچای واقع در آذربایجان شرقی و غربی. *جغرافیا و توسعه*. ۱۶(۵۳): ۳۷-۵۰.

انوری پور، رضا؛ ۱۳۹۲. مدیریت و ارزیابی رواناب شهری با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نمونه موردی: کلان شهر اهواز. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS*، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.

پوراحمد، احمد، حبیبیان، بهار، احمدنیا، محمد رضا؛ ۱۳۹۴. تحلیلی بر فضای کالبدی شهر اهواز. *باغ نظر*. ۱۳(۳۹): ۲۵-۳۸.

حاجی بیگلو، محبوبه، بردی شیخ، واحد، معاریان، هادی، بایرام کمکی، چوقی؛ ۱۳۹۸. ارزیابی طبقه‌بندی نظارت شده شی‌اگرا و پیکسل‌پایه در استخراج کاربری اراضی بر مبنای دو شاخص اختلاف کمی و مکانی در حوزه آبخیز گرگان رود. *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۱۰(۴): ۱-۲۰.

حلبیان، امیرحسین، سلطانیان، محمود؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات بیابان زایی در شرق و جنوب اصفهان با مدل CA-Markov. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ۳(۴): ۷۱-۸۸.

خضری احمدآباد، محمد، سلیمانی، کریم؛ ۱۳۹۶. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز قزل اوزن با استفاده از تکنیک فیوژن و پردازش شی‌اگرا. *کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی*. ۸(۳): ۱۳-۲۱.

روستایی، شهرام، مختاری، داوود، ولیزاده کامران، خلیل، خدائی قشلاق، لیلیا؛ ۱۳۹۷. مقایسه روش پیکسل‌پایه (بیش‌ترین شباهت) و شی‌اگرا (ماشین بردار پشتیبان) در طبقه‌بندی کاربری اراضی (منطقه اهر- ورزقان). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. ۸(۱): ۱۱۸-۱۲۹.

سارلی، رضا، روشن، غلامرضا، گرب، استغان؛ ۱۳۹۸. سنجش و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی حوزه استان مازندران طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۵ با استفاده از زنجیره مارکوف و GIS. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*. ۲۸(۱۱۱): ۱۴۹-۱۶۲.

سرافراز اسبق، سونیا، میانجی، مهسا، فیضی زاده، بختیار؛ ۱۳۹۴. آشکارسازی تغییرات فضای سبز شهری با استفاده از روش فازی در طبقه‌بندی شی‌اگرا (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز). *بیست‌ودومین همایش ملی ژئوماتیک*، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

سفیانیان، علیرضا، خداکرمی، لقمان؛ ۱۳۹۰. تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی (مطالعه موردی سه زیرحوزه آبخیز کبودر آهنگ، رزن-قهاوند و خونجین-تلخاب در استان همدان). *آمایش سرزمین*. ۳(۴): ۹۵-۱۱۴.

- سلمانی، سعید، ابراهیمی، حمید، محمد زاده، کیوان، ولیزاده کامران، خلیل؛ ۱۳۹۶. ارزیابی تکنیک‌های مختلف طبقه‌بندی شیء‌گرا در استخراج کاربری اراضی از تصاویر ماهواره آپکونوس. *اطلاعات جغرافیایی*. ۲۸(۱۱۱): ۲۰۵-۲۱۵.
- شکوری، صادق، موسوی حسنی، سید مسعود، پورعطاکش، مهسا، قربانی، آناهیتا، ارنک، سمیرا؛ ۱۳۹۷. شناسایی و بررسی روند تغییرات کاربری پوشش گیاهی با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی زمان‌مند و CA با بهره‌گیری از تکنیک‌های GIS و RS (مطالعه موردی: شهرستان مینودشت استان گلستان). *کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی*. ۹(۲): ۵۰-۷۱.
- شکوهی زادگان، سحرناز، خسروی، حسن، آذرینوند، حسین، زهتابیان، غلامرضا، رایگانی، بهزاد؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و پایش پوشش گیاهی مبتنی بر منطق فازی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای؛ مطالعه موردی: پارک ملی بمو- شیراز. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*. ۲۵(۱۰۰): ۱۵۷-۱۶۶.
- صابرفر، رحیمه، فلاحتکار، سامره، کیا، سید حسین؛ ۱۳۹۷. تحلیل تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی در سنجنده‌های ماهواره لندست (مطالعه موردی: ارس‌زارهای شرق پارک ملی گلستان و منطقه حفاظت‌شده قرخود). *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*. ۹(۱): ۷۱-۹۱.
- طاهرپرور، مریم، پیرمادیان، نادر، وظیفه دوست، مجید؛ ۱۳۹۵. مقایسه روش‌های پرکردن پیکسل‌های فاقد داده در تصاویر ماهواره لندست ETM+ ۷ در برآورد نقشه ضریب گیاهی. *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۴۷(۴): ۶۶۵-۶۷۶.
- عبدالهی، علی اصغر، خبازی، مصطفی، درانی، زهرا؛ ۱۳۹۸. مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر لاهیجان با رویکرد توسعه پایدار. *شهر پایدار*. ۲(۴): ۱۷-۳۰.
- کاظمی‌نیا، عبدالرضا؛ ۱۳۹۶. کاربرد سنجش از دور و GIS در بررسی پوشش گیاهی. *مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی*. ۹(۱): ۷۵-۸۵.
- کرمانی، فرزانه، رایگانی، بهزاد، نظامی، باقر، گشتاسب، حمید، خسروی، حسن؛ ۱۳۹۶. ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: منطقه حفاظت‌شده توران). *مهندسی اکوسیستم بیابان*. ۱۶(۱): ۱-۱۴.
- محمدیاری، فاطمه، پورخباز، حمید رضا، توکلی، مرتضی، اقدر، حسین؛ ۱۳۹۳. تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان). *اطلاعات جغرافیایی*. ۲۳(۹۲): ۲۳-۳۴.
- محمدیان بهبهانی، علی، حیدری زادی، زاهده؛ ۱۳۹۷. پایش و پیش‌بینی روند تغییرات پهنه‌های ماسه‌ای با استفاده از مدل زنجیره مارکف CA (مطالعه موردی: دشت ابوغویر دهلران، استان ایلام). *علوم محیطی*. ۱۶(۴): ۱۵۳-۱۶۶.

- مکرم، مرضیه، مزین، ملیحه، فرجی، محمد، موسوی، کتایون؛ ۱۳۹۶. بررسی تغییرات پوشش گیاهی در فصول مختلف رویش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارتباط آن با تغییرات دما (منطقه مورد مطالعه: شمال شهرستان داراب). *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*. ۸(۳): ۱-۲۰.
- میرعلیزاده فرد، سید رضا، علی‌بخشی، سیده مریم؛ ۱۳۹۵. پایش و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و مدل‌ساز تغییر کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت برتش دهلران ایلام). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۷(۲): ۳۳-۴۵.
- میرعلیزاده فرد، سید رضا، منصور، شهرزاد؛ ۱۳۹۸. ارزیابی شاخص‌های سنجش از دور در مطالعات کمی و کیفی آب‌های سطحی با تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ (مطالعه موردی: جنوب استان خوزستان). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۱۰(۲): ۶۳-۸۴.
- ناطق، سعیده، نوحه‌گر، احمد، احسانی، امیرهوشنگ، بذرافشان، ام‌البنین؛ ۱۳۹۵. بررسی تغییرات پوشش گیاهی براساس شاخص‌های گیاهی با استفاده از سنجش از دور. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*. ۲۴(۴): ۷۷۸-۷۹۰.
- ولی، عباسعلی، موسوی، سید حجت، عباسی، هاجر؛ ۱۳۹۸. تحلیل و ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی مبارکه در راستای تحقق توسعه پایدار. *جغرافیای اجتماعی شهری*. ۶(۲): ۷۳-۸۶.
- یاراحمدی، جمشید، رستمی‌زاد، قباد، ساعی، حسین؛ ۱۳۹۸. آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی به روش شیء‌گرا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوزه آبخیز ایکنه‌چای جنگل‌های ارسباران. *حفاظت و بهره‌برداری جنگل‌های میرکانی*. ۱(۲): ۵۹-۷۰.
- یوسفی، صالح، تازه، مهدی، میرزایی، سمیه، مرادی، حمید رضا، توانگر، شهلا؛ ۱۳۹۳. مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۵(۳): ۶۷-۷۶.
- Beek, E. and Meijer, K., 2006. Integrated Water Resources Management for the Sistan Closed Inland Delta. Water Research Institute: Iran.
- Blaschke, T. Feizizadeh, B. and Holbling, D., 2014. Object-Based Image Analysis and Digital Terrain Analysis for locating Landslides in the Urmia Lake Basin, Iran. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal 7(12): 4806-4817.
- Brian, W.S. Chen, Q. and Borger, M., 2011. A Comparison of Classification Techniques to Support Land Cover and Land Use Analysis in Tropical Eoastal Zones. Applied Geography 31(2): 525-532.
- Brink, A. and Eva, H., 2009. Monitoring 25 Years of Land Cover Changes Dynamics in Africa: A Sample Based Remote Sensing Approach. Applied Geography 29(4): 501-512.
- Brink, A.B. Bodart, C. Brodsky, L. Defourney, P. Ernst, C. Donney, F. Lupi, A. and Tuckova, K., 2013. Anthropogenic Pressure in East Africa—Monitoring 20 Years of Land Cover Changes by Means of Medium Resolution Satellite Data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 28(1): 60-69.
- Chang, C.L. and Chang, J., 2006. Markov Model and Cellular Automata for Vegetation. Journal of Geographical Research 1(1): 45-57.

- Darwish, T. and Faour, G., 2008. Rangeland Degradation in Two Watersheds of Lebanon. *Lebanese Science Journal* 9(1): 71-80.
- Dragut, L. Csillik, O. Eisank, C. and Tiede, D., 2014. Automated Parameterisation for Multi-Scale Image Segmentation on Multiple Layers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 88(100): 119–127.
- Fatiha, B. Abdelkader, A. Latifa, H. Mohamed, E. and Spatio, A., 2014. Temporal Analysis of Vegetation by Vegetation Indices from Multi-dates Satellite Images: Application to a Semi-Arid Area in ALGERIA. *International Conference-Advancements in Renewable Energy and Clean Environment* 36(Part 1, 2): 667-675.
- Jensen, J., 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (3rd Edition). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall 526.
- Jonsson, L., 2015. Evaluation of Pixel Based and Object Based Classification Methods for Land Cover Mapping with High Spatial Resolution Satellite Imagery, in the Amazonas: Brazil.
- Koh, C.N. Lee, P.F. and Lin, R.S., 2006. Bird Species Richness Patterns of Northern Taiwan: Primary Productivity, Human Population Density, and Habitat Heterogeneity. *Diversity and Distributions* 12(5): 546–554.
- Mathieu, R. Aryal, J. and Chong, A.K., 2007. Object-Based Classification of Ikonos Imagery for Mapping Large-Scale Vegetation Communities in Urban Areas. *Sensors* 7(11): 2860-2880.
- MingLee, T. and ChungYeh, H., 2009. Applying Remote Sensing Techniques to Monitor Shifting Wetland Vegetation: A Case Study of Danshui River Estuary Mangrove Communities, Taiwan. *Ecological Engineering* 35(4): 487-496.
- Morawitz, D. Blewett, T. Cohen, A. and Alberti, M., 2006. Using NDVI to Assess Vegetative Land Cover Change in Central Puget Sound. *Environmental Monitoring and Assessment* 114(1): 85–106.
- Newcomer, M. ChenHsu, W. Justice, E. Guild, L. Rogoff, D. and Skiles, J., 2011. Prototype Application of NASA Missions to Identify Patterns of Wetland Vegetation Development within the South San Francisco Bay Salt Ponds. *ASPRS 2011 Annual Conference*, Milwaukee, Wisconsin, May 1-5th, 1-10.
- Pettorelli, N. Vik, O. Mysterud, A. Gaillard, J.M. Tucker, C.J. and Stenseth, N.C., 2005. Using the Satellite-Derived NDVI to Assess Ecological Responses to Environmental Change. *Journal Trends in Ecology and Evolution* 9(20): 200-216.
- Pu, R.L. Landry, S. and Yu, Q., 2011. Objectbased Urban Detailed Land Cover Classification with High Spatial Resolution IKONOS Imagery. *Remote Sensing* 32(12): 3285–3308.
- Rawat, J.S. Biswas, V. and Kumar, M., 2013. Changes in Land Use/ Cover Using Geospatial Techniques: A Case Study of Ramnagar Town Area, District Nainital, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 16(1): 111-117.
- Trimble., 2012. *Ecognition Developed Reference Book*. Trappentreustr. 1D-80339 München, Germany: München, Germany GmbH 270.
- Vaclavik, T. and Rogan, J., 2009. Identifying Trends in Landuse/ Landcover Changes in the Context of Post-Socialist Transformation in Central Europe: A Case Study of the Greater Olomouc Region, Czech Republic, *GIScience & Remote Sensing* 46(1): 24-12.
- Wiley, J., 1996. Paul Wright. *Highway Engineering*, 6th ed. 55- 56, 58.