

## پایش تغییرات کاربری اراضی دریاچه ارومیه و محیط پیرامون آن با استفاده از روش‌های مختلف تئوری آموزش آماری

حسین نظم‌فر<sup>۱\*</sup>، منیر شیرزاد گرجان<sup>۲</sup>

۱- استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل  
۲- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل،

دریافت: ۹۹/۲/۲ ..... پذیرش: ۹۹/۶/۱۱

### چکیده

در این تحقیق با استفاده از قابلیت تکنیک‌های سنجش از دور تغییرات کاربری اراضی دریاچه ارومیه و محیط پیرامون آن در بازده زمانی بیست‌ساله (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹م) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده (MSS، TM و OLI) مورد پایش قرار گرفته است. بررسی تغییرات کاربری اراضی نشان داد: مساحت کاربری کشاورزی از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹م افزایش چشمگیری داشته که دلیل آن مساعد بودن منطقه برای زراعت، حفر چاه‌های متعدد و استفاده از سفره آب زیرزمینی بوده است. همچنین نوسان‌های قابل ملاحظه‌ای در سطح آب دریاچه رخ داده است. به طوری که تغییرات سطح آب از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶م از ۵,۳۴۸ به حدود ۲,۷۰۵ کیلومتر مربع رسیده است. اما از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹م به دلیل بارش‌ها ۱۶۴۴ کیلومتر مربع افزایش مساحت آبی داشته است. همچنین خطوط ساحلی به‌ویژه در شرق و جنوب‌شرقی منطقه مورد مطالعه، پس‌روی بسیار قابل توجهی را نشان می‌دهد. به طوری که از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰م مساحت این کاربری ۳۷۸ کیلومتر مربع افزایش داشته است و طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶م مساحت آن همچنان روند صعودی داشته و به ۷۸۶ کیلومتر مربع افزایش یافته است.



**واژگان کلیدی:** تغییر کاربری اراضی، فن‌آوری سنجش از دور، دریاچه ارومیه، طبقه‌بندی نظارت شده، لندست.

## ۱- مقدمه

کاربری اراضی از مهم‌ترین ویژگی‌های بیوفیزیک و اقتصادی - اجتماعی در هر حوزه آبخیز به‌شمار می‌آید (قربانی و همکاران، ۱۳۸۹). علم تغییرات اراضی، به‌تازگی به‌عنوان یکی از اجزای بنیادین تغییرات زیست محیطی جهان و پژوهش‌های توسعه پایدار معرفی شده است (شالابی و تاتشی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). نظارت بر تغییرات اراضی امری مهم در برنامه‌ریزی آینده و مدیریت منابع طبیعی است (لی و یانگ<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵). بنابراین، نیاز به آشکارسازی چنین تغییراتی در اکوسیستم از اهمیت بسزایی برخوردار است (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۳). تا اقدامات مقتضی در صورت لزوم انجام گیرد. در بسیاری از مناطق کشور، تخریب بی‌رویه اراضی به‌دلیل افزایش جمعیت، الگوی کشت نامناسب و بهره‌برداری بیش‌ازحد از جنگل‌ها و مراتع سبب به مخاطره افتادن طبیعت و دست‌کاری نامتعارف در منابع طبیعی شده است. به همین دلیل، مدیریت اراضی و منابع طبیعی به نیازی برای حفظ این منابع از این مخاطره‌ها مبدل شده است (سینگ و پونیا<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸). باتوجه به اینکه دریاچه ارومیه، مرکز اکوتوریستی مهمی در آذربایجان است، با خشک شدن دریاچه، آذربایجان بزرگ و تمام مناطقی که تحت‌تأثیر این پدیده قرار دارند، با رکود گردشگر داخلی مواجه خواهند شد. این عوامل به نوبه خود منجر به مهاجرت ساکنان روستاهای این منطقه به شهرهای اطراف و مشکلات اجتماعی در این شهرها خواهد شد. دریاچه ارومیه طی سال‌های اخیر دچار افت تراز شدیدی شده که بخش قابل ملاحظه‌ای از آن تحت‌تأثیر توسعه بخش کشاورزی و بهره‌برداری از منابع آب حوضه آبریز آن بوده است (فتحیان، ۱۳۹۱). اما اینکه این تغییرات و به‌خصوص تغییر در کاربری اراضی در چه سطحی اتفاق افتاده، نیاز به مطالعات خاص خود را دارد. به‌طور کلی بررسی تغییرات کاربری اراضی، به دو روش زمینی و سنجش از دور امکان‌پذیر می‌باشد. اما در دهه‌های اخیر، با توسعه امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری پردازش تصاویر ماهواره‌ای و همچنین سهولت دسترسی به تصاویر چندطیفی<sup>۴</sup> و فراطیفی<sup>۵</sup>، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور جهت تولید نقشه‌های کاربری اراضی رایج‌تر گردیده است. استفاده از تکنولوژی سنجش از دور در مطالعات منابع طبیعی

1. Shalaby & Tateishi
2. Liu & Yang
3. Singh and Punia
4. Multi-Spectral
5. Hyper-Spectral

جایگاه خاصی دارد. مقایسه چندزمانه، به روز بودن اطلاعات، پردازش رقومی، تنوع داده‌ها و سرعت انتقال داده‌ها سنجش از دور را به‌عنوان مهم‌ترین تکنولوژی در آشکارسازی تغییرات مطرح ساخته است. از طریق این فناوری، می‌توان با استفاده از مجموع تصاویر چندزمانه و پردازش آن‌ها با یکی از روش‌های مناسب موجود و با سرعت و دقت بالا نسبت به آشکارسازی تغییرات موردنظر در منطقه اقدام کرد. با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌توان به شیوه‌های علمی و کارآمد به مدیریت مناطق حساس پرداخت (علوی‌پناه، ۱۳۹۷). در زمینه تغییرات کاربری اراضی، تحقیقات جامعی در سطح ملی و بین‌المللی انجام شده است که به آن‌ها اشاره می‌شود: شالابی و تاتشی (۲۰۰۷م) بارزسازی تغییرات پوشش و کاربری اراضی در مناطق ساحلی (شمال غربی مصر) را با استفاده از روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی و تلفیق مقایسه‌ای جدولی (Cross-tabulation) مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱م استفاده کردند. طیبی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸م)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی شهر تهران با استفاده از روش سنجش از دور و مدل شبکه‌ای عصبی مصنوعی پرداخته‌اند و باتوجه به یافته‌های تحقیق، روند این تغییرات را برای سال ۲۰۲۰م مشخص کرده‌اند. بهاگوات<sup>۲</sup> (۲۰۱۳م)، تغییرات کاربری اراضی محدوده متروپلیتن کاتماندو نپال را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه بررسی کرده است. آددجی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۵م)، مطالعه ارزیابی روند تغییرات را در گامباری<sup>۴</sup>، جنگل محافظت‌شده رزرو، نیجریه با استفاده از سنجش از دور و تکنیک GIS بررسی کردند در این مطالعه به تعیین میزان روند تغییر در پوشش جنگل رزرو بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۴م با استفاده از داده‌های چندزمانه ماهواره Land sat پرداخته شده است. نتایج این مطالعه نشان داد است که کاهش قابل توجهی در پوشش جنگل رزرو رخ داده است که عامل‌های زیادی در این امر دخیل بوده‌اند. راوات و کومار<sup>۵</sup> (۲۰۱۵)، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در هند را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰م انجام دادند.

ایلدرمی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۷م)، در بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز گرین، بدین نتیجه رسیدند که بیشترین تغییرات مربوط به اراضی مرتعی و جنگلی و کمترین مربوط به اراضی کشاورزی است. سینگ و پونیا (۲۰۱۸م)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل

1. Tayebi
2. Bhagawat
3. Adedej
4. Multi-Spectral
5. Rawat & Kumar
6. Ildermi



(LCM) در حوزه آبخیز بهاریهاتی در هند پرداختند. این محققان با پردازش تصاویر ماهواره‌ای بر کارآمدی تصاویر سنجش از دور در ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی تأکید می‌نمایند. رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، در بررسی و شناخت عوامل تغییر تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰م در زمینه تعیین عوامل اصلی کاهش آب این دریاچه با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره تحقیق کرده‌اند و مشخص نمودند که در طی دوره مزبور، خطوط ساحلی در شرق و به‌ویژه جنوب‌شرق پسروری معناداری داشته است. سنجری و همکاران (۱۳۹۲)، داده‌های ماهواره‌ای را به‌عنوان ابزاری سریع و اقتصادی برای پایش تغییرات کاربری اراضی بایر و رسوبی معرفی می‌کنند، آن‌ها در تحقیقات خود از تصاویر: MMS سال ۱۳۵۵، TM ۱۳۶۶ و ETM+ سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۴ برای طبقه‌بندی اراضی زرد کرمان استفاده کردند. نتایج نشان دهنده تبدیل اراضی بایر و رسوبی کشت نشده به اراضی باغی و مناطق مسکونی و صنعتی بوده است که در صورت ادامه این روند اثرات منفی زیست محیطی در منطقه به‌دنبال خواهد داشت. مسیبی و ملکی (۱۳۹۳)، آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری اراضی را برای شهرستان اردبیل برای ۲۵ سال اخیر انجام دادند، آن‌ها از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور و روش‌های آماری، تغییر سطح کاربری‌های اراضی مختلف براساس تفسیر تصاویر ماهواره‌های لندست و با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال تشابه بهترین ترکیب باندی در سه دوره زمانی ۱۳۷۷، ۱۳۶۶، و ۱۳۹۰ بررسی کردند. شنائی وزارعی (۱۳۹۵)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز ابوالعباس، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست TM در دوره زمانی ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۸ پرداختند. در این تحقیق مشخص شد، مساحت جنگل‌های انبوه و نیمه انبوه طی این سال‌ها به ترتیب ۸/۴۸ و ۱۲/۲۶ درصد کاهش یافته و جای خود را به جنگل‌های تنک‌شده و مراتع داده است که هرکدام به ترتیب ۱۰/۳۹ و ۱۲/۳۵ درصد افزایش داشته‌اند. سادات ابراهیمی و کمالی (۱۳۹۶)، از تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ و مدل زنجیره سلول، خودکار - مارکوف، برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی ۲۰۰۰، ۲۰۲۵، ۲۰۳۰ و ۲۰۳۵ استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌بینی تغییرات کاربری آینده در منطقه مورد مطالعه، بیانگر کاهش کاربری باغ و زراعت آبی و افزایش کاربری‌های مرتع و چراگاه و بستر رودخانه نسبت به سال ۲۰۱۵م بود. شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۶)، به پیش‌بینی روند گسترش شهر کرمانشاه با ترکیب مدل سلول خودکار، زنجیره‌ای مارکوف و رگرسیون لجستیک پرداختند و با استفاده از تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ تهیه و آشکارسازی تغییرات را مورد بررسی قرار دادند و با مدل زنجیره مارکوف برآورد احتمال میزان تغییرات را برای سال ۲۰۲۶م پیش‌بینی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که

مناطق کوهستانی، پوشش گیاهی، صخره‌ای و سطوح آبی به کاربری شهری تبدیل شده است. از بررسی این مطالعات، می‌توان نتیجه گرفت که در سال‌های اخیر پوشش زمین در سراسر جهان دستخوش تغییرات بسیاری بوده است که این تغییرات به شدت می‌توانند محیط زیست و منابع طبیعی زمین را تحت تأثیر قرار دهند و این موضوع اهمیت بررسی تغییرات پوشش زمین را دوچندان می‌کند. در مطالعات گذشته، دریاچه ارومیه بیشتر به آشکارسازی تغییرات خطوط ساحلی سنجده شده و به آشکارسازی محیط پیرامونی پرداخته نشده است. در پژوهش حاضر، تحلیلی منسجم برای درک جامع‌تر از تغییرات دریاچه ارومیه و محیط پیرامون آن به منظور کمک به توسعه راهبردهای پایش و مدیریت دریاچه ارائه شده است.

## ۲- مبانی نظری

### ۲-۱- کاربری اراضی

پوشش اراضی، مواد فیزیکی هر قطعه از سطح زمین است (مانند چمنزار، کوهستان، آب) و کاربری اراضی فعالیت‌های انسانی است که بر روی زمین انجام می‌گیرد (مانند نواحی مسکونی، نواحی تجاری یا صنعتی) کاربری اراضی ترکیبی از پوشش اراضی متنوع است. به عنوان مثال واحد مسکونی یک خانوار از الگوی مواد پوشش اراضی (چمنزار، مواد سازنده ساختمان، درختان) تشکیل شده است. ترکیبی از این سطوح و مشخصه‌های آنها تعیین کننده کاربری اراضی است. در واقع پوشش اراضی مفهومی گسترده داشته و به تمام عوارض پوشاننده سطح زمین گفته می‌شود در حالی که کاربری اراضی انواع بهره برداری از زمین به منظور رفع نیازهای بشری است. بر این اساس می‌توان گفت که انسان و فعالیت‌های او، عامل تشکیل دهنده کاربری اراضی بوده و معیار خوبی برای تفکیک کاربری اراضی از پوشش اراضی می‌باشد. کاربری اراضی محصول تلاش انسان برای رفع نیازهای خود از طبیعت است، بر این اساس کاربری اراضی را می‌توان چنین تعریف کرد: "کاربری اراضی مفهومی مرکب از اجتماع، فرهنگ، اقتصاد و عوامل سیاسی یک جامعه است که در گذر زمان شکل می‌گیرد" (فیضی‌زاده، ۱۳۸۶).

### ۲-۲- اهداف کاربری اراضی

اهداف کاربری زمین را به شرح زیر می‌توان بیان کرد: اهداف محیطی (اهداف محیطی را در راستای جلوگیری از تخریب زمین، برقراری ارتباط و پیوند میان انسان و محیط، حفظ منابع پایدار و تجدید ناپذیر، حفظ میراث تاریخی و فرهنگی، مکان یابی بهینه کانون‌های استقرار جمعیت و فعالیت می‌توان مطرح نمود). اهداف اجتماعی (اهداف اجتماعی در راستای افزایش



امکانات، کاهش نابرابری در بهره‌برداری از زمین، ارتقاء کیفیت کاربریهای مسکونی مختلف، زیبا سازی محیط و ناحیه مطرح می‌گردد). اهداف اقتصادی (اهداف اقتصادی کاربری زمین را در راستای بهره‌وری مناسب و اقتصادی از زمین، تقلیل نابرابریهای اجتماعی، توزیع متوازن منابع و تولید پایدار می‌توان برشمرد). اهداف کالبدی (اهداف کالبدی عبارتست از راستای جلوگیری از تداخل کاربریهای ناسازگار، حفظ تناسب میان کاربریها، تدوین ضوابط و مقررات استقرار کاربریها، توزیع متوازن زیربناها، سازگاری، هماهنگی و نظایر آن (قهفرخی و همکاران، ۱۳۸۸).

## ۲-۳- لزوم استفاده از نقشه های کاربری ارضی

مدیریت منابع محیطی نیازمند اطلاعات کافی از جنبه‌های پیچیده فعالیت‌های انسانی و نوع پوشش اراضی موجود در سطح زمین است و کاربری اراضی تنها یکی از جنبه‌های آن محسوب می‌شود، اما اطلاعات درباره کاربری اراضی اهمیت زیادی دارد چرا که طرح ملی برای غلبه بر توسعه کنترل نشده، کاهش کیفیت محیطی، خسارات اراضی کشاورزی، تخریب اراضی، مخاطرات حیات وحش همه نیازمند آگاهی از نسبت‌های دقیق کاربری‌های اراضی است. برای بهبود شرایط زندگی جوامع انسانی یا حفظ جریان رایج آن، اطلاعات کاربری اراضی مورد نیاز در تحلیل فرایندها و مسائل محیطی، بایستی بدست آیند.

## ۲-۴- آشکارسازی تغییرات

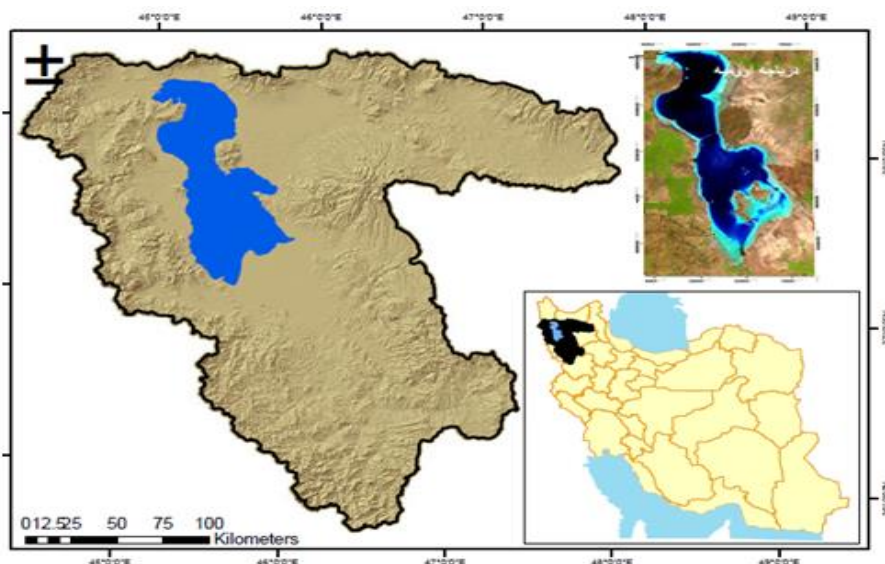
آشکارسازی تغییرات یکی از نیازهای اساسی در مدیریت و ارزیابی منابع طبیعی می‌باشد و در حال حاضر تغییر کاربری زمین به صورت غیر اصولی از مهمترین معضلات کشور می‌باشد زیرا توسعه کاربری‌ها بدون توجه به شاخص مکانیابی و همجواری صورت پذیرفته است که این امر موجب سیل‌های مخرب، آلودگی شهرهای بزرگ، از بین رفتن سطح وسیعی از جنگلها، رشد بی‌رویه شهرها، فرسایش زمین‌های کشاورزی، گسترش بیابان‌ها و کویرها در اثر استفاده بیش از حد از آن جمله موارد هستند و تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی به منظور اطلاع از کاربریهای موجود و برنامه‌ریزی در جهت کاربری‌های مناسب از جمله اقدامات اساسی برای استفاده بهینه از منابع موجود در روی زمین می‌باشد. استفاده از داده‌های سنجنش از دور کارای موثری در برنامه‌ریزی و مطالعات مبتنی بر پایش محیط دارند که در گذشته به صورت روشهای میدانی و عکسبرداری‌های بزرگ مقیاس صورت می‌گرفت که بدیهی است که روشهای گذشته در جایی ارزشمند بود که تغییرات به یک محل خاص کوچک و قابل دسترس مربوط می‌شد اما در محل‌های وسیع و دور که تغییرات سطحی زیادی را می‌پوشاند و مربوط به دوره‌های طولانی

مدت می‌شود ضرورت استفاده از سیستم‌هایی که بتواند تغییرات جزئی و دقیق را تشخیص دهد وجود دارد. لذا با استفاده از تصاویر چند زمانه‌ای و نقشه‌های رقومی می‌توان تغییرات کاربری اراضی و پیامدهای مربوط به آن را در محیط GIS بررسی کرد و با توجه به اینکه ماهواره‌ها به صورت دوره‌ای در طول زمانهای متوالی از هر منطقه جغرافیایی تصاویر تهیه می‌نمایند بر اساس این ویژگی با داده‌های ماهواره‌ای می‌توان روند تغییرات را با گذشت زمان بررسی نموده و تصمیمات مناسبی را اتخاذ کرد. در این زمینه داده‌های سنجنش از دور ابزار بسیار مهمی برای مطالعه تحولات ایجاد شده کاربرد اساسی دارد زیرا در مشاهدات ماهواره‌ای به علت قدرت تفکیک مکانی بالای این تصاویر و همچنین وجود سری‌های زمانی تشخیص تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین را در یک ناحیه وسیع آسان می‌نماید. در نتیجه با استفاده از فن‌آوری سنجنش از دور و GIS علاوه بر بهنگام نمودن نقشه‌های موجود، بهترین ابزار جهت تحلیل‌های کمی و مدل‌سازی از فرایند تغییرات به شمار می‌رود و در ضمن در محیط GIS نیز می‌توان به تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی حاصله از فرایند پردازش تصاویر و سایر لایه‌های تکمیلی اقدام نمود و با انطباق لایه‌ها مدل‌سازی نهایی و نقشه حاصله را ایجاد نمود.

### ۳- روش‌شناسی پژوهش

#### محدوده مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران، بزرگ‌ترین و مرتفع‌ترین دریاچه داخلی ایران، است. این دریاچه در بین آذربایجان شرقی و غربی، در گودترین بخش آن، میان کوه‌های سبلان، سهند، میشوداغ، مهاباد، تخت سلیمان و ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه واقع شده و تنها دریاچه قابل کشتی‌رانی ایران می‌باشد. دریاچه ارومیه پس از بحرالامیت اردن، شورترین دریاچه جهان است. دریاچه ارومیه یکی از چاله‌های تکتونیکی و گودال کشیده‌ای است که در مغرب فلات آذربایجان از شمال به جنوب کشیده شده است که با ابعاد بزرگی، آب‌های حوضه‌ای به مساحت ۳۵۰۰۰ کیلومتر مربع از فلات آذربایجان را به خود اختصاص داده و به‌طور طبیعی موجبات تقسیم آذربایجان به دو قسمت شرقی و غربی را فراهم ساخته است (شکل ۱). دریاچه ارومیه بین ۳۷ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۶ درجه طول شرقی قرار گرفته است (نادر صفت، ۱۳۹۰).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

#### ۴- روش تحقیق

رویکرد حاکم بر پژوهش حاضر توسعه‌ای - کاربردی و روش انجام آن توصیفی - تحلیلی می‌باشد. با توجه به موضوع تحقیق و در راستای اهداف تعریف شده در این تحقیق از تصویر ماهواره‌ای با مشخصات مندرج در جدول (۱) و نرم‌افزارهای Google Earth، ENVI4.8، ArcGIS10.2 استفاده شده است. برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت اجرای تکنیک‌ها باید تمامی تصاویر، مختصات یکسان داشته باشند. تکنیک‌های سنجش از دور مخصوصاً روش‌هایی که برای طبقه‌بندی کاربری اراضی و آشکارسازی تغییرات استفاده می‌شود، معمولاً بر اساس پیکسل‌های مشابه در تصاویر چندزمانه پایش و تحلیل می‌شوند؛ از این رو اگر در مرحله پیش‌پردازش و تصحیحات، تصاویر به نحو شایسته‌ای تصحیح هندسی و رادیومتریک نشوند، دقت تحقیق کاهش می‌یابد (ربیعی، ۱۳۸۴). بدین ترتیب، تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۱۶، ۲۰۱۹م با برداشت ۲۰ نقطه کنترل از سطح تصویر با روش تصویر به تصویر با خطای RMS معادل ۰/۴۲ پیکسل زمین مرجع گردیدند. در تصحیح هندسی، سعی گردید که نقاط کنترل زمینی از پراکنش مناسبی در سطح تصویر برخوردار باشد؛ تا مدل ریاضی که برای محاسبه ضرایب مجهول در معادله مورد استفاده قرار می‌گیرد، خطای کمتری داشته باشد. برای تبدیل مختصات تصویر تصحیح‌شده به تصویر تصحیح‌نشده، از تابع درجه دوم استفاده گردید و برای نمونه‌گیری مجدد ارزش

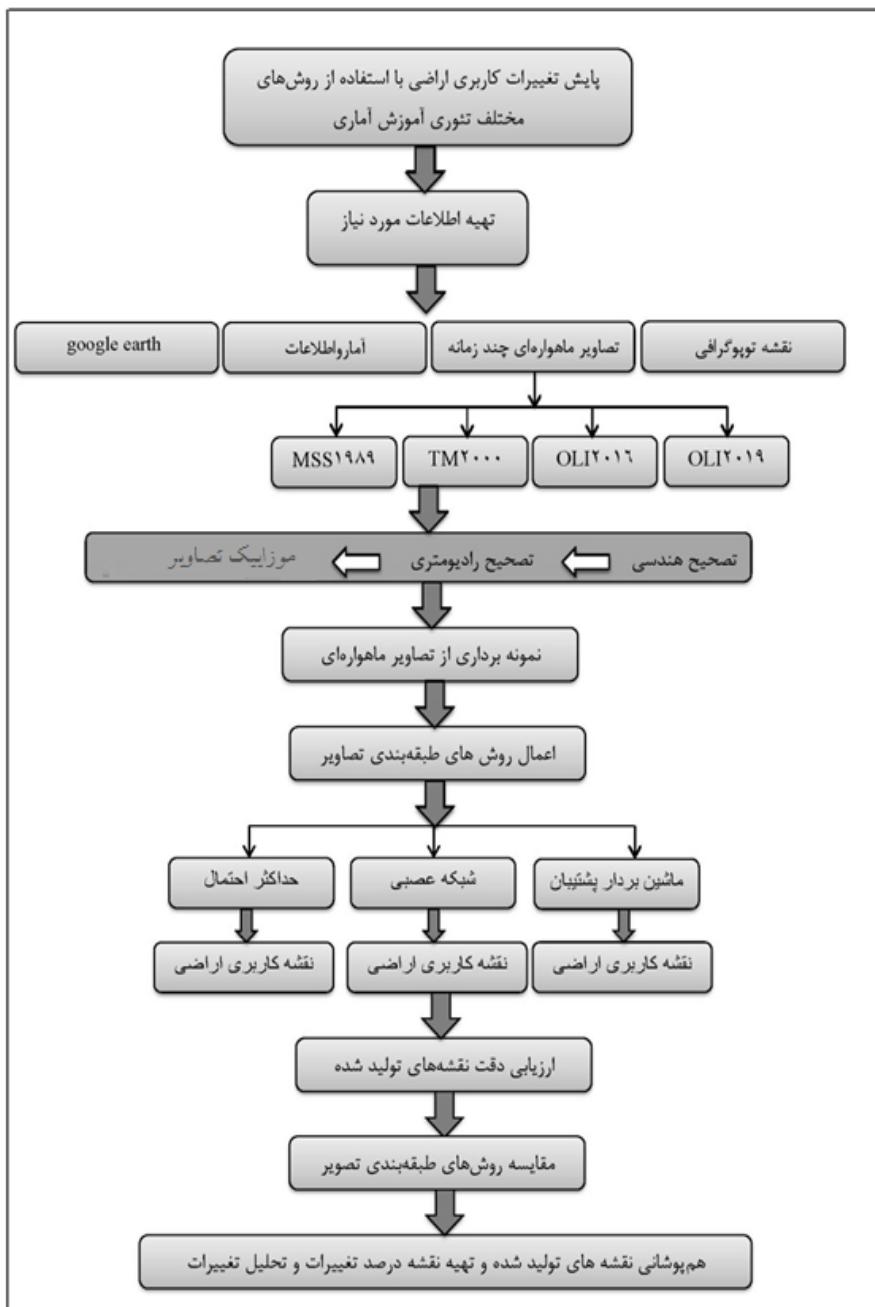


پیکسل‌های تصویر تصحیح نشده از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد و سعی گردید تا خطاهای RMS تا حد امکان یکی باشد. در این مطالعه، از روش کاهش ارزش عددی پیکسل‌های تیره برای تصحیح رادیومتری تصاویر استفاده شده است. در این روش، یک مقدار ثابتی از ارزش کل پیکسل‌ها در یک باند مشخص کاسته می‌شود تا تصحیحات رادیومتری بر روی هر تصویر ماهواره‌ای اعمال شود. در مرحله بعد، به علت واقع شدن محدوده مورد مطالعه در دو زن (۳۴-۱۶۸ ۱۶۹-۳۴) تصاویر موزاییک شدند. سپس با استفاده از بازدیدهای میدانی و دستگاه موقعیت یاب جهانی، نمونه‌های تعلیمی برای هر کاربری (دریاچه، کشاورزی، شورزار، سایر اراضی) در محدوده مورد مطالعه مشخص شد. گفتی است با توجه به اینکه برداشت نقاط کنترلی در سال ۱۳۹۹ انجام شده و تصاویر مورد استفاده مربوط به سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ م می‌باشد، امکان تغییراتی در کاربری اراضی بین این مقطع زمانی وجود داشت. بنابراین نقاط به صورت بصری با تصاویر مورد استفاده مقایسه شد و برخی از آن‌ها که مشکوک به تغییر کاربری بود حذف گردید. تعدادی از نقاط برداشت شده به منظور آموزش و مابقی برای صحت سنجی طبقه‌بندی انجام شده مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق، طبقه‌بندی با استفاده از سه الگوریتم نظارت شده (شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال) تهیه گردید. به منظور بررسی دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر از معیارهای ارزیابی (دقت تولیدکننده، دقت کاربر، صحت کلی، ضریب کاپا) استفاده شد. پس از طبقه‌بندی، نقشه تغییرات رخ داده در منطقه تهیه شد و پهنه‌های تغییر یافته در دوره تحقیق مشخص و معرفی شدند. شکل (۲) نمودار جریانی مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

تصویر image	سنجنده Sensor	تاریخ به میلادی Data/ ad		شماره ردیف row	شماره گذر pass	
Landsat	MSS	1989/05/4	1989/05/2	34	169	168
Landsat	TM	2000/04/15	2000/04/11	34	168	168
Landsat	OLI	۲۰۱۶/۰۷/۸	۲۰۱۶/۰۷/۶	34	168	168
Landsat	OLI	2019/04/10	2019/04/12	34	168	168

#### 1. Mosaicking



شکل ۲- مدل مفهومی پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

## پیش پردازش تصاویر

مرحله پیش پردازش داده‌ها، یکی از مهم‌ترین مراحل در پردازش تصاویر است، چرا که تمامی محاسبات بعدی براساس تصویر تولیدی در این مرحله انجام می‌گیرد. نوع و نحوه انجام این عملیات بسته به عوامل مختلفی چون نوع داده‌های مورد استفاده و هدف تحقیق، متغیر خواهد بود (چاندر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

## تصحیح هندسی

برای تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای معمولاً از دو روش استفاده می‌شود. اگر لازم باشد تصاویر به صورت منفرد مورد استفاده قرار گیرند، از روش ثبت تصویر به نقشه<sup>۲</sup> استفاده می‌شود و اگر قرار باشد که از تصاویر چندزمانه استفاده شود، از روش ثبت تصویر به تصویر<sup>۳</sup> استفاده می‌شود (علوی پناه، ۱۳۸۴). در این تحقیق، از روش دوم استفاده شده است به این صورت که تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۱۶، ۲۰۱۹م با برداشت ۲۰ نقطه کنترل از سطح تصویر با روش تصویر به تصویر با خطای RMS معادل ۰/۴۲ پیکسل زمین مرجع گردیدند. در تصحیح هندسی، سعی گردید که نقاط کنترل زمینی از پراکنش مناسبی در سطح تصویر برخوردار باشد؛ تا مدل ریاضی که برای محاسبه ضرایب مجهول در معادله مورد استفاده قرار می‌گیرد، خطای کمتری داشته باشد. برای تبدیل مختصات تصویر تصحیح شده به تصویر تصحیح نشده، از تابع درجه دوم استفاده گردید و برای نمونه‌گیری مجدد ارزش پیکسل‌های تصویر تصحیح نشده از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد و سعی گردید تا خطاهای RMS تا حد امکان یکی باشد.

## تصحیح اتمسفری

گام اول در تهیه نقشه کاربری اراضی، انجام تصحیحات اتمسفری بر روی تصاویر می‌باشد. ارزش عددی هر پیکسل در تصاویر حاصل از سنجش از دور، ثبت واقعی تابندگی سطح زمین نیست، زیرا بر اثر جذب، بازتابش‌ها تضعیف شده و یا اینکه بر اثر پراکنش، مسیر آن تغییر می‌کند. بر این اساس، تصحیحات اتمسفری بر روی تصاویر انجام می‌شود. در این مطالعه، از روش کاهش ارزش عددی پیکسل‌های تیره برای تصحیح اتمسفری تصاویر استفاده شده است. در این روش، یک

---

1. Chander  
2. Image to Map Registration  
3. Image to Image Registration



مقدار ثابتی از ارزش کل پیکسل‌ها در یک باند مشخص کاسته می‌شود تا تصحیحات اتمسفری بر روی هر تصویر ماهواره‌ای اعمال شود (چاوز<sup>۱</sup>، ۱۹۸۸).

### طبقه‌بندی تصاویر

جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال استفاده گردید. به این ترتیب که برای کاربری‌های موجود در منطقه با استفاده از بازدیدهای میدانی و دستگاه موقعیت‌یاب جهانی نمونه‌های تعلیمی برای هر کاربری در منطقه تهیه گردید. بخشی از نمونه‌ها جهت آموزش تصویر ماهواره‌ای و بخشی از آن برای برآورد صحت نتایج حاصل از الگوریتم‌های طبقه‌بندی مذکور به کار گرفته شده است.

### معیارهای ارزیابی دقت و صحت طبقه‌بندی

در این تحقیق به منظور بررسی دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر از معیارهای ارزیابی به شرح زیر استفاده شد:

#### ۱- ماتریس خطا

در این روش، فایل نمونه‌برداری که متشکل از ارزش‌های تمامی پیکسل‌های کلاس‌های تعریف شده است، با تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از همان فایل استفاده شده تلافی داده می‌شود. در این صورت، تک‌تک پیکسل‌های نمونه‌برداری شده با کلاس‌های طبقه‌بندی شده تلافی می‌یابد؛ در نتیجه امکان بررسی صحت طبقه‌بندی پیکسل‌ها فراهم می‌گردد (علوی‌پناه، ۱۳۸۲). به منظور تعیین دقت طبقه‌بندی، برداشت زمینی موقعیت کاربری‌ها با GPS انجام گرفت که به‌عنوان داده‌های مرجع برای مقایسه با تصویر طبقه‌بندی شده به کار گرفته شد. همچنین از موارد طبقه‌بندی شده و کلاس‌های مشابه هم برداشت به عمل آمد و جدول ماتریس خطا تشکیل گردید.

#### ۲- دقت کلی

میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد. دقت کلی طبق رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود. که در آن C: تعداد کلاس‌ها N: تعداد کل پیکسل‌های معلوم  $E_{ii}$ : اعضای قطری ماتریس خطا

$$O.A = \frac{\sum_{n=1}^c E_{ii}}{N} \times 100 \quad \text{رابطه (16)}$$

1. chavez

### ۳- دقت تولیدکننده و کاربر

دقت تولیدکننده، احتمال اینکه طبقه‌بندی کننده پیکسلی را به یک کلاس خاص نسبت داده باشد در صورتی که کلاس واقعی آن مشخص باشد، را بیان می‌کند. به بیان دیگر نسبت عنصر قطری هر کلاس به جمع مقادیر هر ستون (هر کلاس) می‌باشد. در صورتی که دقت کاربر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی را بیان می‌کند. به بیان دیگر نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به مجموع پیکسل‌های یک سطر (کلاس) می‌باشد (اکبری و شکاری، ۱۳۹۲).

### ۴- ضریب کاپا

ضریب کاپا یکی دیگر از پارامترهای دقت است که از ماتریس خطا استخراج می‌شود و دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (فاطمی رضایی، ۱۳۸۹). این ضریب با استفاده از رابطه (۱۷) به دست می‌آید:

نقاط واقعیت زمینی با تصویر طبقه‌بندی شده مقایسه و ضریب کاپا برای هر طبقه و کاپای کلی محاسبه می‌شود. هر قدر ضریب کاپا به یک نزدیک‌تر نشان‌دهنده صحت بالای طبقه‌بندی است (سینگ و پونیا، ۲۰۱۸).

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad \text{رابطه (17)}$$

در این معادله،  $N$  تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی (پیکسل‌های نمونه تعلیمی)  $r$  تعداد ردیف‌های جدول خطا،  $x_{ij}$  تعداد مشاهدات مربوط به ردیف  $i$  و ستون  $j$  (در روی قطر بزرگ)،  $x_{i+}$  مشاهدات در ردیف  $i$  و  $x_{+i}$  کل مشاهدات در ستون  $i$  است.

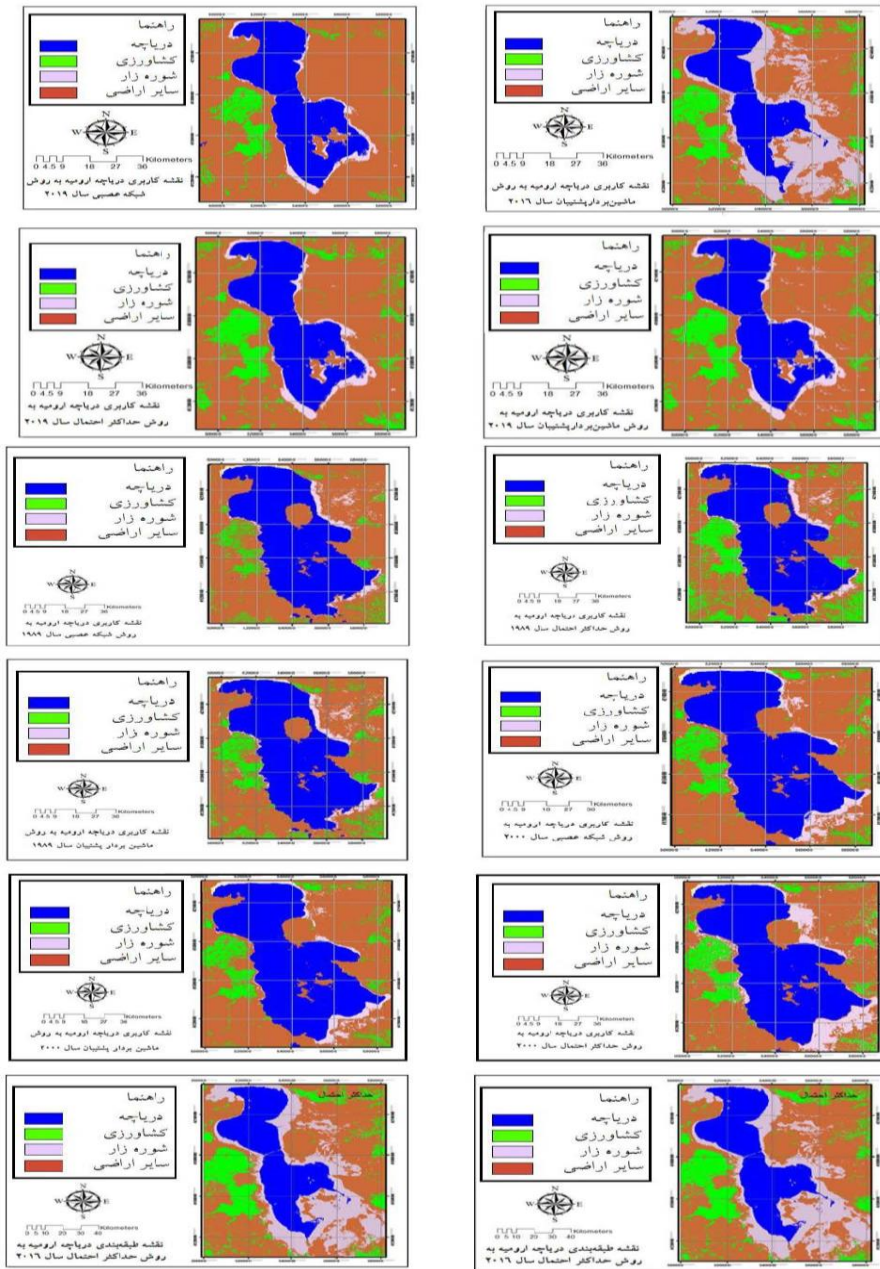
### ۵- آشکارسازی تغییرات

پس از اینکه نقشه کاربری اراضی هر دوره استخراج شد، اقدام به تهیه نقشه‌های آشکارسازی تغییرات شد. در تهیه نقشه‌های تغییرات، نقشه‌های کاربری اراضی هر دوره با هم مقایسه و در مجموع ۳ نقشه تولید شد. پس از اینکه نقشه‌های تغییرات هر دوره تهیه شد نسبت به محاسبه مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی اقدام شد.

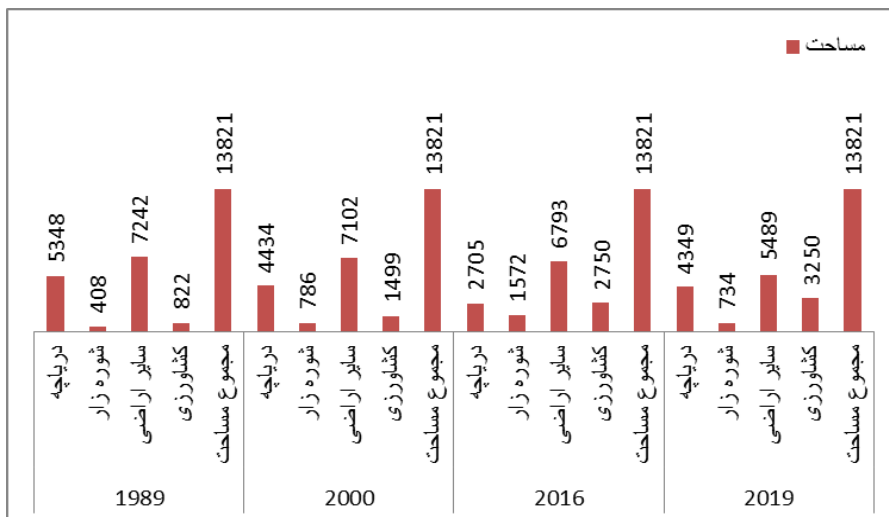


## نتایج و بحث

پس از اعمال الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، بر روی تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹ م نقشه‌های کاربری اراضی تهیه گردید (شکل ۵). سپس دقت طبقه‌بندی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انجام این کار نمونه‌های تعلیمی از سطح منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شده است. پس از پیاده‌سازی نمونه‌های تعلیمی بر سطح تصویر، ماتریس خطای طبقه‌بندی، مشخصات آماری دقت تولیدکننده، دقت استفاده‌کننده، صحت کلی و ضریب کاپا برای هر کدام از کلاس‌ها تعیین گردید. نتایج حاصل در جدول (۲) ارائه شده است. سپس مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی محاسبه گردید و در شکل (۶) ارائه شده است. نتایج حاصل از آنالیزهای آماری ضرائب صحت نشان داد که روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با ضریب کاپای ۹۹،۵۷ درصد در مقایسه با سایر روش‌ها دارای دقت بیشتری می‌باشد. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی نقشه تغییرات کاربری اراضی تهیه گردید (شکل ۷). پس از اینکه نقشه‌های تغییرات هر دوره تهیه شد نسبت به محاسبه مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی اقدام شد. نتایج حاصل از تغییرات هر کاربری در شکل (۸) آورده شده است.



شکل ۳- نقشه‌های کاربری تولید شده با استفاده از سه روش حداکثر احتمال، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان برای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۴- مساحت طبقه‌های مختلف کاربری اراضی (کیلومتر مربع) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

#### مقایسه روش‌ها در ارزیابی طبقه‌بندی:

در این مطالعه، از سه روش طبقه‌بندی نظارت شده (شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال) جهت استخراج نقشه کاربری اراضی استفاده شده است. با انجام مقایسه دقت طبقه‌بندی حاصل از روش‌های ذکر شده جدول (۲) مشخص گردید که روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با ضریب کاپای ۹۹/۷۵ درصد نسبت به سایر روش‌ها دارای دقت بیشتری می‌باشند. با توجه به نتایج گرفته شده هر دو روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی روش‌هایی دقیق برای استخراج کاربری‌های اراضی و در تفکیک پدیده‌هایی که رفتار طیفی نزدیک دارند بسیار موفق عمل می‌کنند و به‌خصوص ماشین بردار پشتیبان که اندکی موفق‌تر عمل کرد.



جدول ۲- ضرائب صحت الگوریتم‌های طبقه‌بندی در محدوده مورد مطالعه

سال	روش طبقه‌بندی	نوع کاربری اراضی	دقت تولید کننده	دقت کاربر	صحت کلی	ضریب کاپا
سال ۱۹۸۹	ماشین بردار پشتیبان	دریاچه	100	100	99.98	0.9997
		اراضی کشاورزی	100	100		
		شوره‌زار	99.93	100		
		سایر اراضی	100	99.95		
	شبکه عصبی	دریاچه	100	100	0.9989	0.9985
		اراضی کشاورزی	100	100		
		شوره‌زار	99.58	100		
		سایر اراضی	100	99.73		
	حداکثر احتمال	دریاچه	100	100	0.9984	0.9977
		اراضی کشاورزی	100	100		
		شوره‌زار	99.44	99.93		
		سایر اراضی	99.95	99.64		
سال ۲۰۰۰	ماشین بردار پشتیبان	دریاچه	100	99.11	99.23	0.9831
		اراضی کشاورزی	93.17	89.16		
		شوره‌زار	92.82	99.76		
		سایر اراضی	99.54	99.42		
	شبکه عصبی	دریاچه	99.81	99.95	99.10	0.9758
		اراضی کشاورزی	99.26	47.79		
		شوره‌زار	100	18.53		
		سایر اراضی	98.89	99.95		
	حداکثر احتمال	دریاچه	100	97.83	95.24	0.9133
		اراضی کشاورزی	86	30.49		
		شوره‌زار	98.56	96.02		
		سایر اراضی	90.42	99.38		

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



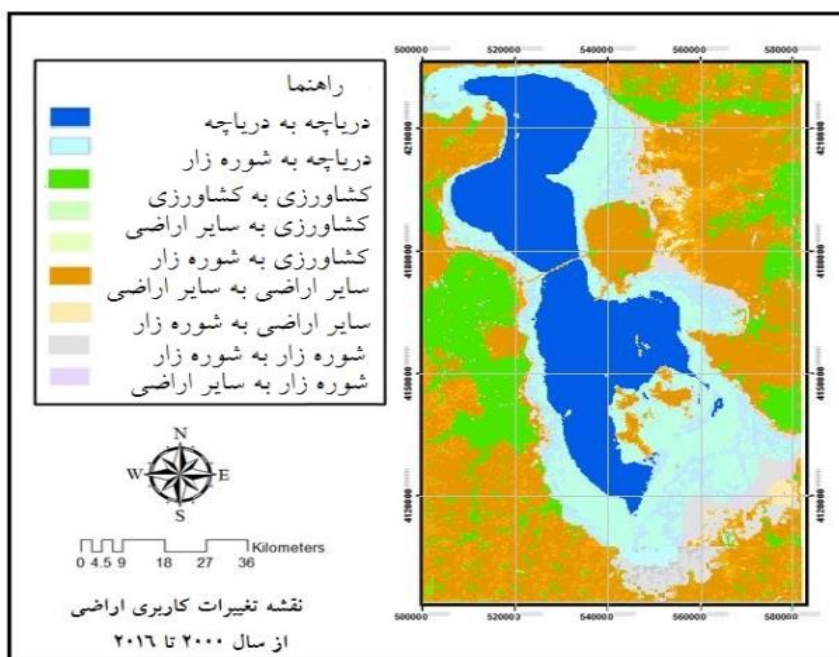
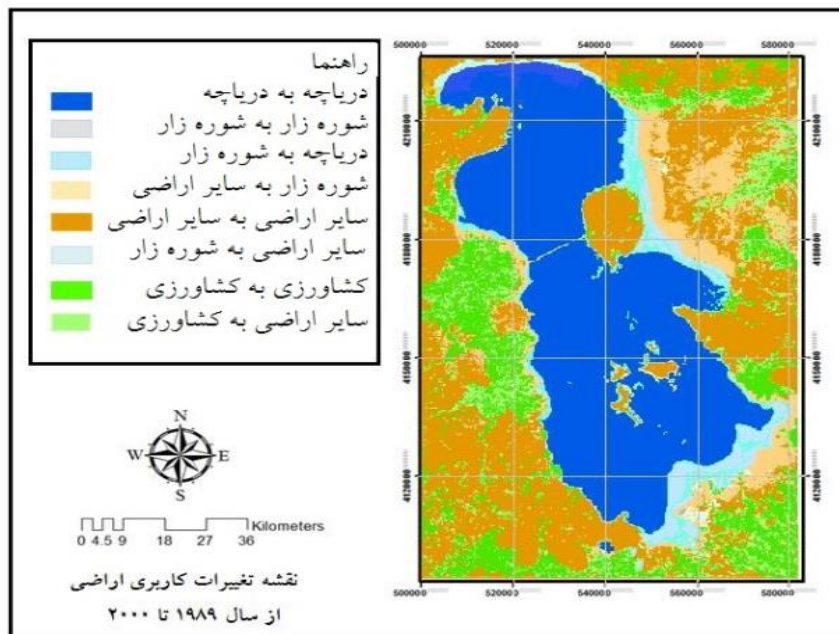
ادامه جدول ۲- ضرائب صحت الگوریتم‌های طبقه‌بندی در محدوده مورد مطالعه

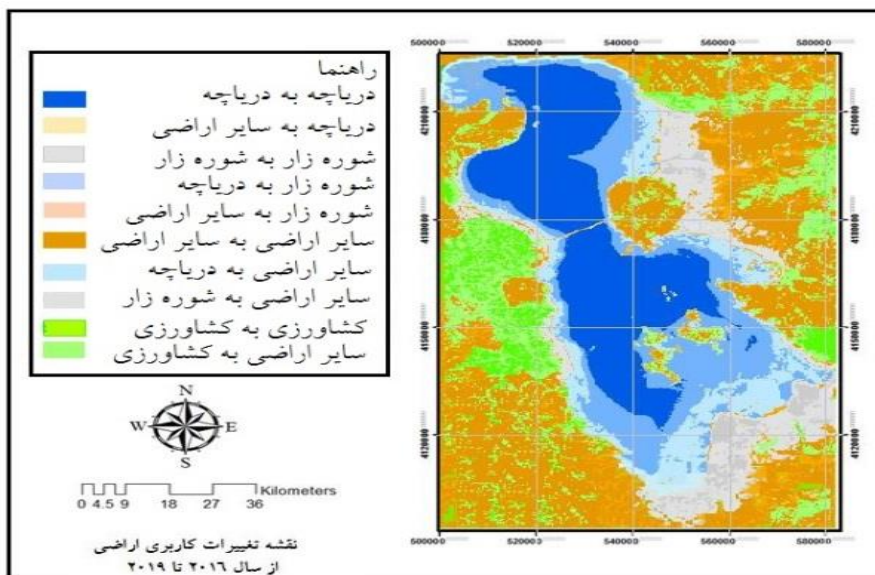
سال	روش طبقه‌بندی	نوع کاربری اراضی	دقت تولید کننده	دقت کاربر	صحت کلی	ضریب کاپا
۲۰۱۶	ماشین بردار پشتیبان	دریاچه	99.94	100	99.72	0.9957
		اراضی کشاورزی	98.74	97.17		
		شوره‌زار	100	99.48		
		سایر اراضی	99.28	99.83		
	شبکه عصبی	دریاچه	98.42	99.99	99.12	0.9866
		اراضی کشاورزی	98.71	98.33		
		شوره‌زار	100	99.92		
		سایر اراضی	99.79	97.47		
	حداکثر احتمال	دریاچه	98.41	99.97	99.07	0.9858
		اراضی کشاورزی	98.31	98.11		
		شوره زار	99.88	99.95		
		سایر اراضی	99.77	97.37		
۲۰۱۹	ماشین بردار پشتیبان	دریاچه	100	99.90	99.51	0.9765
		اراضی کشاورزی	91.45	90.86		
		شوره‌زار	99.07	99.98		
		سایر اراضی	99.71	99.74		
	شبکه عصبی	دریاچه	99.73	100	99.42	0.9650
		اراضی کشاورزی	99.23	61.79		
		شوره‌زار	99.85	99.52		
		سایر اراضی	99.40	99.97		
	حداکثر احتمال	دریاچه	99.85	99.99	99.39	0.9634
		اراضی کشاورزی	97.08	60.74		
		شوره‌زار	99.20	99.77		
		سایر اراضی	99.39	99.95		

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

## تغییرات کاربری اراضی

پس از اینکه نقشه کاربری اراضی هر دوره استخراج شد، اقدام به تهیه نقشه‌های آشکارسازی تغییرات شد. در تهیه نقشه‌های تغییرات، نقشه‌های کاربری اراضی هر دوره با هم مقایسه و در مجموع ۳ نقشه تولید شد. پس از اینکه نقشه‌های تغییرات هر دوره تهیه شد نسبت به محاسبه مساحت هریک از کلاس‌های کاربری اراضی اقدام شد. بررسی تغییرات محدوده دریاچه ارومیه مشخص می‌کند که با مقایسه سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰، مساحت دریاچه ۹۱۵ کیلومتر مربع کاهش و در طی همان مدت مساحت کاربری شوره‌زار ۳۷۸ کیلومتر مربع افزایش یافته است. از طرف دیگر، فعالیت کشاورزی در پیرامون دریاچه ۶۷۷ کیلومتر مربع افزایش یافته است. روند کاهش مساحت دریاچه ارومیه، طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶م شدت یافته به طوری که مساحت دریاچه از حدود ۴,۴۳۴ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۰م به ۲,۷۰۵ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۶م کاهش یافته است. همچنین کاربری کشاورزی ۱,۲۵۱ کیلومتر مربع افزایش داشته است. روند رشد کاربری کشاورزی در مقایسه با گذشته نشان می‌دهد که فعالیت‌های نسنجیده اقتصادی عاملی تأثیرگذار در برداشت آب‌های زیرزمینی و کاهش منبع تغذیه دریاچه ارومیه بوده است. بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی، حفر چاه‌های بی‌شمار و بدون نظارت و برداشت بی‌رویه از سفره‌های آبی برای مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی باعث پایین رفتن سطح ایستابی و کاهش میزان تغذیه دریاچه از طریق جریان‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی و تأثیر گذاری شدید این عامل در روند خشک‌شدن دریاچه ارومیه شده است افزون بر آن، ساخت سدهای فراوان در حوضه آبریز دریاچه ارومیه عامل تشدیدکننده کاهش میزان آب ورودی به دریاچه بوده است (مالیان و همکاران، ۱۳۹۵). سطح دریاچه سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹م به دلیل بارش‌های شدید مقطعی دارای ۱۶۴۴ کیلومتر مربع افزایش مساحت آبی بوده است. تغییرات دریاچه ارومیه در سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰-۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ و ۲۰۱۶-۲۰۱۹م در شکل (۷) و مساحت تغییرات در جدول (۳) ارائه شده است.





شکل ۵- نقشه‌های تغییر کاربری اراضی دریاچه ارومیه طی سال‌های مورد مطالعه

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

جدول ۳- مساحت تغییرات طبقه‌های مختلف کاربری اراضی (کیلومتر مربع)

سال‌های مورد مطالعه	کاربری	مساحت
۱۹۸۹-۲۰۰۰	دریاچه	-915
	شوره زار	378
	سایر اراضی	-140
	کشاورزی	677
۲۰۰۰-۲۰۱۶	دریاچه	-1729
	شوره زار	786
	سایر اراضی	-309
	کشاورزی	1251
۲۰۱۶-۲۰۱۹	دریاچه	1644
	شوره زار	-838
	سایر اراضی	-1304
	کشاورزی	500

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



## نتیجه‌گیری

اطلاعات به‌هنگام و دقیق در مورد پوشش اراضی، مورد نیاز تصمیم‌گیران و محققان در همه سطوح است. با تحقیق و مشاهدات صحرائی و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با صرف کمترین وقت و هزینه می‌توان نقشه پوشش اراضی تولید کرد. امروزه برای تهیه نقشه‌های کاربری زمین‌ها، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های کمی در علم سنجش از دور بسیار معمول است. در این تحقیق ابتدا از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده (MSS-TM-OLI) استفاده و نقشه کاربری اراضی دریاچه ارومیه و پیرامون آن با اعمال طبقه‌بندی نظارت شده (ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی و حداکثر احتمال) استخراج شد. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی تصاویر نشان داد روش ماشین بردار پشتیبان با توجه به صحت کلی و ضریب کاپای بیشتر دارا به دقت طبقه‌بندی بیشتری نسبت به دو روش دیگر می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای از قابلیت بی‌مانندی برای استخراج کاربری‌های اراضی برخوردارند. همچنین، به منظور بررسی روند تغییرات کاربری اراضی، نقشه‌های کاربری استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹ م باهم مقایسه شدند. بررسی نقشه‌های کاربری اراضی در سه دوره ذکر شده، تغییرات بارزی را در پوشش اراضی نشان داد این تغییرات عبارتند از: مساحت کاربری کشاورزی از سال ۱۹۸۹ تا سال ۲۰۱۹ م افزایش چشمگیری داشته که دلیل آن مساعد بودن منطقه برای زراعت، حفر چاه‌های متعدد و استفاده از سفره آب زیرزمینی بوده است. تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره لندست نشان داد که طی سال‌های مورد مطالعه نوسان‌های قابل ملاحظه‌ای در سطح آب دریاچه رخ داده است. به‌طوریکه تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ از ۵,۳۴۸ به حدود ۲,۷۰۵ کیلومتر مربع رسیده است. اما از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ م به دلیل بارش‌های شدید مقطعی دارای ۱,۶۴۴ کیلومتر مربع افزایش مساحت آبی بوده است. همچنین تصاویر نشان می‌دهد که خطوط ساحلی به‌ویژه در شرق و جنوب‌شرقی منطقه مورد مطالعه پس‌روی بسیار قابل توجهی را دارد. به‌طوری که از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰ م مساحت این کاربری ۳۷۸ کیلومتر مربع افزایش داشته است. همچنین طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ م مساحت آن همچنان روند صعودی داشته و به ۷۸۶ کیلومتر مربع افزایش یافته است. اما به دلیل افزایش بارندگی مقطعی طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ م میزان آب دریاچه افزایش یافته و قسمتی از شوره‌زارها به زیر آب رفته‌اند و مساحت کاربری شوره‌زار ۸۳۸ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است. دلیل دقت بالای الگوریتم SVM نسبت به دیگر روش‌ها را می‌توان این‌طور بیان کرد که این روش از لحاظ محاسباتی سریع بوده و همچنین از قوانین بهینه‌سازی جهت مکانیابی مرزهای بهینه‌بین کلاسه‌های کاربری استفاده می‌کند. در نتیجه جایگزین مناسبی برای سایر الگوریتم‌های معمول طبقه‌بندی می‌باشند. از

مزایای دیگر این روش توانایی بالا در استفاده از نمونه‌های تعلیمی کمتر و رسیدن به دقت بالاتر در مقایسه با سایر روش‌های طبقه‌بندی است. از جمله قابلیت‌های ماشین بردار پشتیبان، توانایی غلبه بر مشکل توزیع غیر خطی داده‌های آموزشی است. در این حالت با استفاده از توابع کرنل، داده‌ها به فضایی با بُعد بزرگتر انتقال می‌یابند که در آن تفکیک‌پذیری بهتر انجام می‌شود و ابررویه جداکننده در آن فضا تعیین می‌شود. برای محاسبه مرز تصمیم‌گیری دو کلاس کاملاً جدا از هم، از روش حاشیه‌بینه استفاده می‌شود. این حاشیه به گونه‌ای محاسبه می‌شود که تمام نمونه‌های کلاس +1 در یک طرف مرز و تمام نمونه‌های کلاس -1 در طرف دیگر مرز واقع شوند و مرز تصمیم‌گیری به گونه‌ای می‌باشد که فاصله نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی هر دو کلاس از هم در راستای عمود بر مرز تصمیم‌گیری تا جایی که ممکن است حداکثر شود، اگر بخواهیم مرز تصمیم‌گیری را به‌طور موازی توسط دو خط از دو طرف گسترش دهیم تا از بین نزدیکترین نمونه‌های دو کلاس بگذرد مرز تصمیم‌گیری بهینه (hyperplane Optimal) به وجود می‌آید که مرزی است که بیشترین فاصله بین نمونه‌های دو کلاس وجود دارد. آن دو خط موازی را مرز حاشیه‌ای (hyperplanes Marginal) می‌نامیم.

## منابع

- آرخی، صالح. ادیب نژاد، (۱۳۹۰). ارزیابی کارایی الگوریتم‌های ماشین بردار جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM لندست (مطالعه موردی: حوزه سد ایلام)، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران.
- اکبری، علی. شکاری، الهه (۱۳۹۲). پردازش و استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار ENVI با نمونه‌های کاربردی در علوم زمین، نقشه‌برداری، جغرافیا و محیط‌زیست، انتشارات ماهواره، جلد اول.
- دهستانی، غلامرضا (۱۳۷۷). طبقه‌بندی تصاویر چندطیفی سنجش از دور با استفاده از شبکه عصبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- رضائی مقدم، محمد حسین. ولی‌زاده کامران، خلیل. رستم‌زاده، هاشم. رضائی، علی (۱۳۹۱). ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده MODIS در برآورد خشکسالی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه)، جغرافیا و توسعه پایدار محیط، شماره ۵، صص ۳۷-۵۲.
- ربیعی، حمیدرضا. ضیائی، پرویز. محمدی، عباسعلی (۱۳۸۴). کشف و بازیابی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان به کمک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه مدرس علوم انسانی، شماره ۴، صص ۱۹-۳۲.



- سنجری، صالح. برومند، ناصر (۱۳۹۲). پایش تغییرات کاربری/ پوشش اراضی در سه دهه گذشته با استفاده از تکنیک سنجش از دور (مطالعه موردی: منطقه زرنده استان کرمان)، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، سال چهارم، شماره ۱، صص ۶۷-۵۷.
- سادات ابراهیمی، فریده و اردوان کمالی (۱۳۹۶). «پیش‌بینی تغییرات احتمالی کاربری اراضی دشت جوپار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای CA-Markov». نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، ۲۴. صص ۲۹۵-۲۷۱.
- شمسی‌پور، علی اکبر؛ حیدری، سوسن و کیوان باقری (۱۳۹۶). «پایش روند تغییرات پوشش زمین در شهر کرمانشاه با مدل مارکوف CA». پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، صص ۴۹۵-۵۱۴.
- شنایی، هویزه. زارعی، حیدر (۱۳۹۵). بررسی تغییرات کاربری اراضی طی دو دهه دوره زمانی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ابوالعباس)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۱۴، صص ۲۳۷-۲۴۴.
- علی محمدی، عباس؛ موسیوند، علی جعفر و شایان سیاوش (۱۳۸۹). «پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره مارکوف» نشریه برنامه‌ریزی و آمایش فضا. د ۱۴. ش ۳. صص ۱۱۷-۱۳۰.
- عبدالهی، علی اصغر؛ خبازی، مصطفی و درانی زهرا (۱۳۹۹). «مدلسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون (مطالعه موردی: شهر لاهیجان)» نشریه برنامه‌ریزی و آمایش فضا. د ۲۴. ش ۱، صص ۴۹-۷۹.
- علوی‌پناه، سید کاظم (۱۳۹۷). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۴۹۶.
- فاطمی، سید باقر. رضایی، یوسف (۱۳۸۹). مبانی سنجش از دور، چاپ دوم، انتشارات آزاده، تهران.
- فتحیان، فرشاد. مرید، سعید (۱۳۹۱). بررسی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های غیر پارامتری، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، صص ۲۵۹-۲۶۹.
- قربانی، مهدی. نظری سامانی، علی اکبر. کوهبنانی، حمیدرضا. اکبری، فاطمه؛ جلیلی پروانه، زهرا (۱۳۸۹). ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان.



- کشاورز، احمد و قاسمیان یزدی، محمد حسین (۱۳۸۴). یک الگوریتم سریع مبتنی بر ماشین بردار پشتیبان برای طبقه بندی تصاویر ابر طیفی با استفاده از همبستگی مکانی، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران. صص ۳۷-۴۴.
- مالیان، عباس. محمدی، علی. محمدی، عباس علی. ولی‌اللهی، جلال (۱۳۹۵). آشکارسازی و پیش‌بینی روند تغییرات دریاچه ارومیه و محیط پیرامونی آن طی نیم قرن گذشته برپایه تحلیل‌های مکان مبنای دور کاوی، هیدروژئومورفولوژی. شماره ۹، صص ۴۳-۶۲.
- مسیبی، مرضیه‌ملکی، محسن (۱۳۹۳). پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی شهرستان اردبیل)، فصلنامه سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. سال پنجم، شماره ۱.
- محمدیاری، فاطمه. پورخباز، حمیدرضا. توکلی، مرتضی. اقدر، حسین (۱۳۹۳). تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۳، شماره ۹، صص ۲۳-۳۴.
- محمدی، مجید؛ امیری، مجتبی و جعفر دستورانی (۱۳۹۴). «مدلسازی و بررسی تغییرات کاربری اراضی شهرستان رامیان در استان گلستان». نشریه برنامه‌ریزی و آمایش فضا. ج ۱۹. د ۱۹. ش ۴. صص ۱۴۱-۱۵۸.
- نادر صفت، محمد حسین (۱۳۹۰). ویژگی‌های ژئومورفولوژی دریاچه ارومیه و تأثیر آن در اکوسیستم این منطقه، مجله دانشنامه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- یوسفی، صالح. مرادی، سید حسینی. میرزایی، سمیه (۱۳۹۰). پایش تغییرات کاربری اراضی، مریوان مجله کاربرد سنجنش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، سال چهارم، شماره ۱، صص ۹۷-۱۰۵.
- Arekhi, S., and Adibnejad, M. (2011). Efficiency assessment algorithms, support vector machines to classify land use and desertification of pasture research, the eighteenth year, No. 3(44). (In Persian).
- Akbari, Ali. Shakari, Elahe (2013). Processing and extracting information from satellite data using ENVI software with applied examples in Earth Sciences, Mapping, Geography and Environment, Satellite Publications, Volume One. (In Persian).



- -Ali Mohammadi, Abbas; Musavand, Ali Jafar and Shayan Siavash (2010). "Predicting land use change and land cover using satellite images and Markov chain model" Journal of Spatial Planning and Planning. (In Persian).
- - Abdollahi, Ali Asghar; Khabazi, Mostafa and Durrani Zahra (1399). "Modeling Land Use Change Using Perspective Neural Network (Case Study: Lahijan City)" Journal of Spatial Planning and Planning. D 24. Sh1, pp. 79-49. (In Persian).
- Bhagawat, R. (2013). Application of remote sensing and gis, land use/land cover change in kathmando metropolitan city, Nepal Journal of Theoretical and Applied Information Tech. 3: 2-7.
- Dehestani, Gholamreza (2000). Classification of multi-spectral images of remote sensing using neural network, Master's thesis, Tarbiat Modares University. (In Persian).
- Esam, I., F. Abdalla and N. Erich (2012). Land Use and Land Cover Changes of West Tahta Region, Sohag Governorate, Upper Egypt, Journal of Geographic Information System, 4: PP. 483-493.
- Feyzizadeh, B., Azizi, H. & Valizadeh, K.KH., 2007, Extraction Land Uses Malekan City Using Satellite Images EThr (In Persian), Amayesh, Vol. 2, No.3, PP. 1-10.
- Fatemi, Seyed Baqer. Rezaei, Yousef (2010). Fundamentals of Remote Sensing, Second Edition, Azadeh Publications, Tehran.
- Fathian, Farshad. Marid, Saeed (2012). Investigation of meteorological and hydrological variables of Urmia Lake basin using non-parametric methods, Iranian Journal of Soil and Water Research, pp. 269-259. (In Persian).
- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote sensing of environment, 113(5), 893-903.

- Chavez jr. P.S.( 1988).An Improved Dark-Object Subtraction Technique for AtmosPheric Scattering Correction of Multispectral Data. Remote Sensing of Environment, 24:459-479.
- Ildermi, A., Nouri, H., Naderi, M., Aghabeigi, S., Zaini Wand, H., 2017. Forecasting Land Use Change Using Markov Chain Model and CA Markov (Case Study: Green Watershed). Watershed Management Research. 8 (16): 232-240. (in persian).
- Ghorbani, Mehdi. Nazari Samani, Ali Akbar. Kuhbanani, Hamidreza. Akbari; Fatima ; Jalili Parvaneh, Zahra (2010). Assessing the trend of land use change in Taleghan watershed, Proceedings of the 4th International Congress of Geographers of the Islamic World, Zahedan. (In Persian).
- Keshavarz, Ahmad and Qasemian Yazdi, Mohammad Hossein (2005). A fast algorithm based on support vector machine for classifying spectral cloud images using spatial correlation, Iran Journal of Electrical Engineering and Computer Engineering pp. 37-44. (In Persian).
- Liu, T., and X. Yang (2015). Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics. Applied Geography, 56: 42-54.
- Malian, Abbas. Mohammadi, Ali. Mohammadi, Abbas Ali. Vali Elahi, Jalal (2016). Revealing and predicting the changes in Lake Urmia and its surroundings over the past half century based on the analysis of the location of Durkhevi, hydrogeomorphology. No. 9, pp. 62-43. (In Persian).
- Mosayebi, Marzieh. Maleki, Mohsen (2014). Monitoring land use changes using remote sensing data and geographic information system (a case study of Ardabil city), remote sensing quarterly and geographic information system in natural resources. Fifth Year, No. 1. (In Persian).



- Mohammadi, Majid; Amiri, Mojtaba and Jafar Farmanani (2015). "Modeling and reviewing land use changes in Ramian city in Golestan province". Journal of Spatial Planning and Planning, Vol. 19., 19. 4. pp. 158-141. (In Persian).
- Mohammadyari, Fatemeh. Pourkhabaz, Hamidreza. Tavakoli, Morteza. Iqdar, Hussein (2013). Preparation of vegetation map and monitoring of its changes using remote sensing techniques and geographical information system) Case study: Behbahan city (, Sepehr Geographical Information Scientific-Research Quarterly, Volume 23, Number 9, pp. 23-34. (In Persian).
- Nader Sefat, Mohammad Hossein (2010). Characteristics of Geomorphology of Urmia Lake and its effect on the ecosystem of this region, Journal of Geography, Islamic Azad University, Science and Research Branch. (In Persian).
- Rawat, J.D., Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India, The Egeptyan Journal of Resmoet Senaing and space scinces, 18: PP. 77-84.
- Richards J., A. (2013). Remote sensing digital image analysis, fifth edition, springer, 494 p.
- Rezaei Moghaddam, Mohammad Hussein. Valizadeh Kamran, Khalil. Rostamzadeh, Hashem. Rezaei, Ali (2012). Evaluating the Efficiency of MODIS Measuring Data in Drought Assessment (Case Study: Urmia Lake Basin), Geography and Sustainable Environmental Development, No. 5, pp. 52-37 . (In Persian).
- Rabiee, Hamidreza. Ziaian, Parviz. Mohammadi, Abbas Ali (2005). Discovery and recovery of land use changes and land cover in Isfahan with the help of remote sensing and geographic information system, Quarterly Journal of Humanities Teacher, No. 4, pp. 32-19. (In Persian).

- Şatır, O., & Berberoğlu, S. (2012). Land Use/Cover Classification Techniques Using Optical Remotely Sensed Data in Landscape Planning. Landscape Planning, Dr. Murat Ozyavuz (Ed.), ISBN, 978-953.
- Sanjari, Saleh. Boroumand, Nasser (2013). Monitoring land use change / land cover in the last three decades using remote sensing technique) Case study: Zarand area of Kerman province (Journal of Remote Sensing Application and GIS in Natural Resources Sciences, Fourth Year, No. 1, pp. 67-57). (In Persian).
- Singh, N., & Punia, M. 2018. Geospatial Approach for Land Use/Land Cover Change Prediction: A case study of Bhagirathi Basin, Uttarakhand, INDIA. In 42nd COSPAR Scientific Assembly (Vol. 42).
- Swimming, Hoveyzeh. Zarei, Haidar (2016). Investigation of land use changes during two decades of time period) Case study: Abol Abbas watershed (Research Journal of Watershed Management, No. 14, pp. 244-237). (In Persian).
- Swain, P.H. and S.M. Davis. (1987). Remote Sensing: the Quantitative Approach. McGraw-Hill. USA.
- Shalaby, A., and R. Tateishi. (2007). Remote sensing and for mapping and monitoring land cover and land use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. Applied Geography. 27: 28-41.
- Tayebi, A., Delavar, M.R., Saeedi, S., Amini, J. and Alinia, H ( 2008). Monitoring Land Use Change By Multi-Temporal Landsat Remote Sensing Imagery the International Archives the Photogrammetry. Remote Sensing Information Science. XXXVII Part B7 Beijing.
- Yousefi, Saleh. Moradi, Seyed Hosseini. Mirzaei, Somayeh (2011). Monitoring land use changes in Marivan land in GIS sciences, Applied Journal of Remote Sensing and Landsat Satellite ETM + and TM Using Natural Resource Meters(In Persian).