



شناسایی و استخراج لندفرمها و کاربری‌های اراضی حوضه آبریز قرنقو با استفاده از تکنیک‌های شی‌گرا

صیاد اصغری سراسکانرود^{۱*}، مصطفی امیدفر^۲، احسان قلعه^۳

۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، رشته‌ی ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد، رشته‌ی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳- دانشجوی دکتری، رشته‌ی ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۹

چکیده

شناخت لندفرمها و نحوه پراکنش آنها از نیازهای اساسی در علم ژئومورفولوژی کاربردی و سایر علوم محیطی است و نقشه‌ی لندفرمها نمایانگر اشکال سطح زمین و نیز ماهیت فرآیندهایی است که در زمان حاضر رخ می‌دهند. هدف از این تحقیق، شناسایی لندفرمها و کاربری‌های اراضی حوضه آبریز قرنقو با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی شی‌گرا شامل الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه و آستانه‌گذاری می‌باشد. بدین منظور از تصاویر ماهواره لندست برای بازه‌ی زمانی ۱۹۹۰ (TM) و ۲۰۲۰ (OLI) استفاده شد. برای اعمال طبقه‌بندی در گام نخست تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی بر روی تصاویر اعمال شد و سپس به منظور شناسایی و استخراج بهتر پدیده‌ها از الگوریتم‌های PCA و MNF استفاده شد. برای انجام طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نیز از روش‌های طبقه‌بندی شی‌گرا شامل روش نزدیک‌ترین همسایه و آستانه‌گذاری بهره گرفته شد. برای صحت نقشه‌های تولید شده با استفاده از ضریب کاپا و صحت کلی استفاده گردید. نتایج ارزیابی روش‌های مورد استفاده نشان داد که روش نزدیک‌ترین همسایه دارای دقت بیشتری نسبت به روش آستانه‌گذاری می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از طبقه‌بندی نشان داد که بیشترین میزان تغییرات کاهشی در خلال سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۲۰ مربوط به کاربری مرتع متراکم می‌باشد، چرا که ۱۲/۴۹ درصد کاهش داشته است و بیشترین میزان تغییرات افزایشی مربوط به کاربری زراعت آبی می‌باشد که ۱۰/۸۳ درصد افزایش داشته است که مهم‌ترین علت این افزایش مساحت را می‌توان به احداث سد سهند در طول زمان ارتباط داد.

کلمات کلیدی: ژئومورفولوژی، طبقه‌بندی شی‌گرا، لندفرم، حوضه آبریز قرنقو، شمال غرب ایران.

۱- مقدمه

لندفرم‌ها عنصر مهم چشم‌اندازهای سطح زمین و حاصل عملکرد نیروهای درونی و بیرونی می‌باشند و از این نظر در دو گروه اشکال ساختمانی (مورفوتکتونیک) و اشکال اقلیمی (مورفوکلیماتیک) قابل بررسی‌اند، به عبارت دیگر لندفرم، واحد منفرد و مشخصی است که جزئی از مجموع یا کل اشکال سطح زمین را تشکیل می‌دهد. بنابراین یک کوه منفرد نظیر مخروط آتش‌فشانی، تپه شنی و ماسه‌ای، دره منفرد یا یک چاله انحلالی و غیره همگی لندفرم هستند (رجبی، ۱۳۸۷: ۶۲). تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی یکی از عوامل مهم در تغییر رژیم آب‌شناسی، فرآیندهای فرسایشی و وضعیت تنوع زیستی است. با شبیه‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی و به کارگیری سیاست‌های مدیریتی مؤثر می‌توان در راستای هدایت اکوسیستم به سمت مسیر مطلوب گام برداشت. تغییر کاربری و پوشش اراضی فرآیندی پویا و پیچیده‌ای است که از تلاقی سیستم‌های طبیعی و انسانی به دست می‌آید و اثر مستقیمی بر آب، خاک و هوا دارد. وقوع این پدیده، پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در مقیاس محلی، ناحیه‌ای و جهانی به همراه خواهد داشت (پترسون^۱ و همکاران، ۲۰۰۹: ۹۱۴). بررسی تغییرات کاربری اراضی یکی از پرکاربردترین موضوعات پژوهشی می‌باشد که نظر بسیاری از پژوهشگران را جلب کرده است. توسعه‌ی شهرنشینی در چند سال اخیر به تغییرات گسترده‌ای در اراضی شهر منجر شده و چشم‌انداز این نوع از کاربری‌ها را تغییرات داده است. تغییرات کاربری اراضی باعث ایجاد تغییرات بسیار وسیعی در سیستم‌های سطح زمین می‌شود. از جمله این تغییرات، تغییر در سیستم هیدرولوژیکی، تأثیر بر میزان فرسایش، تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و تغییرات بسیار وسیع در مورفولوژی سطح زمین می‌شود (هوان^۲ و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۲۸). یکی از روش‌های معمول در علم ژئومورفولوژی طبقه‌بندی پدیده‌ها و عوارض زمین است. هدف اصلی طبقه‌بندی لندفرم‌ها در ژئومورفولوژی، استخراج و طبقه‌بندی تغییرات واحدهای سطح زمین (لندفرم) در اثر فعالیت‌های طبیعی است. بسیاری از فعالیت‌های محیط‌زیستی به توپوگرافی وابسته است. روش‌های مختلفی برای بیان واحدهای ژئومورفیکی وجود دارد که همه آنها تا حد زیادی مشابه یکدیگرند (ویسانتو و آلهونیمی^۳، ۲۰۰۰: ۵۸۸). بنیان و اساس شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها بر پایه ژئومورفومتری است. ژئومورفومتری به کمیت عناصر اصلی ریخت‌شناسی زمین، از جمله شیب، جهت شیب، ارتفاع و اختلاف ارتفاع نسبی عناصر، موقعیت مکانی عناصر نسبت به هم، وضعیت شبکه‌ی زهکشی و میزان تحذب یا تقعر عناصر می‌پردازد (گرکد^۴، ۲۰۱۰: ۱۲). فعالیت‌های تکتونیک همراه با فرآیندهای هیدرولوژی و ژئومورفولوژی و همچنین تغییرات اقلیمی منجر به تغییر در لندفرم‌ها و سیر تکاملی آنها شده است. شناسایی لندفرم‌ها در علوم مختلف از جمله زمین‌شناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست و همچنین

1-Peterson
2- Huan

3-Vesanto and Alhoniemi
4-Gercked

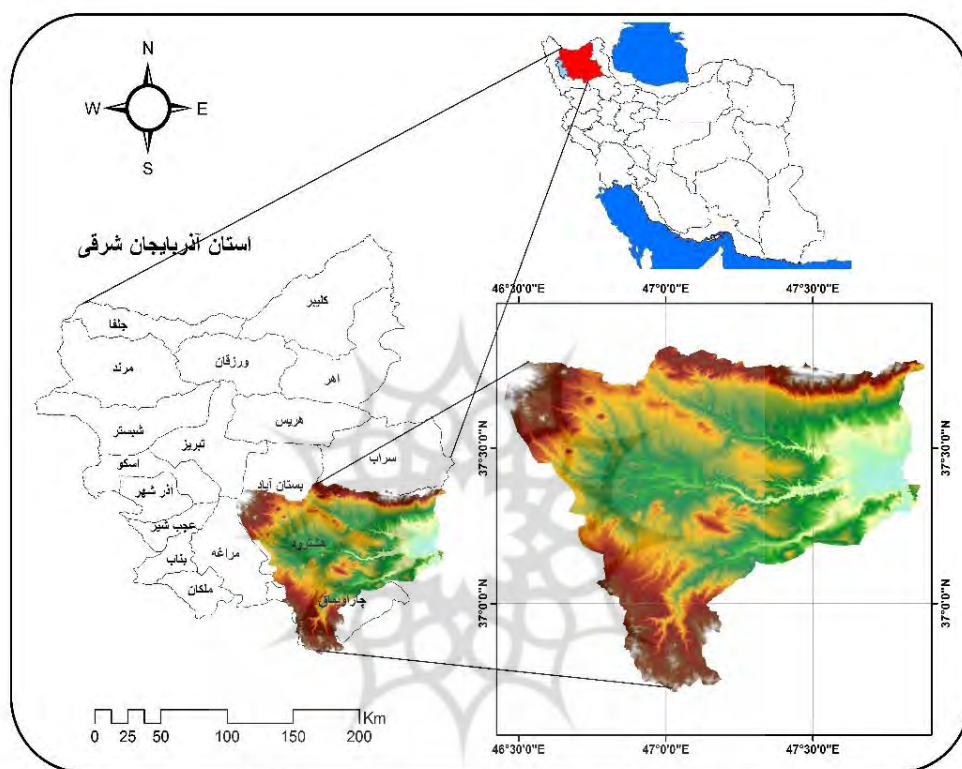
در جغرافیا طبیعی کاربرد دارد که از آن جهت شناخت انواع خاک‌ها، انواع کاربری‌ها و ... استفاده می‌کنند. لندفرم‌ها سطوح پیوسته‌ای از زمین را می‌پوشانند و در نتیجه بستری جهت فعالیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی روی سطح زمین محسوب می‌شوند (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۳: ۶۰). یکی از اولین تلاش‌های صورت گرفته در زمینه‌ی مطالعه و طبقه‌بندی لندفرم‌ها در عمل که به عنوان یکی از روش‌های کار در مطالعات ژئومورفولوژیکی پذیرفته شده است، تحلیل سیستم‌های اراضی بوده است. این تحلیل یک طبقه‌بندی علمی بر مبنای فرم اراضی و با ساختار سلسله مراتبی است و بر رابطه چهره زمین (لندفرم) با قابلیت‌ها و محدودیت‌های اراضی تأکید دارد (آرا، ۱۳۹۲: ۱۸). لندفرم‌ها دست کم دو ویژگی اساسی را در خود دارند؛ اول این که نتیجه فرآیندهای ژئومورفولوژیک و زمین‌شناختی گذشته‌اند، دوم مرزهایی مشخص‌اند برای تعیین قلمرو حاکمیت فرآیندهای ژئومورفولوژیک کنونی هستند (دن و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۰۰۶). اصل اساسی که ژئومورفومتری بر آن تأکید دارد، وجود ارتباط بین شکل ناهمواری و پارامترهای عددی مربوط به آن برای توصیف و تشریح فرآیندهایی است که در تشکیل و تحول لندفرم‌ها نقش دارند. امروزه داده‌های سنجش از دوری به عنوان یک منبع اصلی برای مطالعات آشکارسازی تغییرات کاربرد دارند، چرا که تناوب زمانی بالا، فرمت دیجیتال مناسب برای انجام دادن محاسبات، ایجاد یک دید اجمالی و انتخاب گسترده از دقت‌های طیفی و مکانی باعث این امر شده است. از اهداف اصلی آشکارسازی تغییرات در تصاویر سنجش از دوری، شامل مشخص کردن موقعیت هندسی، نوع تغییرات، کیفیت تغییرات و ارزیابی صحت نتایج آشکارسازی تغییرات هستند (رعیتی شوازی و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۹). یکی از مراحل که در پروژه‌ی آشکارسازی تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرند، فرآیند طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دوری می‌باشد. طبقه‌بندی را می‌توان یک فرآیند تصمیم‌گیری دانست که در آن داده‌های تصویری به کلاس‌های مشخص اختصاص داده می‌شوند (سعیدزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۳). مطالعات متعددی در این زمینه در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. مهرابی و پور خسروانی (۱۳۹۶) در تحقیقی به بررسی لندفرم‌های ژئومورفولوژیک با استفاده از تصاویر ETM+ پرداختند. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده‌ی این است بررسی‌ها و آنالیزهای صورت گرفته نظیر تقسیم‌بندی، تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، بهره‌گیری از ترکیب کاذب رنگی به صورت (PCI1, PCI2, PCI3) و رتبه‌بندی بیشترین شباهت پهنه‌های نمکی منطقه‌ی مورد آشکارسازی واقع گردید و تعداد ۱۲۳ گنبد نمکی در محدوده مورد مطالعه کشف شد. رعیتی شوازی و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی به بررسی و مقایسه‌ی الگوریتم‌های طبقه‌بندی جهت تغییرات لندفرم‌های بیابانی در دشت یزد پرداخته و نتایج حاکی از آن است که بررسی تغییرات لندفرم طی ۳۰ سال با روش حداکثر شباهت نشان داد که سبنا و لندفرم‌های موجود بر روی دشت سرپوشیده به غیر از تپه‌های ماسه‌ای موج، دارای روند کاهشی

تا سال ۲۰۱۶ بوده‌اند. مددی و مظفری (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده به استخراج و بررسی تغییرات لندفرم‌های حوضه‌ی آبریز سجاسرود پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پهنه‌های پوشش گیاهی و دشت‌های آبرفتی به ترتیب ۱۵۹/۴۷ و ۲۶/۵۷ درصد افزایش داشتند، اما کوه‌ها و تپه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، مخروط افکنه و آبرفت‌های جدید با کاهش مساحت شده‌اند. کی^۱ و همکاران (۲۰۱۸) ضمن مقایسه‌ی روش‌های طبقه‌بندی با شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص اخیر را به علت انعکاس بهتر تغییرات لندفرم در فواصل کم، مناسب‌تر از روش‌های دیگر تشخیص دادند. این مطالعه در شهر گانژو در شمال شرق شهرستان شینفنگ در استان جیانگشی انجام گرفت و لندفرم‌های این منطقه در ۱۰ طبقه با استفاده از مدل TPI استخراج گردید. نایر^۲ و همکاران (۲۰۱۸)، روش TPI را در حوضه‌ی رودخانه‌های ایتیک‌کارا و کالدا، جنوب غربی گتس، کرالا، هند انجام دادند. لندفرم‌های این حوضه در ۱۰ طبقه تهیه کردند و درصد وسعت هر کدام از طبقات را مانند کانپون‌ها، ستیغ‌ها، تپه‌ها، کوه‌های مرتفع و بستر رودخانه‌ها و غیره مشخص کردند. و نتیجه گرفتند می‌توان از یافته‌های این تحقیق در احداث و ایجاد انواع کاربری‌ها و امور کشاورزی استفاده کرد. هدف اصلی پژوهش حاضر، طبقه‌بندی لندفرم‌های حوضه‌ی آبریز قرنقو با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ برای مقاطع زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ و همچنین بررسی و تحلیل تغییرات لندفرم‌ها طی دوره‌ی ۳۰ ساله با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه و آستانه‌گذاری استفاده شد تا نتایج مطلوب استخراج گردد.

۲- مواد و روش

محدوده‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی حوضه‌ی آبریز قرنقو بین طول شرقی ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۰ دقیقه قرار دارد. رودخانه‌ی قرنقو یکی از شاخه‌های اصلی رودخانه‌ی قزل‌اوزن است که از دامنه‌ی کوه سهند با حداکثر ارتفاع ۳۷۰۷ متر از سطح دریا واقع در شهرستان هشترود در استان آذربایجان شرقی سرچشمه گرفته و در مسیر حرکت خود با جمع‌آوری سرشاخه‌های کلکان، سراسکندچای، شورچای بالا و پایین، قلعه جوق، شهرچای و آیدوغموش رودخانه اصلی قرنقو را تشکیل می‌دهد که این رودخانه پس از طی مسافتی و جمع‌آوری جریانات سطحی آبراهه‌های اطراف در نزدیکی شهر میانه با قطع ترازینی تهران-تبریز به رودخانه‌ی قزل‌اوزن ملحق شده و سپس از طریق رودخانه‌ی سفیدرود وارد دریای خزر می‌شود.



شکل (۱): منطقه‌ی مورد مطالعه^۱

Figure (1): The study area

به منظور آشکار سازی تغییرات لندفرم‌ها و کاربری‌های اراضی حوضه‌ی آبریز قرنقو از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سنجنده‌های ETM+ (۱۹۹۰) و OLI (۲۰۲۰) استفاده گردید. مشخصات تصاویر مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. در ابتدا تصاویر مذکور از سایت زمین‌شناسی آمریکا تهیه گردید. پس از تهیه‌ی تصاویر پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر اعمال شد. این پیش‌پردازش‌های شامل تصحیح رادیومتری و اتمسفری می‌باشد که در نرم‌افزار ENVI5.3 انجام شد. چرا که قبل از استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بررسی و تحلیل‌های رقومی می‌بایست کیفیت آنها از نظر وجود خطاهای هندسی، پرتوسنجی مانند راه شدگی، زیر هم قرار گرفتن خطوط اسکن، پیکسل‌های تکراری، خطای اتمسفری مانند وجود لکه‌های ابر مورد بررسی قرار گیرد (کریمی و همکاران، ۱۳۵:۱۳۹۵). جهت استخراج لندفرم‌ها و کاربری‌های اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه از طبقه‌بندی شی‌گرا (الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه و آستانه‌گذاری) از نرم‌افزار eCognition استفاده شد. جهت

۱- به دلیل جلوگیری از بالا رفتن تعداد صفحات، ابعاد نقشه‌ها کوچک گردید ولی از لحاظ کیفیت با رزولوشن ۱۰۰۰ dpi تهیه شده‌اند.

راحت شدن فرآیند طبقه‌بندی نیز از الگوریتم‌های PCA و MNF استفاده شد. در نهایت برای صحت و ارزیابی طبقه‌بندی‌های صورت گرفته از شاخص کاپا و صحت کلی استفاده شد.

جدول (۱): اطلاعات تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸. منبع: تصاویر متادیتا

Table (1): Information of Landsat 5 and 8 Satellite Images. Source: Metadata Images

نوع سنجنده	مسیر	گذر	درصد پوشش ابر	زاویه خورشید	زمان	تاریخ
لندست ۸	۱۶۷-۱۶۸	۳۴	۰	۱۲۴/۹۰۵۹۶۳۶۷	۷:۲۵:۱۰	۲۰۲۰/۰۶/۲۳
لندست ۵	۱۶۷-۱۶۸	۳۴	۰	۱۱۴/۳۹۱۸۸۷۳۱	۶:۵۰:۱۸	۱۹۹۰/۰۶/۱۳

به منظور طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، طبقات لندفرم‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در ۶ کلاس دشت، مخروط واریزه‌ای، پهنه نمکی، پهنه سیلابی، صخره و تپه و طبقات کاربری اراضی در ۱۰ کلاس پوشش گیاهی، زراعت آبی، زراعت دیم، باغ، بایر، مرتع متراکم، مرتع متوسط، مرتع ضعیف، سد و مسکونی برای هر دو مقطع زمانی انتخاب گردید (جدول ۲). این لندفرم‌ها و کاربری‌های اراضی با شناخت کامل از منطقه، شناسایی و استخراج شدند. پس از استخراج نقشه‌های لندفرم و کاربری اراضی از تصاویر لندست، روند تغییرات برای بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ برای منطقه‌ی مورد مطالعه طی دوره‌ی ۳۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. روند کلی تحقیق در شکل (۲) آورده شده است.

پیش‌پردازش تصاویر

مرحله پیش‌پردازش داده‌ها، یکی از مهمترین مراحل در پردازش تصاویر است، چرا که تمامی مناسبات بعدی بر اساس تصویر تولیدی در این مرحله انجام می‌گیرد. نوع و نحوه‌ی انجام این عملیات بسته به عوامل مختلف چون نوع داده‌های مورد استفاده می‌باشد. ابتدا بر روی تصاویر تصحیح رادیومتری و اتمسفری با روش FLAASH انجام شد. با استفاده از این الگوریتم تصویر رادیانس به رفلکتانس تبدیل می‌شود. همچنین این الگوریتم، طول موج‌هایی را از گستره مربی تا ۱ میکرومتر را پوشش می‌دهد و بیشتر بر روی تصاویر چند طیفی و فرا طیفی کار می‌کند. این مدل می‌تواند تصویر را هم در هندسه دید قائم و هم در هندسه دید مایل از لحاظ تأثیرات اتمسفری تصحیح کند (آوریده و همکاران، ۱۳۹۳:۵).

طبقه‌بندی تصاویر

به جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی طبقات آنها که دارای رفتار طیفی یکسانی باشد، طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای گفته می‌شود. به عبارتی طبقه‌بندی پیکسل‌های تشکیل‌دهنده‌ی تصاویر، اختصاص دادن یا معرفی کردن هر یک از پیکسل‌ها به کلاس یا پدیده‌ی خاصی را طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای

گویند (علوی پناه، ۱۳۸۳: ۱۴۶). طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس اطلاعات طیفی دارای محدودیت‌هایی است بنابراین برای افزایش دقت طبقه‌بندی باید از منابع اطلاعات دیگری استفاده شود (چن^۱ و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۸۲). کلاس‌های برداشت شده از منطقه‌ی مورد مطالعه همراه با توضیحات مربوط به هر کلاس در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲): کلاس‌های برداشت‌شده از منطقه‌ی مورد مطالعه

Table (2): Classes taken from the study area

نام لندفرم	نام کاربری	نوع پوشش
دشت	---	مناطق پست و همواری است که از آبرفت رودها به وجود آمده
---	بایر	اراضی بایر، آبرفتی و فاقد پوشش گیاهی و سازه، در این زمین‌ها به صورت پراکنده درختان مقاوم به کمبود آب وجود دارد
---	باغ	زمین‌هایی که برای پرورش گل و گیاه، میوه، سبزیجات، بوته‌ها، و درختان زیبا، حصارکشی شده باشند
صخره	---	مناطق که ارتفاع بیشتری نسبت به پدیده اطراف دارند و تا حدودی صعب‌العبور بوده.
تپه	---	به زمین‌ها خاکی و شنی برجسته گفته می‌شود
---	زراعت آبی	مناطق که به صورت آبی بوده‌اند و آبیاری آن‌ها به صورت کامل بوده
---	زراعت دیم	مناطق زراعی که به صورت دیم می‌باشند
---	مرتع متوسط	مناطق که تقریباً نصف سطح این مراتع دارای گیاه و نصف دیگر آن بدون گیاه است
---	مرتع ضعیف	این مراتع پوشش گیاهی کمی داشته و در جاهای خشک و بی‌آب و علف قرار دارند
---	مرتع متراکم	مناطق که همه‌ی سطح این مراتع را گیاه فراگرفته و جای خالی و بدون گیاه در آن‌ها بسیار کم دیده می‌شود.
مخروط واریزه‌ای	---	اشکال دامنه‌ای بوده که در جابجایی مواد سهم بسزایی دارند
پهنه نمکی	---	مناطق که دارای نمک می‌باشند
پهنه سیلابی	---	پهنه‌های سیل‌گیر برای سیلاب‌های با دوره‌ی بازگشت‌های معین
---	سد	آب رودخانه، دریا
---	مسکونی	مناطق شهری و روستایی، مسکونی، شهرک صنعتی
---	پوشش گیاهی	مناطق که شامل گونه‌های گیاهی، درخت و درختچه می‌باشد

طبقه‌بندی شی‌گرا

این نوع از طبقه‌بندی بر اساس منطق فازی استوار است و ارزش عوارض را به ارزش فازی (صفر و یک) با درجه عضویت معین برای هر کلاس تبدیل می‌کند. در این فرآیندها با درجه عضویت متفاوت در بیش از یک کلاس طبقه‌بندی می‌شوند و بر اساس درجه عضویت نسبت به هر کلاس، طبقه‌بندی بر اساس الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه انجام می‌شوند. پس از طبقه‌بندی هر یک از اشیاء تصویری به یکی از کلاس‌ها اختصاص می‌یابند. در روش طبقه‌بندی شی‌گرا اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و پیکسل‌هایی بر اساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص قطعه‌بندی شده و طبقه‌بندی بر اساس همین قطعه‌ها انجام می‌شود. روش‌های طبقه‌بندی در آنالیزهای شی‌گرا غالباً طبقه‌بندی‌کننده‌های نرم مبتنی بر منطق فازی هستند. در طبقه‌بندی‌کننده‌های نرم (عمدتاً سیستم‌های فازی و یا طبقه‌بندی‌کننده‌های بی‌ز) درجه عضویت را برای نشان دادن تعلق یک شی به طبقه‌ای خاص به کار می‌برند. مقدار درجه عضویت معمولاً در دامنه پیوسته ۰ و ۱ است که در آن ۱ یعنی عضویت کامل و ۰ یعنی عدم عضویت کامل در طبقه است (جنسن^۱، ۲۰۰۵:۱۱۱). مبنای طبقه‌بندی شی‌گرا فرآیند قطعه‌بندی است. در فرآیند قطعه‌بندی مفسر می‌تواند با در نظر گرفتن پارامترهای شکل، بافت، ضریب فشردگی و معیار نرمی، فرآیند قطعه‌بندی تصویر را انجام دهد و بر اساس نسبت اهمیت هر یک از عوامل در خصوصیات کلاس‌های مورد نظر برای استخراج از تصاویر ماهواره‌ای نسبت اهمیت آنها در فرآیند قطعه‌بندی اعمال می‌کند (فیضی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۷:۲۴۰). قطعه‌بندی اولین و مهم‌ترین مرحله، در زیر طبقه‌بندی تصویر به واحدهای تصویری مجزا می‌باشد (هوانگ و نی^۲، ۲۰۰۸:۲۷). سگمنت به معنی گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت (نظیر ارزش عددی و بافت) مهم‌ترین معیار مشترک آنهاست.

الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

در فرآیند طبقه‌بندی با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه در روش طبقه‌بندی شی‌گرا، پیکسل‌ها بر اساس وزنشان به کلاس‌های مختلف نسبت داده می‌شود (طبقه‌بندی نرم). در این روش طبقه‌بندی، پیکسل آمیخته از یک درجه عضویت برای هر کلاس برخوردار است و بر اساس منطق فازی متناسب با درجه عضویت در یک کلاس خاص طبقه‌بندی می‌شوند (مینت^۳ و همکاران، ۲۰۱۱:۱۱۵۰). در حقیقت منطق این روش بر اساس شباهت طیفی پیکسل (شی‌های) همکلاس پایه‌ریزی می‌شود. پیکسل (شی‌های) متعلق به یک کلاس در فضای چندطیفی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و بنابراین طبیعی است که پیکسل‌ها یا شی‌ها به کلاس‌ها نزدیک باشد.

1- Jensen
 2- Huang and Ni

3- Myint

نزدیک‌ترین پیسکل یا شی بر اساس محاسبه‌ی فاصله‌ی بین آنها در فضای چندطیفی برآورد می‌شوند. فاصله اقلیدسی، متداول‌ترین محاسبه معیار در این الگوریتم است.

الگوریتم آستانه‌گذاری

این نوع طبقه‌بندی که به عبارتی ساده‌ترین نوع طبقه‌بندی نیز می‌باشد، از شرط آستانه‌گذاری برای کلاس‌بندی اشیاء تصویر استفاده می‌کند و با تعریف شرایط خاصی، هر یک از سگمنت‌های تصویر را به کلاس متعلق به آن شی تصویر اختصاص می‌دهد.

بررسی صحت طبقه‌بندی

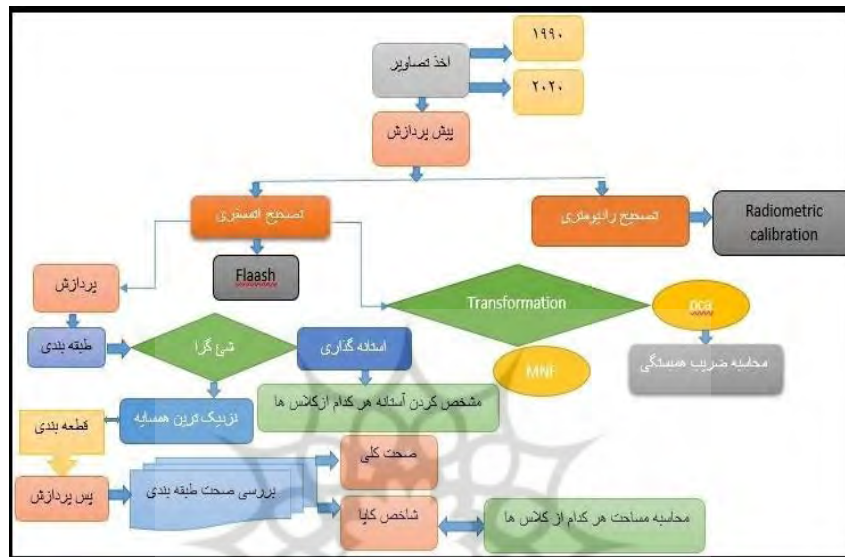
جهت ارزیابی و بررسی دقت نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی از فاکتورهایی از جمله شاخص دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. دقت کلی یکی از مهم‌ترین و ساده‌ترین معیارهای دقت است. این شاخص نیاز به فرآیند پیچیده‌ای جهت انجام محاسبه ندارد. صحت کلی میانگینی از صحت طبقه‌بندی نسبت اشیاء درست طبقه‌بندی شده به جمع کل اشیاء معلوم را نشان می‌دهد. به شرح فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^C nEii}{N} \quad (1)$$

که در این فرمول C: تعداد کلاس‌ها، N: تعداد کل اشیاء معلوم، Eii: اعضای قطری ماتریس خطا و OA: دقت کلی طبقه‌بندی را نشان می‌دهد. شاخص کاپا یک روش گسسته می‌باشد که از نظر آماری برای مشخص کردن اختلاف ماتریس خطا در بررسی صحت استفاده شده را نشان می‌دهد. محدوده‌ی شاخص کاپا بین صفر و یک است. اگر مقدار K برابر با عدد یک باشد طبقه‌بندی به وجود آمده کاملاً صحیح می‌باشد، اگر مقدار K صفر باشد به معنای تصادفی بودن فرآیند طبقه‌بندی می‌باشد و اگر مقدار K منفی باشد، نشان‌دهنده‌ی ضعف طبقه‌بندی می‌باشد. شاخص کاپا از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n ini+n+i}{N^2 \sum_{i=1}^n ini+n+i} \quad (2)$$

I: تعداد ردیف‌ها در ماتریس، تعداد مشاهدات در ردیف IIام و ستون Iام روی قطر اصلی، n+i: کل مشاهدات ردیف IIام و ستون Iام، و N: کل مشاهدات است. روند کلی تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است.



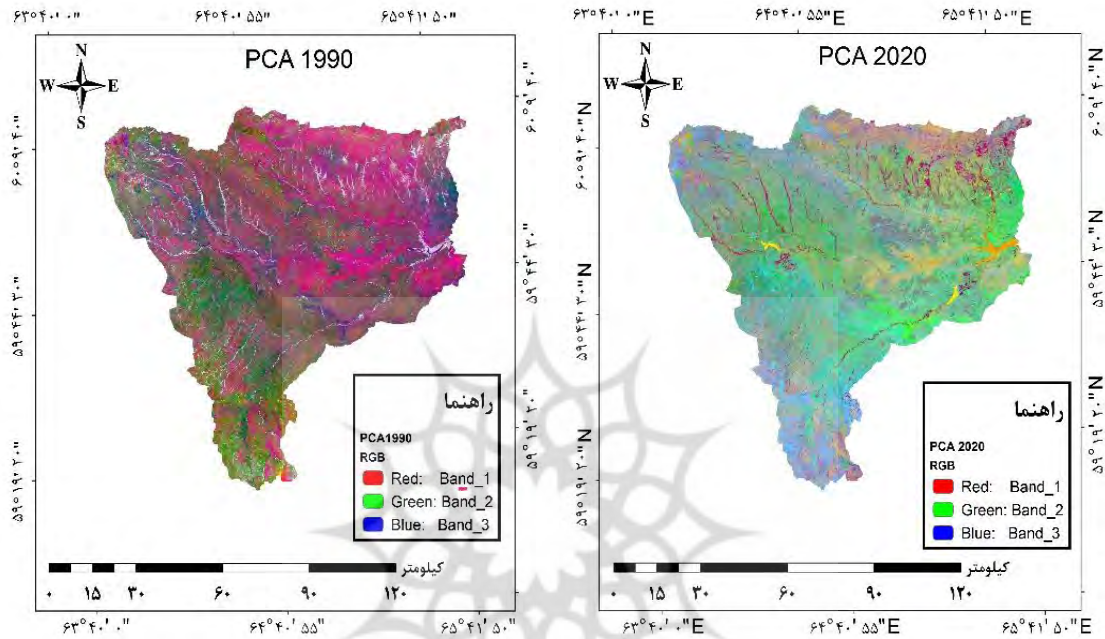
شکل (۲): فلوجارت و روند کلی تحقیق

Figure (2): Flowchart and general research process

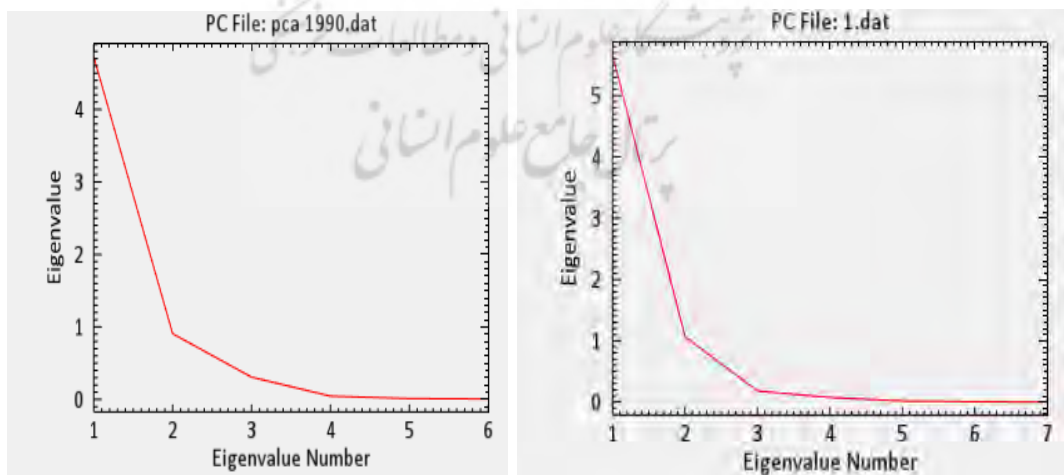
۳- یافته‌ها و بحث

تحلیل الگوریتم PCA و MNF

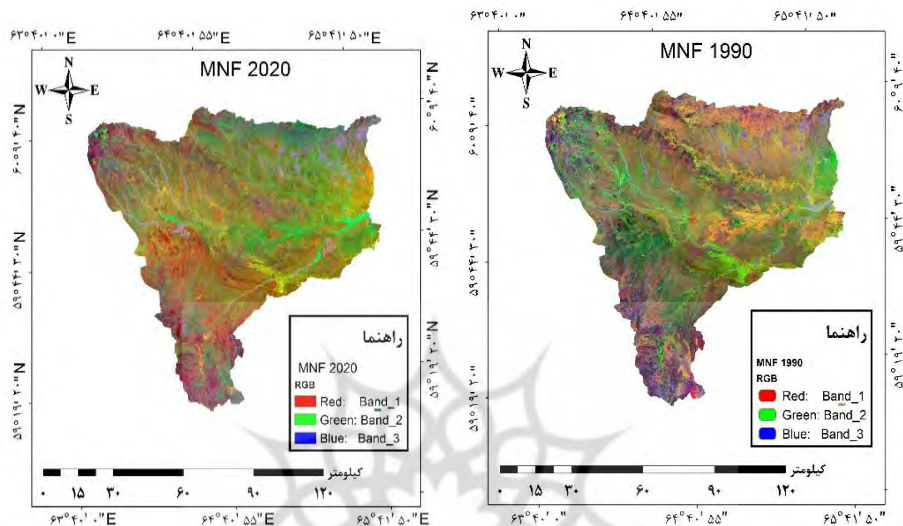
با توجه به اشکال به دست آمده ۳ و ۴ برای سال ۲۰۲۰ در ۷ باند و برای سال ۱۹۹۰ در ۶ باند اطلاعات توزیع شده است. خروجی این الگوریتم در حقیقت رابطه هر یک از مؤلفه‌ها و میزان اطلاعاتی که دارند را نمایش می‌دهند. باندهای ۱، ۲ و ۳ بیشترین میزان اطلاعات را به خود اختصاص داده‌اند. به عبارتی دیگر این الگوریتم ۹۰ درصد اطلاعات بین باندی را در ۳ باند اول قرار می‌دهد و ۱۰ درصد مابقی اطلاعات را در سایر باندها پخش می‌کند. در این الگوریتم هر چه واریانس طیفی در یک تصویر بیشتر باشد، تصویر، دامنه‌ی اطلاعات وسیع‌تری خواهد داشت که خود نشان‌دهنده وجود پدیده‌های بیشتر در تصویر است. چنین تصاویری برای مطالعه‌ی مناسب به شمار می‌روند. استفاده از الگوریتم MNF در این مطالعه برای رفع مشکل پیکسل‌های مخلوط می‌باشد، چرا که برای شناسایی دقیق عوارض و پدیده‌های مورد نظر و ارائه نتیجه منطقی و قابل قبول از این الگوریتم استفاده شد. این الگوریتم یک تبدیل خطی برای مشخص کردن بعد و حجم اصلی تصویر، جدا کردن نویز از سایر اطاعات استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده از این الگوریتم در شکل ۵ و ۶ نشان می‌دهد که این روش تا حد زیادی با روش PCA فرق می‌کند، چرا که میزان فشرده‌سازی اطلاعات تنها در ۳ باند اول نیست، بلکه توزیع اطلاعات به صورت نرمال‌تر بین تمامی باندها صورت می‌گیرد.



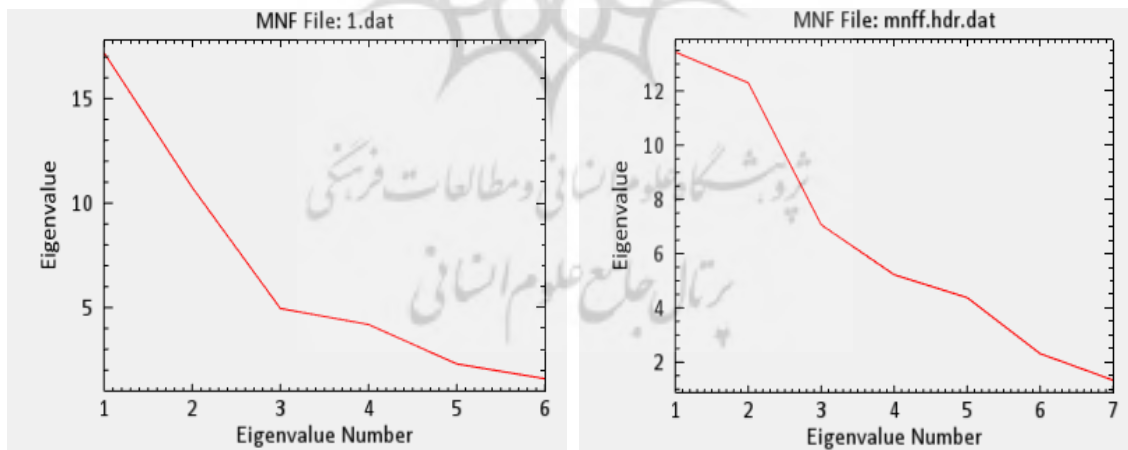
شکل (۳): تصاویر مربوط به تحلیل مؤلفه اصلی سال ۲۰۲۰ (سمت راست) و سال ۱۹۹۰ (سمت چپ)
Figure (3): Principal component Analysis images of 2020 (right) and 1990 (left)



شکل (۴): نمودار تحلیل مؤلفه اصلی سال ۲۰۲۰ (سمت راست) و سال ۱۹۹۰ (سمت چپ)
Figure (4): Principal component analysis chart for 2020 (right) and 1990 (left)



شکل (۵): تصویر سال ۲۰۲۰ (سمت چپ) و ۱۹۹۰ (سمت راست) با استفاده از الگوریتم MNF
Figure (5): 2020 (left) and 1990 (right) images using the MNF algorithm



شکل (۶): نمودار تصویر سال ۲۰۲۰ (سمت راست) و سال ۱۹۹۰ (سمت چپ) با استفاده از الگوریتم MNF
Figure (6): Graphs of 2020 (right) and 1990 (left) using the MNF algorithm

بررسی و تحلیل ضریب همبستگی با استفاده از PCA
با توجه به نتایج به دست آمده از ضریب همبستگی با کمک تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (PCA) برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ در جدول ۳ و ۴ نشان می‌دهد ضریب همبستگی در حقیقت رابطه‌ی همبستگی بین باندها است که هر چقدر مقدار این ماتریس به ۱ و -۱ نزدیک‌تر باشد، میزان اطلاعات بیشتری را می‌تواند تولید کند. اما هر

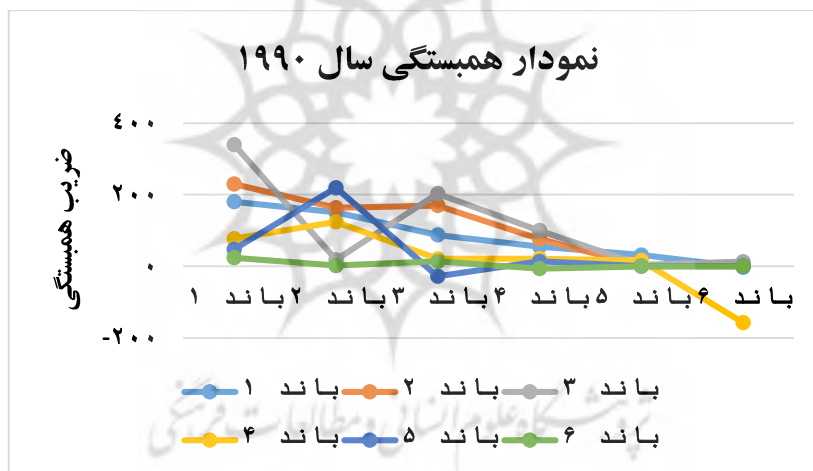
چقدر مقدار این ماتریس به صفر نزدیک‌تر باشد، یعنی توانسته نویزها را تولید کند. با توجه به تصاویر سال ۱۹۹۰ می‌توان گفت در ۳ باند اول بیشترین میزان اطلاعات تولید شده است. اما همانطور که در باندهای ۴، ۵ و ۶ قابل مشاهده است، این باندها بیشتر به مقادیر صفر نزدیک‌ترند که این نزدیک بودن به مقدار صفر باعث افزایش میزان نویز در سطح تصویر شده است. در نتیجه زمانی که میزان نویزها افزایش یابد، میزان اطلاعات تولیدی کاهش می‌یابد. این روند برای تصاویر سال ۲۰۲۰ نیز صدق می‌کند چون بیشترین میزان اطلاعات تولیدی با استفاده از ضریب همبستگی در باندهای ۱، ۲ و ۳ می‌باشد و در نتیجه میزان نویز تولیدی نسبت به سایر باندها کمتر بوده اما باندهای ۴، ۵، ۶ و ۷ مقادیر مربوط به آنها چون به صفر نزدیک‌تر می‌باشد، بنابراین نویز بیشتری تولید و در نتیجه اطلاعات کمتری قابل استخراج می‌باشد.

آشکارسازی تغییرات مربوط به سال‌ها ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۵ و شکل ۹ بیشترین میزان تغییرات افزایش یافته در منطقه مربوط به کاربری زراعت آبی می‌باشد که نسبت به سال ۱۹۹۰ نیز ۱۱/۴۵ درصد رشد داشته است که مهم‌ترین عامل در افزایش این کاربری مربوط به احداث سد سهند به مرور زمان می‌باشد. کاربری زراعت دیم نیز در خلال همین دوره ۳/۴۵ درصد افزایش داشته است که مهم‌ترین عوامل در افزایش مساحت این کاربری، می‌توان از یک سو به افزایش جمعیت اشاره کرد چرا که با افزایش جمعیت تقاضا برای محصولات غذایی افزایش پیدا می‌کند. از سوی دیگر استفاده از ماشین‌آلات و ادوات کشاورزی نام برد. بیشترین میزان کاهش مساحت در منطقه‌ی مربوط به کاربری مرتع پرتراکم می‌باشد. مهم‌ترین عامل تخریب این کاربری متأثر از عوامل زیادی است که مهم‌ترین عامل مربوط به فعالیت‌های انسانی می‌باشد. زیرا با بهره‌برداری‌های نامناسب نظیر افزایش جمعیت بهره‌بردار مرتعی، شخم مراتع برای انجام فعالیت‌های کشاورزی آبی، افزایش بیش از حد از گیاهان به منزله استفاده‌های دارویی، سیاست‌های توسعه‌ای و عملیات‌های عمرانی نظیر احداث جاده‌های بین شهری، احداث سد (سد سهند) اشاره کرد. لندفرم مخروط واریزه‌ای در طی همین دوره دچار کاهش ۳/۵۵ درصد شده است. مخروط‌های واریزه‌ای مهم‌ترین اشکال دامنه‌ای هستند که در جابجایی مواد سهم بسزایی دارند و غالباً در بالادست دامنه‌ها بر روی رخنمون‌های سنگی یا شیب‌های تند به صورت پرتگاه‌ها می‌باشند. علت کاهش این نوع عارضه را می‌توان به تغییرات کاربری اراضی و فرسایش‌های بوجود آمده در منطقه‌ی مورد مطالعه نام برد. مناطق مسکونی هم نسبت به سال ۱۹۹۰ افزایش ۲/۱۵ درصدی داشته است که دلیل این امر از یک سو افزایش مهاجرت روستاییان، امکانات بهداشتی بهتر مناطق شهری نسبت به روستاها، داشتن امکانات رفاهی بیشتر و درآمدزایی و ساخت و سازهای بیشتر در اطراف شهر دانست. مساحت کلاس‌ها در سال‌های مورد مطالعه در شکل ۱۰ آورده شده است.

جدول (۳): ضریب همبستگی تصویر سال ۱۹۹۰ با استفاده از تبدیل مؤلفه اصلی

Table (3): 1990 image correlation coefficient using principal component analysis

باند ۶	باند ۵	باند ۴	باند ۳	باند ۲	باند ۱	باندها
۰/۰۲۹۴	-۰/۱۰۹۳	۰/۰۰۵۵	-۰/۰۹۹۹	۰/۸۲۷۴	-۰/۹۸۳۲	باند ۱
۰/۱۰۱۶	-۰/۲۱۵۱	۰/۱۲۱۵	-۰/۶۳۰۴	۰/۸۵۲۵	-۰/۹۹۲۹	باند ۲
۰/۲۴۱۳	-۰/۱۶۲۵	۰/۰۰۰۸	-۰/۶۸۹۰	۰/۹۱۱۹	-۰/۹۹۲۷	باند ۳
۰/۰۲۰۶	-۰/۱۰۸۲	۰/۱۲۴۱	-۰/۵۲۰۷	۰/۸۶۴۶	-۰/۹۷۸۹	باند ۴
-۰/۰۴۱۷	۰/۰۰۹۵	-۰/۴۳۵۵	۰/۱۴۱۵	۰/۹۱۱۶	-۰/۹۹۴۶	باند ۵
۰/۰۵۷۲	-۰/۰۹۵۵	۰/۰۹۱۵	-۰/۰۰۱۵	۰/۸۷۵۰	-۰/۹۹۲۴	باند ۶



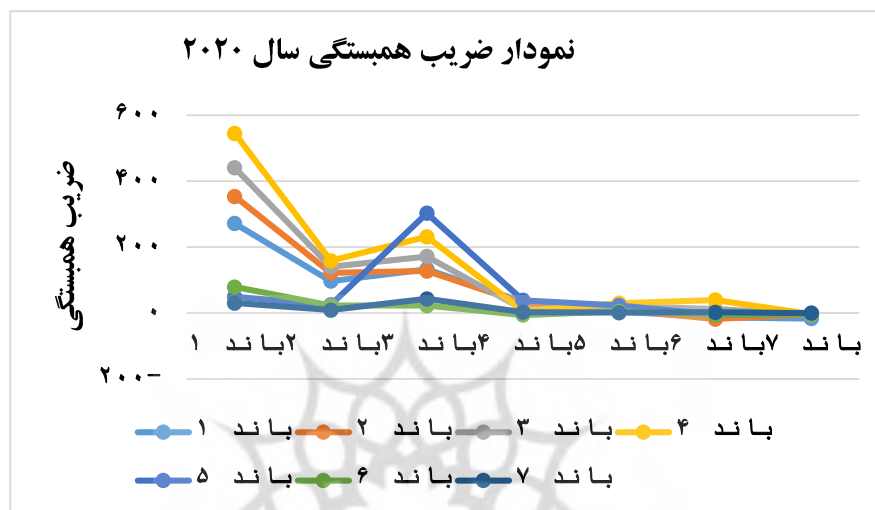
شکل (۷): نمودار ضریب همبستگی تصویر سال ۱۹۹۰ با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی

Figure (7): 1990 Image correlation coefficient diagram using principal component analysis

جدول (۴): ضریب همبستگی تصویر سال ۲۰۲۰ با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی

Table (4): 2020 Image correlation coefficient using principal component analysis

باند ۷	باند ۶	باند ۵	باند ۴	باند ۳	باند ۲	باند ۱	باندها
۰/۰۱۳۸	۰/۰۱۹۸	۰/۰۱۴۱	-۰/۹۴۲۱	-۰/۸۳۲۶	۰/۹۴۶۴	-۰/۹۷۵۳	باند ۱
-۰/۰۱۵۳	۰/۰۰۶۶	۰/۰۲۰۹	-۰/۰۵۳۹	-۰/۹۲۱۴	۰/۹۴۴۵	-۰/۹۸۰۱	باند ۲
-۰/۰۰۲۴	-۰/۰۳۴۳	-۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۲۱	-۰/۸۸۴۵	۰/۹۱۱۰	-۰/۹۸۹۶	باند ۳
۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۸۷	-۰/۰۷۲۶	-۰/۹۶۵۴	۰/۹۳۷۷	-۰/۹۸۵۵	باند ۴
-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۷	-۰/۰۰۷۵	-۰/۰۰۱۲	-۰/۹۲۲۶	-۰/۹۸۳۶	-۰/۹۸۲۷	باند ۵
-۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۱۴	۰/۰۰۴۷	۰/۰۷۸۵	۰/۹۲۲۶	-۰/۹۹۱۶	باند ۶
۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۷	۰/۰۴۲۱	۰/۰۲۴۷	۰/۰۹۴۲	۰/۹۲۲۲	-۰/۹۸۶۸	باند ۷



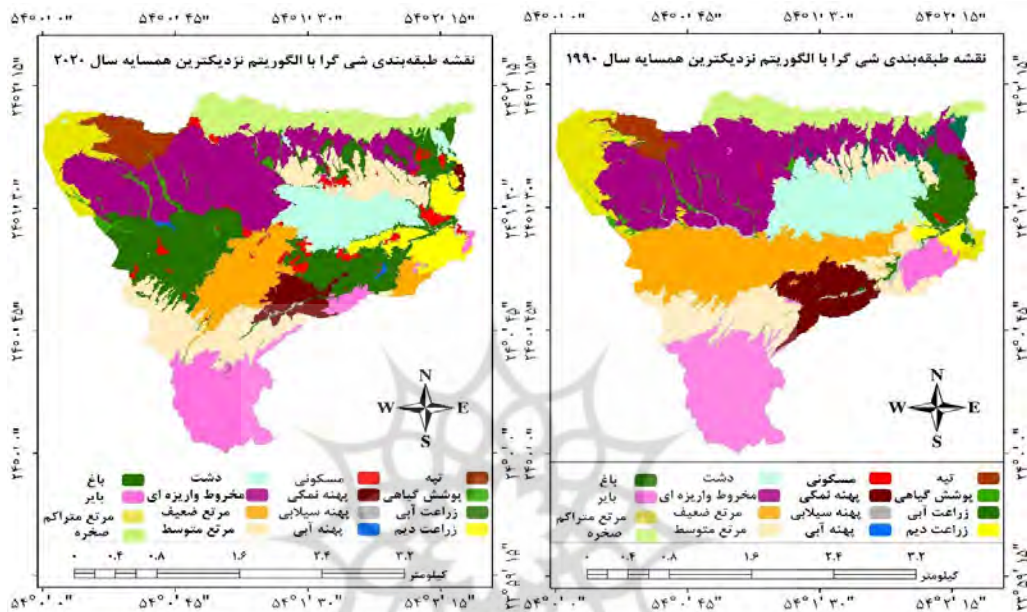
شکل (۸): نمودار ضریب همبستگی تصویر سال ۲۰۲۰ با استفاده از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی

Figure (8): Image correlation coefficient diagram for 2020 using principal component analysis

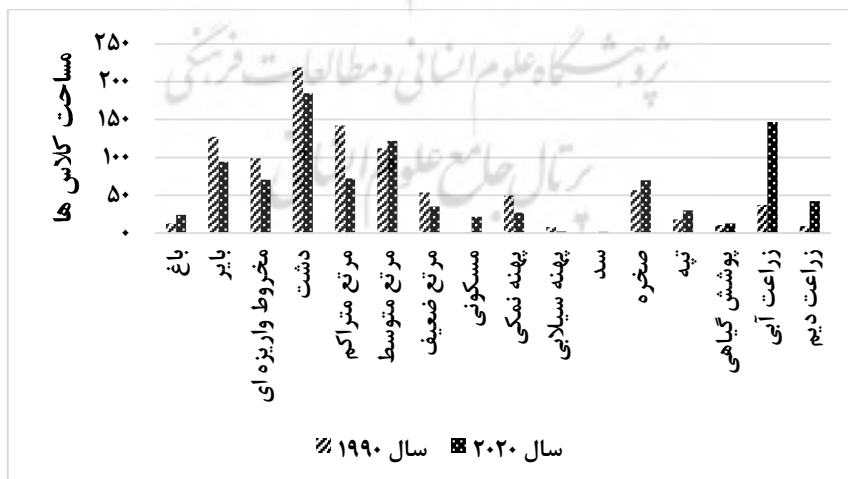
جدول (۵): میزان درصد لندفرم‌ها و کاربری‌های اراضی با روش شی‌گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

Table (5): Landform and Landuse percentage by object-oriented method and nearest neighbor algorithm

لندفرم	کاربری اراضی	سال ۱۹۹۰	سال ۲۰۲۰	روند تغییرات
---	باغ	۱/۳۲	۲/۵۰	افزایشی
---	بایر	۱۳/۳۲	۹/۸۴	کاهشی
دشت	---	۱۰/۳۵	۷/۳۹	کاهشی
مخروط واریزه ای	---	۲۲/۸۷	۱۹/۳۲	کاهشی
---	مرتع متراکم	۱۴/۸۶	۸/۵۶	کاهشی
---	مرتع متوسط	۱۱/۷۱	۱۲/۷۰	افزایشی
---	مرتع ضعیف	۵/۶	۳/۶۵	کاهشی
---	مسکونی	۰/۱۰	۲/۲۵	افزایشی
پهنه نمکی	---	۵/۱۶	۲/۸۲	کاهشی
پهنه سیلابی	---	۰/۸۵	۰/۲۰	کاهشی
---	سد	۰/۰۳	۰/۱۸	افزایشی
صخره	---	۵/۹۰	۶/۳۱	افزایشی
تپه	---	۱/۸۹	۳/۱۱	افزایشی
---	پوشش گیاهی	۱/۱۱	۱/۳۳	افزایشی
---	زراعت آبی	۳/۹۰	۱۵/۳۲	افزایشی
---	زراعت دیم	۰/۹۷	۴/۴۲	افزایشی



شکل (۹): نقشه‌ی طبقه‌بندی شی‌گرا با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه سال ۱۹۹۰ (سمت راست) و سال ۲۰۲۰ (سمت چپ)
Figure (9): Object-oriented classification map with nearest neighbor algorithm 1990 right) and 2020 ((left)



شکل (۱۰): نمودار مساحت کلاس‌ها ۲۰۲۰ (رنگ قرمز) و ۱۹۹۰ (رنگ آبی) الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه
Figure (10): Graph area chart of 2020 (red) and 1990 (blue) nearest neighbor algorithm

بررسی آشکارسازی تغییرات با استفاده از روش شی‌گرا و روش آستانه‌گذاری
 آنچه از جدول ۶ و شکل ۱۱ مشخص می‌باشد، تغییرات گسترده در مساحت لندفرم‌های سطحی ژئومورفولوژی

حوضه آبریز قرقنو است که نشان از پویایی فرآیندهای مؤثر در لندفرم‌ها و عملکرد قوی نیروهای زمین ساخت به خصوص دینامیک بیرونی و فعالیت‌های انسانی در تحول و تکامل فرم‌های ژئومورفولوژی است. با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین میزان مساحت در سال ۱۹۹۰ با استفاده طبقه‌بندی به روش آستانه‌گذاری مربوط به لندفرم مخروط واریزه‌ای و کاربری مرتع متراکم که به ترتیب با ۱۹/۰۱ و ۱۷/۰۲ درصد می‌باشد. کمترین مساحت در منطقه مربوط به کاربری‌های سد و مسکونی که هر کدام به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۱۲ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. اما نتایج طبقه‌بندی برای سال ۲۰۲۰ نشان‌دهنده روند تغییرات در تمامی لندفرم‌ها و کاربری‌های اراضی منطقه می‌باشد. به طوری که بیشترین میزان تغییرات کاهش مربوط به کاربری مرتع متراکم می‌باشد که نسبت به سال ۱۹۹۰ با ۱۲/۴۹ درصد کاهش مساحت مواجه می‌باشد (شکل ۱۲). کاربری دیگر که بیشترین میزان کاهش را در محدوده مورد مطالعه داشته است، مربوط به کاربری مرتع متوسط است که از مساحت این لندفرم، ۴ درصد کاسته شده است که به مرور زمان تبدیل به کاربری‌های بایر و زراعت دیم شده است. اما بیشترین تغییرات افزایشی مربوط به کاربری زراعت آبی می‌باشد که ۱۰/۸۳ درصد افزایش داشته است. علت این افزایش مساحت را می‌توان ناشی از وضعیت نزولات جوی، احداث سد سهند دانست. کاربری دیگری که بیشترین افزایش مساحت را در منطقه داشته است، کاربری زراعت دیم می‌باشد که ۳/۲۵ درصد افزایش داشته است. از بین رفتن زمین‌های بایر در اطراف مناطق شهری و به زیر کشت بردن آنها جهت استفاده به عنوان کاربری زراعت دیم. به طور کلی می‌توان گفته لندفرم‌ها و کاربری‌های اراضی باغ، بایر، مخروط واریزه‌ای، مسکونی، پهنه نمکی، سد، تپه، زراعت دیم و زراعت آبی افزایش مساحت داشته‌اند اما لندفرم‌ها و کاربری‌های اراضی دشت، مرتع متراکم، مرتع متوسط، مرتع کم تراکم، پهنه سیلابی، صخره و پوشش گیاهی روند کاهش داشته‌اند. میزان درصد لندفرم‌ها و کاربری‌های اراضی در جدول ۶ آورده شده است.

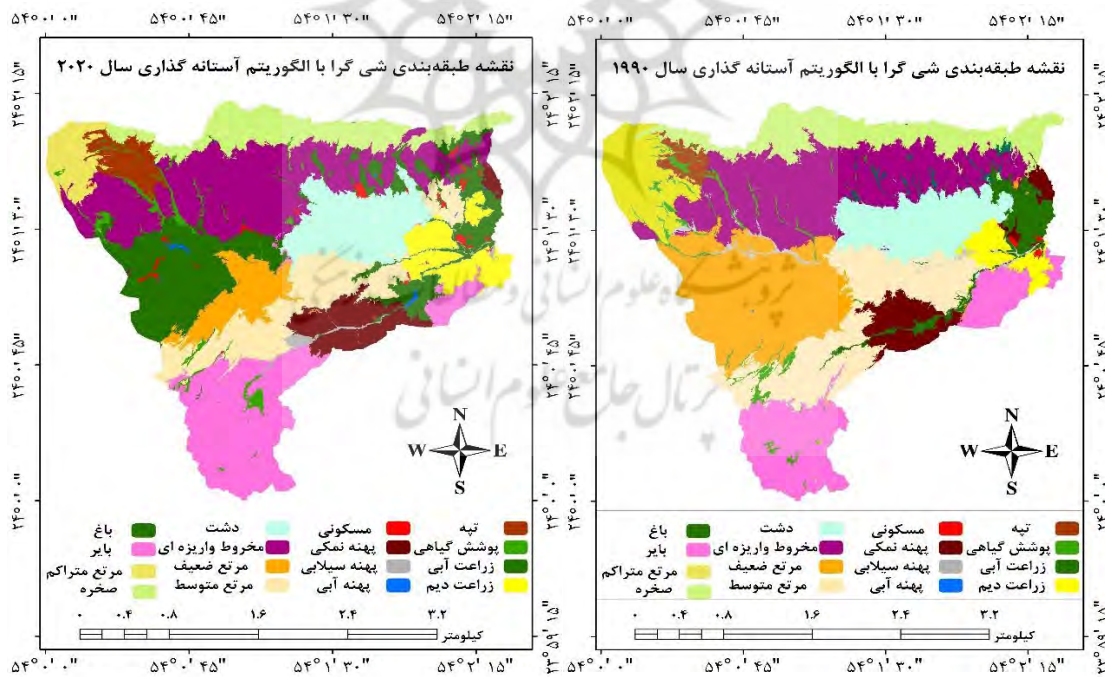
جدول (۶): میزان درصد لندفرم‌ها و کاربری‌های اراضی با روش شی‌گرا و الگوریتم آستانه‌گذاری

Table (6): Percentage of landforms and Landuse with object-oriented method and threshold algorithm

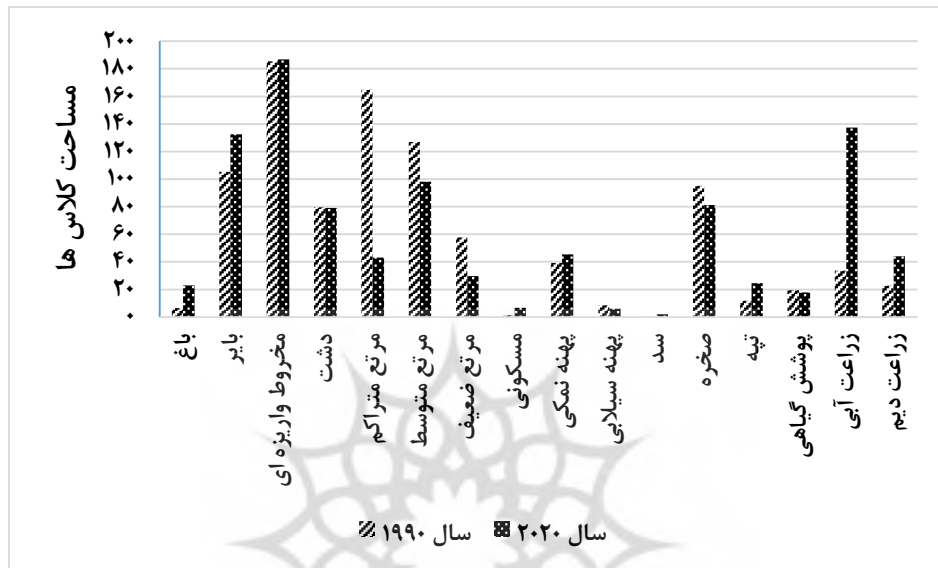
روند تغییرات	سال ۲۰۲۰	سال ۱۹۹۰	کاربری	لندفرم
افزایشی	۲/۳۹	۰/۶۶	باغ	---
افزایشی	۱۲/۸۴	۱۰/۹۹	بایر	---
کاهشی	۸/۲۶	۸/۳۱	---	دشت
افزایشی	۱۹/۵۱	۱۹/۰۱	---	مخروط واریزه ای
کاهشی	۴/۵۱	۱۷/۰۲	مرتع متراکم	---
کاهشی	۹/۲۵	۱۳/۲۵	مرتع متوسط	---
کاهشی	۳/۱۰	۶/۰۲	مرتع ضعیف	---
افزایشی	۱/۶۹	۰/۱۲	مسکونی	---

ادامه جدول (۶): میزان درصد لندفرم‌ها و کاربری‌های اراضی با روش شی‌گرا و الگوریتم آستانه‌گذاری
Con. Table (6): Percentage of landforms and Landuse with object-oriented method and threshold algorithm

لندفرم	کاربری	سال ۱۹۹۰	سال ۲۰۲۰	روند تغییرات
پهنه نمکی		۴/۰۹	۴/۴۷	افزایشی
پهنه سیلابی		۰/۸۸	۰/۶۱	کاهشی
سد		۰/۰۲	۰/۲۰	افزایشی
صخره		۹/۹۷	۸/۴۸	کاهشی
تپه		۱/۲۲	۲/۵۵	افزایشی
پوشش گیاهی		۲/۰۲	۱/۸۶	کاهشی
زراعت آبی		۳/۵	۱۴/۳۳	افزایشی
زراعت دیم		۲/۳۵	۵/۶۰	افزایشی



شکل (۱۱): نقشه‌ی طبقه‌بندی شی‌گرا با الگوریتم آستانه‌گذاری سال ۲۰۲۰ (سمت چپ) و ۱۹۹۰ (سمت راست)
Figure (11): Object-oriented classification map with 2020 threshold algorithm (left) 1990 (right)



شکل (۱۲): نمودار مساحت کلاس‌ها با استفاده روش آستانه‌گذاری ۲۰۲۰ (رنگ قرمز) ۱۹۹۰ (رنگ آبی)
 Figure (12): Graph area diagram using 2020 threshold method (red) 1990 (blue)

صحت طبقه‌بندی

به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده از شاخص کاپا و صحت کلی جدول ۷ استفاده شد. هر دو روش به کار رفته برای انجام فرآیند طبقه‌بندی از روش‌های دقیق و مهم طبقه‌بندی شی‌گرا محسوب می‌شوند. به همین خاطر شاخص کاپا از مهم‌ترین فاکتورهای بررسی دقت طبقه‌بندی می‌باشد. هر چند هر دو روش نزدیک‌ترین همسایه و آستانه‌گذاری از لحاظ نتایج ارزیابی خیلی نزدیک به هم هستند اما در مقایسه با هم، روش نزدیک‌ترین همسایه از لحاظ آماری و خروجی طبقه‌بندی نتیجه و عملکرد بهتری در مقابل روش آستانه‌گذاری داشته است.

جدول (۷): ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی

Table (7): Assess the accuracy of the classification maps

سال ۲۰۲۰		سال ۱۹۹۰		الگوریتم‌های طبقه‌بندی
صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	
۹۷/۸۶	۰/۹۸	۹۲/۲۵	۰/۹۴	نزدیک‌ترین همسایه
۹۲/۳۳	۰/۹۱	۹۰/۰۳	۰/۸۹	آستانه‌گذاری

۴- نتیجه‌گیری

منطقه‌ی کوهستانی حوضه‌ی آبریز قرنقو و پدیده‌های متنوع ژئومورفولوژی آن به واسطه‌ی فرآیندهای مختلف ژئومورفولوژی در حال تغییر و تحول است. برای بررسی تغییرات ژئومورفولوژی لندفرم‌های سطحی و کاربری‌های اراضی حوضه‌ی آبریز قرنقو و کشف تغییرات ۳۰ ساله آن از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. آن چه که از نتایج طبقه‌بندی با روش‌های شی‌گرا استنباط می‌شود، تغییرات گسترده در مساحت لندفرم‌ها و کاربری‌های مهم حوضه‌ی آبریز قرنقو است که نشان از پویایی فرآیندهای مؤثر در لندفرم‌ها و عملکرد قوی نیروهای زمین ساخت به خصوص دینامیک بیرونی و فعالیت‌های انسانی در تحول و تکامل فرم ژئومورفولوژی است. به نحوی که عوامل طبیعی و نیروهای درونی در راستا پسخوراندن‌های مثبت و منفی طوری عمل می‌کنند تا در نهایت سیستم‌های ژئومورفیک رو به حالت تعادل پیش می‌رود در حالی که فعالیت‌های انسانی در بیشتر مکان‌ها به خصوص در کاربری‌های اراضی، وضعیت ناپایداری ایجاد کرده و تعادل سیستم‌های ژئومورفولوژی را دچار چالش کرده است. از جمله تخریب مراتع به شکل‌های مختلف که زمینه فرسایش نواحی کوهستانی را به دنبال دارد. همچنین فعالیت‌های عمرانی از قبیل جاده‌سازی، سدسازی، احداث کارخانه‌ها و صنایع مختلف، بهره‌برداری بیش از ظرفیت منابع آب، گرمایش جهانی، تخریب و از بین بردن اکوسیستم‌ها از دلایل اصلی در بهم خوردن تعادل ژئومورفیک در سطح زمین است. با توجه به آمار و اطلاعات بدست آمده در طول ۳۰ سال، مرتع متراکم و مرتع متوسط بیشترین تغییر کاهشی را داشتند. در عوض زراعت آبی و زراعت دیم بیشترین تغییرات افزایشی را نشان می‌دهند. منظور از تغییرات افزایشی و یا کاهشی، بیشتر شدت و سرعت تغییرات است. البته متناسب با عملکرد نیروها طی ۳۰ سال گذشته، تغییرات شکلی و مکانی در بستر لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه روی داده است. مساحت نواحی کوهستانی، تپه‌ها و سدها تغییرات افزایشی ناچیزی داشته‌اند. علل این کاهش‌ها و افزایش‌ها بیش از همه به فعالیت‌های گسترده صنعتی و کشاورزی در سه دهه گذشته و تغییرات و تحولات آب و هوایی بر می‌گردد. کاهش مساحت باغ، مرتع و دشت‌ها ارتباط وسیع با میزان نزولات جوی دارد که متأسفانه در سه دهه‌ی گذشته با کاهش مواجه بودند. از طرفی دیگر فعالیت‌های زراعی با رشد سرسام‌آوری رو به رو بوده است که هم باعث تغییر لندفرم‌ها و کاربری‌های گوناگونی از جمله مرتع متراکم، دشت، بایر و مخروط‌های واریزه‌ای اخیر شده است و هم ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی عوارض سطح زمین دچار تغییر و دگرگونی گردیده است. بنابراین تغییرات مکانی از نظر مساحت و شکل در طول یک دوره‌ی ۳۰ ساله کاملاً طبیعی و منطقی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در صورت نداشتن برنامه‌ریزی مدون و اتخاذ سیاست‌های مناسب، شاهد ادامه‌ی تخریب لندفرم مرتع و تبدیل آن به زمین‌های کشاورزی که منجر به ضررهای جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی و اقتصادی در منطقه می‌شود. در تحقیق رعیتی شوازی و همکاران (۱۳۹۷)، بررسی تغییرات لندفرم طی ۳۰ سال با روش حداکثر شباهت نشان داد که سبزا و لندفرم‌های موجود بر روی دشت

سرپوشیده به غیر از تپه‌های ماسه‌ای موج، دارای روند کاهشی تا سال ۲۰۱۶ بوده‌اند و همچنین در پژوهش مددی و مظفری (۱۳۹۷) با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده به استخراج و بررسی تغییرات لندفرم‌های حوضه‌ی آبریز سجاسرود پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پهنه‌های پوشش گیاهی و دشت‌های آبرفتی به ترتیب ۱۵۹/۴۷ و ۲۶/۵۷ درصد افزایش داشتند، اما کوه‌ها و تپه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، مخروط افکنه و آبرفت‌های جدید با کاهش مساحت شده‌اند که هر دو پژوهش با پژوهش حاضر، همسو و هم‌جهت هستند.

پیشنهاد می‌شود برای تحقیقات آتی، محققان جهت استخراج و تفکیک هر چه بهتر لندفرم‌ها از تصاویر ابرطیفی مانند Hyperion و تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا مانند Quick bird استفاده کنند. همچنین می‌توان از الگوریتم جنگل تصادفی و فازی در طبقه‌بندی شی‌گرا نیز جهت استخراج لندفرم‌ها استفاده کرد.

۵-منابع

- Alavi Panah, S.K., Ehsani, A., & Omid, P. (2004). Investigation of desertification and changes in Damghan playa lands using multi-time and multi-spectral satellite data. *Desert Quarterly*, 9(1), 143-150.
- Ara, H. (2013). Landforms and their classification in geomorphology science (Case study: Jajroud catchment northeast of Tehran). *Geographical Information "Sepehr"*, 22, 17-22.
- Avarideh, H.R., Safari, A.R., Homayouni, S., & Khazaei, S. (2015). Nearshore bathymetry using hyperspectral remote sensing. *Geospatial Engineering Journal*, 6(1), 1-10.
- Bahrami, H., Nohegar, A., & Mahmoudi, V. (1397). Automatic classification of watershed landforms using GIS (Case study: Borujen watershed in Chaharmahal and Bakhtiari province). *Quantitative Geomorphological Research*, 2(3), 17-30.
- Chen, M., Su, W., Li, L., Chao, Z., Yue, A., & Li, H. (2009). Compare of Pixel-based and Object-oriented Knowledge-based Classification Methods Using Spot5 Imagery. *Wseas Transaction on Information Science and Applications*, 477-489.
- Dehn, M., Gartner, H., & Dikau, R. (2001). Principles of Modeling of Landform Structure. *Computers and Geosciences*, 27, 1005-1010.
- Faizizadeh, B., AbdullahAbadi, S., & Valizadeh, Kh. (2017). Modeling Uncertainty from SRTM and ASTER elevation data and its effect on landform classification in Garmachay catchment. *Journal of Geographical Information "Sepehr"*, 26(103), 29-41.
- Faizizadeh, B., Azizi, H., & Valizadeh, Kh. (2007). Land use Mining of Malekan City using Landsat 7 ETM+ Satellite Imagery. *Spatial Puissant*, 26, 235-245.
- Gercked, D. (2010). Object-based Classification of Landforms Based on Context their Local Geometry and Geomorphometric, Thesis (Ph.D.), *Middle East Technical University*, Ankara, Turkey.
- Hojjati, M., & Mokarram, M. (2018). Using the sub-pixel model of attraction to classify landforms. *Quantitative Geomorphology Research*, 4(4), 40-55.
- Huan, Y., Zhengwei, H., & Xin, P. (2010). Wetlands shrink simulation using Cellular Automata: a case study in Sanjiang Plains, China. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 225-233.
- Huang, L., & Ni, L. (2008). Object-Oriented Classification of High Resolution Satellite Image for Better Accuracy, *Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, Shanghai, P. R. China, 25-27.
- Jensen, J.R. (2005). Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, 3rd Edition, *Upper Saddle River: Prentice-Hall*, 526.
- Karimi, K., Zehtabian, Gh., Faramarzi, M., & Khosravi, H. (2018). Investigating the effect of Karkheh dam irrigation networks on land use changes using satellite images (Case study: Dasht-e Abbas semi-arid region). *Journal of Geographical Information "Sepehr"*, 27(106), 129-140.

- Madadi, A., & Mozaffari, H. (2018). Comparison and evaluation of supervised classification methods in extracting and detecting changes in landforms geomorphology of Sajasrood catchment. *Quantitative Geomorphological Research*, 7(3), 71-90.
- Mehrabi Nejad, A. (2019). Geomorphologic Landform-Stratigraphy recognition of Hormoz Salt Domes Based on Interpretation of Satellite Images ETM+.
- Mokarram, M., & Negahban, S. (2014). Classification of landforms using topographic position index (TPI) (Case study: southern region of Darab city). *Journal of Geographical Information "Sepehr"*, 23(92), 57-65.
- Mokarram, M., & Negahban, S. (2015). Landform classification using self-organizing neural networks (Self-organization map)(Case Study: Basin Gavkhuni). *Quaternary Journal of Iran*, 1(3), 225-238.
- Myint, S.W., Gober, P., Brazel, A., GrossmanClarke, S., & Weng, Q. (2011). Per-pixel vs. object based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote sensing of environment*, 115(5), 1145-1161.
- Nair, C., Ammini, J., & Padmakumari Gopinathan, V. (2018). GIS Based landform classification using digital elevation model (case study from two river basins of Southern Western Ghats, Kerala, India). *Modeling Earth System and Environment*, 304-313.
- Peterson, L.k., Bergen, K.M., Brown, D.G., Vashchuk, L., & Blam, Y. (2009). Forested land cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region. *Forest Ecology and Management*, 257, 911-922.
- Qi, W., Yang, X., Wang, Z., Li, Z., Yang, F., & Zheng, Z. (2018). Fast Landform Position Classification to Improve the Accuracy of Remote Sensing Land Cover Mapping. *Earth Sciences*, 7(1), 23-39.
- Rajabi, M. (2008). Analysis of landforms based on aerial photographs and topographic maps (case study: Azerbaijan). *Geographical Information "Sepehr"*, 17(67), 62-68.
- Rayati Shavazi, M., Karam, A., Ghaffarian Malmiri, H.R., & Adel, S. (2018). Comparison of the efficiency of some classification algorithms in studying the changes of desert landforms in Yazd-Ardekan plain. *Quantitative Geomorphological Research*, 6(1), 57-73.
- Saeedzadeh, F., Sahebi, M.R., Ebadi, H., & Sadeghi, V. (2016). Change Detection of Multi temporal Satellite Images by Comparison of Binary Mask and Most Classification Comparison Methods. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 5(3), 111-128.
- Shayan, S., Mullah Mehr Alizadeh, F., & Jannati, M. (2006). Performance data of remote sensing (RS) in mapping landforms and its role in environmental planning. *Journal of Spatial Planning*, 9(4), 111-148.
- Vesanto, J., & Alhoniemi, E. (2000). Clustering of the Self-Organizing Map. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 11(3), 586-600.