

## مقایسه و ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده در استخراج و آشکارسازی تغییرات لندفرم‌های

### ژئومورفولوژی حوضه آبریز سجاجس رود

عقیل مددی\* - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی.  
حسن مظفری - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۱۸      تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۲۶

#### چکیده

شناخت لند فرم‌های ژئومورفولوژی و بررسی تحولات و تغییرات آن در همه مناطق بخصوص مناطق کوهستانی در جهت مدیریت محیطی در زمینه‌های مختلف از نیازهای مهم و ضروری علم ژئومورفولوژی است. عوامل دینامیک درونی و بیرونی زمین دائماً باعث ایجاد تغییرات در لند فرم‌های ژئومورفولوژی می‌شوند. بنابراین شناخت این تحولات و تغییرات جهت مدیریت بهتر در زمینه‌های مختلف طبیعی و انسانی ضروری است. مناطق کوهستانی به علت صعب‌العبور بودن مطالعات میدانی را دچار چالش می‌کنند. علم ژئومورفولوژی نیز همگام با سایر علوم از فناوری‌های روز دنیا مانند علم سنجش از دور جهت تسریع در پیشبرد اهداف و نیازها استفاده می‌کند. در همین راستا جهت شناسایی لند فرم‌های سطحی و مهم حوضه آبریز سجاجس رود و بررسی روند تغییرات آن در طول سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و OLI استفاده گردید. جهت شناسایی لند فرم‌ها، ضمن بررسی‌های میدانی از تصاویر نرم‌افزار گوگل ارث و نقشه‌های توپوگرافی کمک گرفته شد. سپس از طریق روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان لند فرم‌های اصلی استخراج گردید. نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی نشان داد که روش حداکثر احتمال با صحت کلی ۹۷/۷۰ و ضریب کاپای ۹۶ درصد در سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۱۸ نسبت به دو روش دیگر عملکرد بهتری در تهیه نقشه ژئومورفولوژی و روند تغییرات دارد. برای بررسی روند تغییرات لند فرم‌ها و آشکارسازی تغییرات در بازه زمانی ۳۲ ساله از نقشه طبقه‌بندی حداکثر احتمال و الگوریتم MNF در محیط نرم‌افزار ENVI استفاده گردید. نتایج نهایی نشان داد، پهنه‌های پوشش گیاهی و دشت آبرفتی به ترتیب با ۱۵۹/۴۷ و ۲۶/۵۷ درصد افزایش مساحت داشتند. در مقابل کوه‌ها و تپه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، مخروط افکنه‌ها و آبرفت‌های جدید با کاهش مساحت مواجه بودند. همچنین نتایج الگوریتم MNF نشان داد بیشترین شدت و سرعت تغییرات مربوط به دشت‌های آبرفتی با مساحت ۹۸۹۲/۴۵ هکتار و کوه‌ها، تپه‌ها ۹۴۸۱/۱۳ هکتار و کمترین سرعت تغییرات مربوط به پادگانه‌های آبرفتی با رقم ۱۰/۳۶ هکتار است. پیشنهاد می‌گردد از عوامل انسانی مانند تخریب مراتع از طریق تبدیل مراتع به زمین‌های کشاورزی و چرای بی‌رویه و غیره، ... جلوگیری شده و بهره‌برداری از منابع آب‌های زیر زمینی به گونه‌ای مدیریت شود تا روند تغییرات لندفرم‌ها به شکل طبیعی پیش رود.

واژگان کلیدی: تغییرات لند فرم، الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، الگوریتم MNF، حوضه آبریز سجاجس رود.

## مقدمه

نقشه‌برداری و اندازه‌گیری تغییرات ژئومورفولوژیکی ابزار ارزشمند برای بسیاری از کاربردهای مربوط به فرسایش و توسعه چشم‌انداز است. ارزیابی میزان و نرخ تغییرات ژئومورفولوژیکی به دلیل کمبود داده‌های میدانی و اندازه‌گیری کمی می‌تواند چالش برانگیز باشد (اندرس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳، ۱۵۸۷). با این حال، تحولات در فناوری ارتفاع سنجی هوایی مانند سفینه فضایی و (KPA<sup>۲</sup>) (اسمیت<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۹، ۱۵۷) اسکنر لیزر هوایی (لیو<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸)، ترویج تولید مدل‌های ارتفاع دیجیتال چندمنظوره یا مدل‌های زمین (DEMs / DTMs) که به‌طور بالقوه می‌توانند به‌عنوان منبع برای تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری تغییر ژئومورفولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد (میتاسووا<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ ونتورا<sup>۶</sup> و همکاران ۲۰۱۱) در چند دهه اخیر استفاده از فناوری ماهواره و ابزارهای سنجش از دور به‌ویژه در زمینه‌های جغرافیایی به سرعت توسعه یافته است، به‌گونه‌ای که امروزه یکی از روش‌های بسیار مفید و کارآمد محسوب می‌شود. افزایش قدرت تفکیک تصاویر تا حد چند متر موجب گشته است که حتی در کارهای تفصیلی مورد استفاده قرار گیرند (یمانی، ۱۳۹۴، ۷۹).

در این میان استفاده از تصاویر ماهواره ای در زمینه تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی چنان کارآمدند که باوجود نداشتن دید استریوسکوپی، به تدریج جایگزین نقشه‌های ژئومورفولوژی عکس‌های هوایی مقیاس بزرگ شده‌اند (شایان و همکاران، ۱۳۸۴). شناسایی لند فرم‌های مختلف در یک منطقه یا حوضه آبریز و تهیه نقشه در بازه زمانی مختلف و تحلیل روند تغییرات آن‌ها از جمله کاربردهای اختصاصی تصاویر ماهواره‌ای است. در امر مدیریت محیط، معمولاً ارزیابی ماهیت بلایای طبیعی، منابع طبیعی و به‌ویژه نحوه توزیع و تغییرات آن‌ها برحسب زمان، کاربری نقشه لند فرم و مطالعات ژئومورفولوژیکی را ضروری می‌سازد (شایان و همکاران، ۱۳۸۴) همچنین داده‌های سنجش از دوری به‌عنوان یک منبع اصلی برای مطالعات آشکارسازی تغییرات کاربرد دارند، چرا که تناوب زمانی بالا، فرمت دیجیتالی مناسب برای انجام دادن محاسبات، ایجاد یک دید اجمالی و انتخاب گسترده از دقت‌های طیفی و مکانی باعث این امر شده است. 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 (کرم و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به رقومی بودن تصاویر ماهواره‌ای، تفکیک خودکار لند فرم‌ها بر اساس باندهای تصویری در محدوده طیف الکترومغناطیس امکان‌پذیر است. این موضوع شاید مهم‌ترین ویژگی کاربرد تصاویر در تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی جدید باشد. این امکان به‌ویژه برای انجام دادن پهنه‌بندی‌هایی مثل پهنه‌های کروئولوژیک، لیتولوژیک و توپوگرافیک فراهم است. علاوه بر این، پهنه‌هایی که تحت تأثیر فرایندهای سطحی از وحدت مورفولوژیک برخوردارند، مانند دشت‌های آبرفتی، سطوح ماسه‌ای پادگانه‌های آبرفتی، اراضی شور و زمین‌هایی که از نظر شکل لند فرمی دارای وجوه مشترک‌اند، مانند اراضی تپه‌ماهوری یا اراضی خندقی کار تفکیک و پهنه‌بندی آن‌ها را بسیار آسان و دقیق کرده است (یمانی، ۱۳۹۴، ۸۲).

دینامیک بیرونی و درونی زمین دائماً سطح زمین را دچار تغییر و تحول می‌کند. لذا برای پی بردن به کمیت و کیفیت این تغییرات نیاز به طبقه‌بندی و مقایسه روند تغییرات در بازه‌های زمانی مختلف توسط تصاویر ماهواره‌ای ضروری است. محققین ژئومورفولوژی در ایران و سایر کشورها با مدل‌ها و روش‌های مختلف در خصوص استخراج لند فرم‌ها و روند تغییرات آن کار کرده‌اند. از جمله روش‌هایی که بیشتر به آن پرداخته شده است، شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) است.

1 - Anders

2 - Kite aerial photography

3 - Smith

4 - Liu

5 - Mitasova

6 - Ventura

در کنار آن استخراج لند فرم‌ها از طریق تصاویر ماهواره‌ای، لایدار و رادری نیز کم‌وبیش کار شده است. ولی متأسفانه در خصوص روند تغییرات زمانی لند فرم‌های ژئومورفولوژی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کم‌کار شده است. در این میان باز پژوهشگران ایرانی پرکار بوده‌اند از جمله شایان و همکاران،<sup>(۱۳۸۴)</sup> به‌منظور تهیه نقشه لند فرم و نقش آن در برنامه‌ریزی محیطی، کارایی داده‌های سنجش از دور را مورد بررسی قرار دادند و با تلفیق داده‌های طیفی لندست +ETM با داده‌های دارای توان مکانی بالا IRS-PAN ۲۷ لند فرم را با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، اقلیمی و توپوگرافی استان سمنان استخراج کردند. سیف و همکاران،<sup>(۱۳۹۱)</sup> با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS سنجد LISS و تبدیل فرمت تصاویر در محیط نرم‌افزاری ER \_ MAPPER، تصحیح هندسی تصاویر، موزائیک، هموارسازی و برش تصاویر، آنالیز نمودارهای طیفی و تعیین بهترین ترکیبات باندی و به‌کارگیری سایر روش‌های پردازشی، تصاویر رنگی کاذب در ارتباط با منطقه مطالعاتی تهیه و مورد آنالیز و تفسیر قرار داده‌اند و پس از شناسایی لند فرم‌ها و مسیر رودهای منطقه و رسوب‌گذاری آن‌ها، نقشه کلی ژئومورفولوژی منطقه را تهیه کرده‌اند. ملکی و همکاران،<sup>(۱۳۹۵)</sup> در دو ناحیه زون سنج سیرجان و زاگرس شکسته مدل (TPI) با روش خودکار اجرا کردند. در این تحقیق با توجه به صحت سنجی و انطباق با شرایط مشاهداتی از بین سایر روش‌ها از روش دیکسون<sup>۱</sup> و بیر<sup>۲</sup> استفاده کردند. پس از تهیه لایه (TPI) با تفکیک ۴ طبقه (ارتفاعات، شیب تند، شیب ملایم و دره) مساحت هر یک از آن‌ها مشخص نمودند. در پژوهش دیگری (مکرم و همکاران،<sup>(۱۳۹۵)</sup>) مقایسه طبقه‌بندی لند فرم‌ها با استفاده از روش‌های قدیمی (استفاده از ارتفاع و شیب و انحنا) و شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) در جنوب بجنورد رو انجام دادند و ضمن مشخص کردن مساحت هر یک از کلاس‌های لند فرم‌ها روش (TPI) را در مقایسه با روش قدیمی به علت نمایش جزئیات بیشتر پهنه‌های طبقه‌بندی مناسب دانستند. کرم و همکاران<sup>(۱۳۹۶)</sup> طبقه‌بندی لند فرم‌های بخشی از دشت اردکان - یزد را با استفاده از روش‌های نظارت‌شده و تصاویر ماهواره‌ای TM و OLI لندست ۸ انجام داده‌اند و روند تغییرات آن را بین سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ محاسبه نموده‌اند. اندرس<sup>۳</sup> و همکاران،<sup>(۲۰۱۳)</sup> با استفاده از مدل‌های رقومی چند زمانه لایدار پدیده‌های ژئومورفولوژی غرب اتریش رو با روش شیء‌گرا بین سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ انجام دادند و ضمن رضایت کامل از خروجی کارشان آن‌ها را در راستای نظارت بر خطر و خطرات طبیعی، میزان تحولات تغییرات و ارزیابی آسیب‌پذیری لند فرم‌های ژئومورفولوژی مناسب دانستند. گوها<sup>۴</sup> و همکاران<sup>(۲۰۱۸)</sup> با استفاده از باندهای مادون قرمز دور و نزدیک تصاویر لندست ۸ و تصاویر ماهواره ALOS-DEM و رادار را برای ریخت‌شناسی مخروط افکنه‌های رودخانه‌های ماهانانتا<sup>۵</sup> و تیستا<sup>۶</sup> استفاده کردند. با بررسی GPR<sup>۷</sup> در طول ترانکست انتخاب‌شده، متوجه شدند جابجایی عمودی در توالی رسوبات ته‌نشین شده اخیر در رژیم مخروط افکنه ناشی از اختلالات پس از انباشت رسوبات است. شنگ<sup>۸</sup> و همکاران،<sup>(۲۰۱۸)</sup> با استفاده از روش شیء مینا و از روی DEM و خصوصیات حوضه زهکشی Loess area در چین، مانند ارتفاع متوسط، شیب خروجی، عمق زهکشی، و بافت ناحیه برای مشخص

1 - Dickson

2 - Beier

3 - Anders

4 - Guha

5 -Mahananda

6 - Tista

7 - Ground-penetrating radar

8- Xiong

کردن مورفولوژی حوضه‌های زه‌کشی استفاده کردند و دقت طبقه‌بندی به ترتیب ۸۷٫۳ و ۸۶٫۳ درصد برای بررسی میدانی و اعتبار سنجی مدل به دست آوردند. در تحقیق دیگری روی یکی از لند فرم‌های ژئومورفولوژی یعنی تپه‌های ماسه‌ای گرند کنیون ایالت آریزونا آمریکا (سولازو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) با استفاده از هواپیمای بدون سرنشین و تصاویر لایدار و ماهواره با توان تفکیکی بالا انجام دادند و موفق به تولید نقشه ژئومورفولوژی تپه‌های شنی و ماسه‌ای در محل مورد مطالعه شدند و ضمن برآورد میزان حجم شن و ماسه در خصوص استفاده از دستاوردهای آن برای محاسبه حجم رسوب و دینامیک ناشی از این تپه در محل تلاقی رودخانه‌های پاریا و کلرادو و سایر مطالعات مرتبط مفید دانستند. بوگنیکرت<sup>۲</sup> و همکاران، (۲۰۱۸) در محدوده سپر گویان فرانسه و آمپای برزیل با استفاده از تصاویر راداری شاتل و مدل رقومی ارتفاعی و مؤلفه‌های اصلی و مدل دوبعدی فوریه نقشه لند فرم را در هشت طبقه تهیه کردند. چی<sup>۳</sup> و همکاران، (۲۰۱۸) ضمن مقایسه روش‌های طبقه‌سخت با شاخص موقعیت توپرافی، شاخص اخیر رو به علت انعکاس بهتر تغییرات لند فرم در فواصل کم، مناسب‌تر از روش‌های دیگر تشخیص دادند. این مطالعه در شهر گانزو در شمال شرق شهرستان شینفنگ در استان جیانگشی انجام گرفت. و لند فرم‌های این منطقه در ۱۰ طبقه با استفاده از مدل TPI استخراج گردید. نیر<sup>۴</sup> و همکاران، (۲۰۱۸) روش (TPI) را در حوضه رودخانه‌های ایتیککارا و کالدا، جنوب غربی گتس، کراالا، هند انجام دادند. لند فرم‌های این حوضه در ۱۰ طبقه تهیه کردند و درصد وسعت هر کدام از طبقات را مانند کانیون‌ها، 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. همان‌طور که ملاحظه گردید، روش‌ها و مدل‌های گوناگونی برای نمایش لند فرم‌ها و بررسی روند تغییرات آن وجود دارد. هدف اصلی این تحقیق طبقه‌بندی لند فرم‌های اصلی و مهم حوضه آبریز سچاسرود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ و آشکارسازی تغییرات است که در ادامه به تفصیل آمده است.

#### منطقه مورد مطالعه

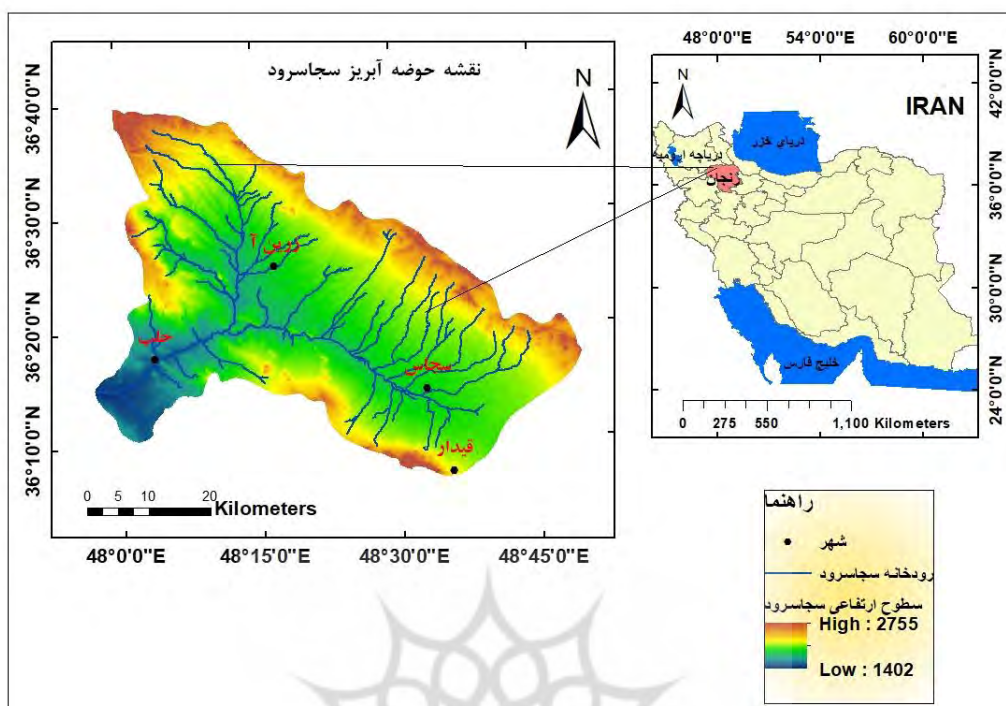
حوضه آبریز سچاسرود در شمال غرب ایران، جنوب استان زنجان، بین عرض‌های ۳۶ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی، طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). بر اساس مطالعات انجام‌شده حدود ۲۴۹۴ کیلومتر مربع وسعت دارد که ۱۲۹۸ کیلومتر مربع آن را نهشته‌های آبرفتی و بقیه را ارتفاعات تشکیل داده‌اند. در این حوضه آبریز دشت‌ها به صورت تپه‌ماهوری و دره‌ای و ناهموار هستند که توسط ارتفاعات بلند و یا نهشته‌های پلیوپلئوستوسن کم ارتفاع از هم جدا می‌شوند. رودخانه سچاسرود از سمت شرق و از دشت مزید آباد سرچشمه گرفته و با روند شرقی<sup>۵</sup> غربی پس از عبور از شهر سچاس در پایاب روستای ینگگی کند به رودخانه قزل‌اوزن می‌ریزد این محدوده، با ارتفاع متوسط ۱۶۵۰ متر، از غرب به کوه‌های ماه‌نشان از شمال به کوه‌های سلطانیه و از جنوب به کوه‌های قیدار محدود است. پست‌ترین نقطه، با ارتفاع ۱۴۰۶ متر در محل تلاقی سچاسرود به رودخانه قزل‌اوزن و مرتفع‌ترین نقطه به ارتفاع ۲۶۰۰ متر در جنوب منطقه قرار دارد. مهم‌ترین مرکز مسکونی در این منطقه شهر سچاسرود و ایچرود با ارتفاع ۱۷۴۰ و ۱۷۳۹ متری از سطح دریا در قسمت میانی و شمال غربی منطقه مورد مطالعه و جنوب و جنوب غربی استان زنجان قرار دارد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵، ص ۲۲).

1 - Solazzo

2 - Bugnicourt

3 - Qi

4 - Nair



شکل ۱: نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

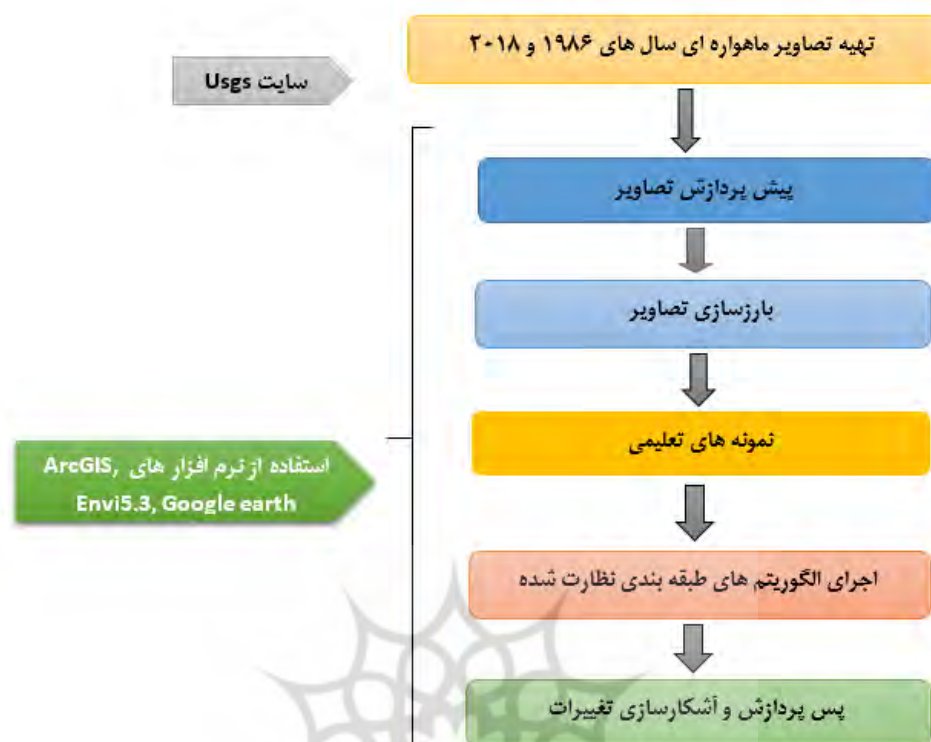
میانگین درجه حرارت سالانه در ایستگاه باران سنجی حلب شکل (۱) واقع در جنوب غربی حوضه آبریز سجا سرود با  $11/5$  درجه سانتی گراد (برای دوره‌ی آماری ۱۹ ساله) می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه در این ایستگاه  $390/92$  میلی‌متر می‌باشد. بیشترین بارش در فروردین ماه با میزان  $67/6$  و کمترین میزان آن در شهریور به میزان  $2/1$  میلی‌متر رخ داده است. نوع اقلیم حوضه آبریز بر اساس مدل دمارتن نیمه‌خشک و آمبرژه نیمه‌خشک سرد می‌باشد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵، صص ۳۲-۳۴). از نظر لیتولوژی از سنگ‌های اندزیتی، بازالتی، آهکی، ماسه‌سنگ، دولومیت، مارن و آبرفت‌های عصر حاضر تشکیل شده است. تحولات زمین‌شناسی این حوضه از دوران پرکامبرین تا زمان حال را دربر می‌گیرد و به علت اثر نیروهای تکتونیکی در محدوده کوهستانی حوضه، انواع گسل‌ها شکل گرفته است (توضیحات پشت نقشه زمین‌شناسی یکصد هزار).

### مواد و روش‌ها

روش تحقیق در این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت پیمایشی - تحلیلی است. برای انجام و جمع‌آوری اطلاعات از روش‌های میدانی و کتابخانه‌ای استفاده گردید. به منظور جمع‌آوری اطلاعات اولیه از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و OLI مربوط به سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۱۸ استفاده گردید (جدول ۱). در این راستا علاوه بر مطالعات میدانی گسترده از تصاویر گوگل ارث و نقشه‌های توپوگرافی منطقه نیز برای شناسایی هرچه بهتر لند فرم‌ها استفاده شد.

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده

ردیف	شماره لندست	نوع سنجنده	گذر و ردیف	تاریخ تصویربرداری
۱	۵	TM	۳۵/۱۶۶	۱۹۸۶/۰۷/۰۲
۲	۸	OLI	۳۵/۱۶۷	۲۰۱۸/۰۷/۰۱
۳	۸	OLI	۳۵/۱۶۶	۲۰۱۸/۰۷/۱۰



شکل ۲: مراحل انجام کار

بعد از تهیه داده‌های مورد نیاز برای آشکارسازی و تشخیص بهتر لند فرم‌های ژئومورفولوژی مطابق شکل (۲) مراحل مختلف پردازش تصاویر انجام گردید. سپس جهت طبقه‌بندی از نمونه‌های تعلیمی روی تصاویر که قبلاً تصحیح رادیو متریک و اتمسفری روی آن‌ها انجام گرفته بود، استفاده گردید. با استفاده از فرایند آزمایش و خطا بهترین روش برای نمونه‌های تعلیمی از طریق تولید لایه وکتوری روی تصاویر و تبدیل آن‌ها به نمونه‌های تعلیمی در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 به دست آمد. در مرحله بعد با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال، شبکه عصبی و SVM<sup>۱</sup> اقدام به طبقه‌بندی لند فرم‌های سطحی محدوده مورد مطالعه گردید. سرانجام با استفاده از توابع مربوط به بررسی روند تغییرات لند فرم‌ها، میزان تغییرات مشخص گردید. در فرایند انجام این پژوهش از نرم‌افزارهای ENVI 5.3, ArcGIS10.1 و EXCEL 2013 استفاده گردید. در ادامه مراحل انجام تحقیق به شرح ذیل می‌باشد.

#### الف) پیش‌پردازش و آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای

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 نحوه انجام این عملیات بسته به عوامل مختلفی چون نوع داده‌های مورد استفاده و هدف تحقیق، متغیر خواهد بود (کرم و همکاران، ۱۳۹۶، ۶۲). در این تحقیق ابتدا تصحیح هندسی و رادیومتری و سپس تصحیح اتمسفری به روش FLAASH انجام گردید. تصحیح هندسی معمولاً انحرافات در تصاویر رقومی همچون تغییرات در ارتفاع، سرعت سکوی سنجنده، انحنای زمین و جابجایی پستی و بلندی رخ می‌دهد که باعث می‌شود نتوان این‌گونه تصاویر را به‌عنوان نقشه استفاده نمود. تصحیح هندسی جبران این انحرافات است؛ به‌گونه‌ای که باید تصویر تصحیح شده، قابلیت انطباق با نقشه را داشته باشد. بر روی تصاویر دو نوع تصحیح سامانمند و غیر سامانمند صورت می‌پذیرد. تصحیح سامانمند قبل از اینکه تصاویر در دسترس کاربران قرار بگیرد انجام می‌شود اما تصحیح غیر سامانمند با

<sup>1</sup> - Support Vector Machines

زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای و نمونه برداری مجدد توسط کاربر صورت می‌گیرد (ارجمند زاده و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۶۷) در این تحقیق از طریق تابع Reproject Raster مختصات UTM تصویر ۱۹۸۶ تصحیح گردید. خطای رادیومتری به دلیل تفاوت شرایط اتمسفری، ارتفاع خورشید و آزمایش آن در هنگام ثبت داده‌ها توسط سنجنده رخ می‌دهد. خطاهای ایجاد شده در تصویر ناشی از داده‌های اولیه، خطاهایی که به دلیل داده‌های نادرست سبب جدا شدن تصویر می‌شود و پیکسل‌های اطلاعاتی اسکن نشده که باعث بروز اشکال در تصویر می‌شود به‌عنوان نمونه‌هایی از این خطاها بوده که در نرم‌افزار Envi در مبحث پیش‌پردازش قابل رفع می‌باشند (ارجمند زاده و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۸۱). تصحیحات رادیو متریک بدون توجه به مکان و مشخصات هندسی اجزای تصویر فقط با مقادیر درجات خاکستری پیکسل‌ها کار کرده و سعی در تصحیح آن‌ها دارند. تصحیحات رادیو متریک خود برای کاهش و یا حذف دو نوع خطای عمده بکار می‌روند که عبارت‌اند از: خطاهای اتمسفری و خطاهای دستگاهی (حسینی تبار و همکاران، ۱۳۹۵، ۸۶). بعد از رفع خطاهای هندسی و رادیو متریک تصاویر برای رفع خطای اتمسفری از روش FLAASH استفاده گردید. این روش یکی از بهترین روش‌های تصحیح اتمسفری محسوب می‌شود. برای انجام تصحیح جزئی اتمسفری به روش FLAASH باید تصویر موردنظر از نوع رادیانس با فرمت BIL باشد. این روش از مدل انتقال رادیانس MODTRAN4 برای حذف اثرات اتمسفری استفاده می‌کند. به‌علاوه این روش ابزاری است که طول‌موج‌های مرئی، فروسرخ نزدیک و فروسرخ کوتاه را تا محدوده ۵ / ۲ میکرومتر پشتیبانی می‌کند (جوی زاده و همکاران، ۱۳۹۶، ۲۱۵).

### ب) پردازش تصاویر ماهواره‌ای (تحلیل‌های طیفی و طبقه بندی تصاویر)

همان‌طور که در بخش قبلی اشاره شد برای طبقه بندی تصاویر به علت نبود تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا از روش پیکسل پایه استفاده شد. ضمن استفاده از ابزارهای شناختی دیگر و مطالعات میدانی، از روش تفکیک مجموعه‌های طیفی و تجزیه مؤلفه‌های اصلی بخصوص برای شناسایی بعضی از لند فرم‌ها مانند واحد کوهستانی و مخروط افکنه استفاده گردید. سپس از طریق ایجاد لایه‌های وکتوری روی تصاویر ماهواره‌ای و تبدیل آن‌ها به نمونه‌های آموزشی، تصاویر طبقه بندی ایجاد شد. به‌طور کلی، منظور از طبقه بندی اطلاعات ماهواره‌ای با روش تفسیر رقومی، تفکیک مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم بندی تصاویر به گروه‌ها یا طبقاتی است که در هر طبقه، طیف‌ها با یک ارزش واحد قرار می‌گیرند. (از نظر آماری قابل تفکیک نیستند) به‌عبارت دیگر، وقتی بر روی تصاویر و یا مجموعه‌های اطلاعاتی، طبقه بندی انجام می‌شود، در واقع، طبقه بندی طیفی به عمل آمده و در تصویر جدید، هر طبقه با کلاس معرف پدیده‌ای خاص با یک ارزش طیفی واحد است (زبیری و مجد، ۱۳۹۲، ۲۴۷). برای طبقه بندی از الگوریتم‌های زیر استفاده شد.

#### ۱) طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست با الگوریتم حداکثر احتمال

طبقه بندی حداکثر احتمال دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش نظارت شده است. فرآیند طبقه بندی حداکثر احتمال فرض را بر این می‌گذارد که داده‌های آماری آموزشی برای هر کلاس در هر باند، به‌صورت نرمال توزیع شده‌اند. بنابراین برای داده‌های آموزشی با هیستوگرام‌های  $n$  مدی در یک باند منفرد، مناسب نیستند در چنین شرایطی هر یک از مدها احتمالاً نماینده کلاس‌های جداگانه‌ای هستند و لازم است نرم‌افزار طبقه بندی کننده، برای آن‌ها مجدداً آموزش داده شوند. به این ترتیب، هیستوگرام‌های تک مدی با توزیع گوسن که شرط توزیع نرمال را برآورد می‌کند، به وجود می‌آید (آرخی و مومنی طارمسری، ۱۳۹۴، ۲۳۱)

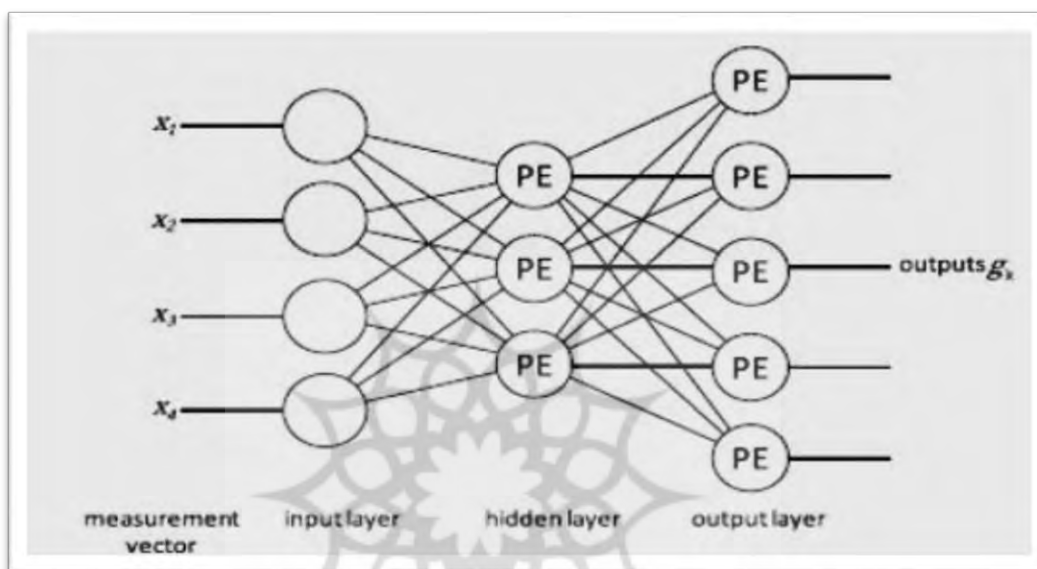
#### ۲) طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای با روش شبکه‌های عصبی ( $Nrrr ll Ntt wkkk$ )

از ساختار مغز و اعصاب انسان پیروی می‌کنند و در میان طبقه بندی کننده‌های شبکه‌ای شاید بیشترین محبوبیت را در ملی در دهه گذشته داشته باشد که به چندین شکل وجود دارد که عمومی‌ترین آن پرسپترون چندلایه (multilayer)

Perceptron) است کارکرد این روش بر اساس رابطه (۱) است که در این رابطه  $\theta$  نشان‌دهنده حد آستانه،  $W^T$  نشان‌دهنده بردار وزنی ضرایب و  $X$  بردار ورودی می‌باشد

$$g = f(w^t x + \theta) \quad \text{رابطه (۱)}$$

یک پرسپترون چندلایه معمولاً از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه نهفته و یک لایه خروجی تشکیل شده است که به ترتیب اطلاعات را دریافت و پردازش می‌کنند و نمایش می‌دهند (مختاری و نجفی، ۱۳۹۴، ۳۷). در شکل ۳ ساختار شبکه عصبی نشان داده شده است.



شکل ۳: ساختار شبکه عصبی چندلایه

### ۳) طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)

این الگوریتم روش آماری یادگیری نظارت‌شده غیر پارامتریکی است که نخستین بار، در سال ۱۹۶۵، ولادیمیر وپینک آن را مطرح کرد. این روش در واقع طبقه‌بندی کننده‌ای باینری است که در مورد دو کلاس مشخص و با استفاده از یک الگوریتم بهینه سازی در مرحله یادگیری، سعی در ایجاد فرا صفحه‌ای دارد که از هر دو کلاس بیشترین فاصله را داشته باشد. از مهم‌ترین جنبه‌های خلاصه‌سازی این الگوریتم این است که برای تعیین مرز تصمیم‌گیری، از همه نقاط تعلیمی استفاده نمی‌شود و فقط تعدادی از نمونه‌های تعلیمی که کمترین فاصله را از فرا صفحه دارند و بردارهای پشتیبان نامیده می‌شوند، برای تعریف این مرز به کار می‌روند این الگوریتم بر مبنای تکنیک SRM مسائل را حل می‌کند. در این تکنیک هدف این است که با ثابت نگاه داشتن میزان ریسک خطا و بدون وجود هیچ فرضی در زمینه توزیع احتمال داده‌ها، فاصله بین کلاس‌ها در فضای ویژگی بیشینه شود. این در حالی است که الگوریتم‌های طبقه‌بندی پارامتریک، همچون حداکثر احتمال، معمولاً توزیع احتمال خاصی را برای داده فرض می‌کنند. در این پژوهش از کرنل شعاعی (۲) استفاده گردید.

رابطه (۲)

$$-\|x - y\|^2 / 2\sigma^2 \quad \text{کرنل شعاعی}$$



$$K(X_i X_j) = e$$

بعد از طبقه بندی تصاویر برای حذف پیکسل های پراکنده و یک سان سازی بهتر طبقات فیلتر majority با کرنل سایز ۳\*۳ بکار گرفته شد.

(ج) ارزیابی صحت طبقه بندی تصاویر ماهواره ای

برای نتایج طبقه بندی یکی از مراحل مهم پس از طبقه بندی است. ارائه نتایج طبقه بندی بدون هیچ گونه پارامتری که کیفیت با صحت این نتایج را بیان کند، از ارزش آن ها می کاهد و در بعضی مواقع آن ها را بدون استفاده می کند. براین این نکته را باید در نظر داشت که همیشه در کنار انجام طبقه بندی، نتایج آن نیز ارزیابی شده و به کاربر عرضه گردند. متداول ترین روش های برای ارزیابی کمی صحت طبقه بندی، انتخاب تعدادی پیکسل از پیکسل های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آن ها با نتایج طبقه بندی هست. این داده های معلوم را واقعیت زمینی با داده های مرجع می نامند. انجام نمونه برداری از طریق بازدید زمینی یا با استفاده از داده های قبلی نظیر نقشه های موجود یا تصاویر هوایی - فضایی موجود، صورت می پذیرد. ارزیابی خطا و برآورد سخت طبقه بندی معمولاً بر اساس پارامترهای آماری است که از ماتریس خطا استخراج می شوند ماتریس خلاً که ماتریس ابهام نیز نامیده می شود حاصل مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل های معلوم در واقعیت زمینی با پیکسل های متناظر در نتایج طبقه بندی است. دو پارامتر اصلی که برای ارزیابی صحت طبقه بندی استفاده می شوند صحت کلی و ضریب کاپا می باشند

صحت کلی میانگینی از طبقه بندی است که نسبت پیکسل های صحیح طبقه بندی شده به جمع کل پیکسل های معلوم را نشان می دهد. یکی دیگر از پارامترهای سخت که از ماتریس خطا استخراج می شود ضریب کاپا است. ضریب کاپا طبقه بندی کاملاً تصادفی محاسبه می کند. به این معنی که مقدار کاپا صحت طبقه بندی را نسبت به یک طبقه بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه بندی شود به دست می دهد. این کار را می توان به این صورت معنی کرد که پس از حذف تأثیر شانس در طبقه بندی مقدار تطابق با واقعیت زمینی محاسبه خواهد شد. متداول ترین روش برای ارزیابی کمی دقت طبقه بندی انتخاب یک سری پیکسل های نمونه معلوم و مقایسه کلاس ها با نتایج طبقه بندی است. (حسنی تبار و جعفرزاده، ۱۳۹۵، ۱۸۷)

دقت کلی از نسبت مجموع پیکسل هایی که درسته طبقه بندی شده اند در محور اصلی ماتریس به کل پیکسل های طبقه بندی شده به دست آمد. دقت کلی با رابطه (۶) قابل بیان هست.

$$OA = \frac{1}{N} \sum p_{ii} \quad \text{رابطه (۶)}$$

OA دقت کلی،  $\sum p_{ii}$ : مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا، N: تعداد پیکسل های آزمایشی با توجه به اینکه برای نهایی نمودن نقشه لند فرم، باید همه شاخص های درست و نادرست طبقه بندی با یک و یا چند شاخص آماری معتبر برآزش داده شود از شاخص کاپا استفاده می شود، این شاخص با رابطه ۷ قابل بیان هست اگر مقدار کاپا برابر ۱ باشد در صد هماهنگی بسیار خوب است و اگر این ضریب صفر شود بیانگر عدم هماهنگی است.

رابطه (۷)

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n m_{i,i} - \sum_{i=1}^n G_i C_i}{N^2 - G_i C_i}$$

در این رابطه، K: شاخص کاپا، N: تعداد ردیف ماتریس طبقه بندی،  $m_{i,i}$ : عداد مشاهدات در ردیف و ستون (محور اصلی ماتریس)،  $C_i$ : مجموع مشاهدات در ردیف (مجموع ردیف برای هر لند فرم)،  $G_i$ : مجموع مشاهدات در ستون (مجموع ستون برای هر لند فرم)، N: مجموع کل مشاهدات ماتریس طبقه بندی (کرم و همکاران، ۱۳۹۶، ۶۴).

(د) آشکارسازی لند فرم ها

برای آشکارسازی تغییرات در دو مقطع زمانی تصاویر ماهواره‌ای از روش پس از طبقه‌بندی و تابع Change Detection Statistics استفاده گردید. این مدل به صورت آماری تغییرات لند فرم‌ها را در دو دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. سپس تابع Image Change Workflow برای تولید نقشه روند تغییرات بین دو دوره استفاده شد.

#### بحث و یافته‌ها

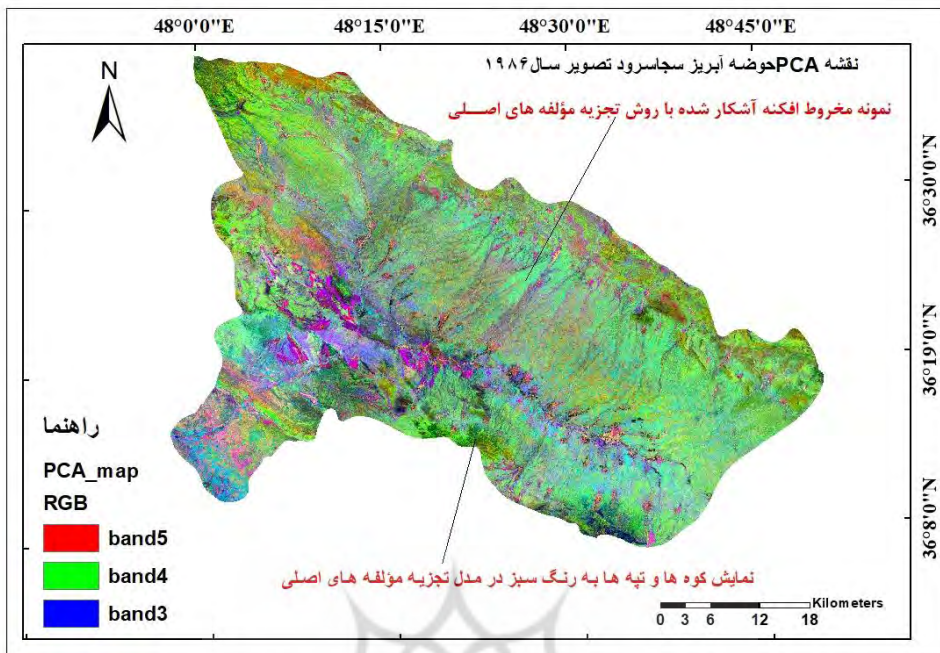
با توجه به شناخت منطقه، استفاده از نقشه رقومی توپوگرافی با فاصله منحنی‌های ۲۰ متر و استفاده از تصاویر گوگل ارث لند فرم‌های سطحی (پلی گونی) مهم ژئومورفولوژی حوضه آبریز سجاسرود شناسایی شد. لند فرم‌های سطحی مهم ژئومورفولوژی این حوضه آبریز که با روش‌های مذکور شناسایی شدند عبارت‌اند از کوه‌ها، تپه‌ها، مخروط افکنه‌ها، دشت آبرفتی، تراس‌های کوهستانی و رودخانه‌ای، آبرفت‌های اخیر و پوشش گیاهی. چون هدف تحقیق بررسی روند تغییرات پدیده‌های ژئومورفولوژی سطحی و مهم بود، از پدیده‌های ژئومورفولوژی دیگر که از نظر فراوانی و نوع با هدف تحقیق سازگار نبود، چشم‌پوشی گردید.



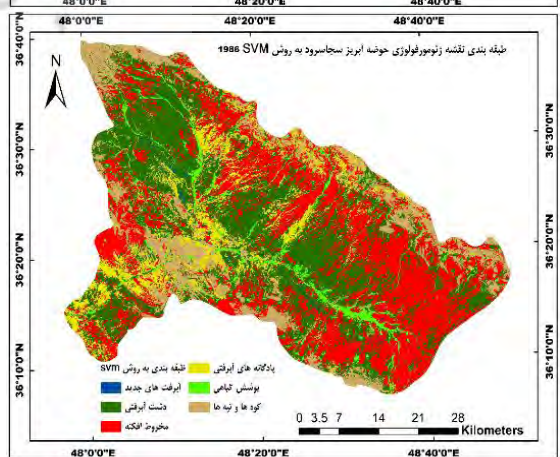
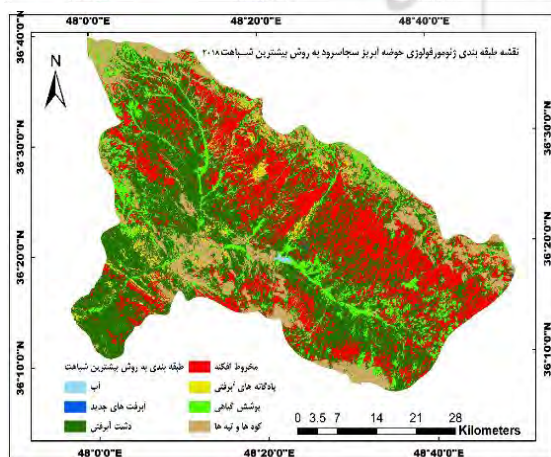
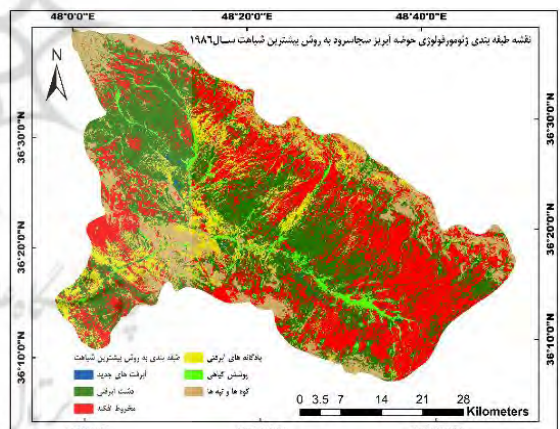
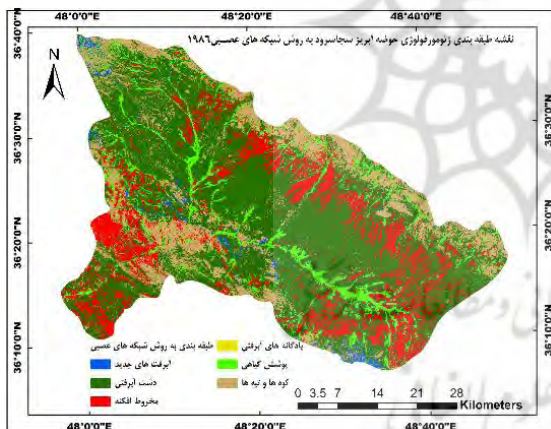
شکل ۴: نمونه‌ای از لند فرم‌های حوضه آبریز سجاسرود

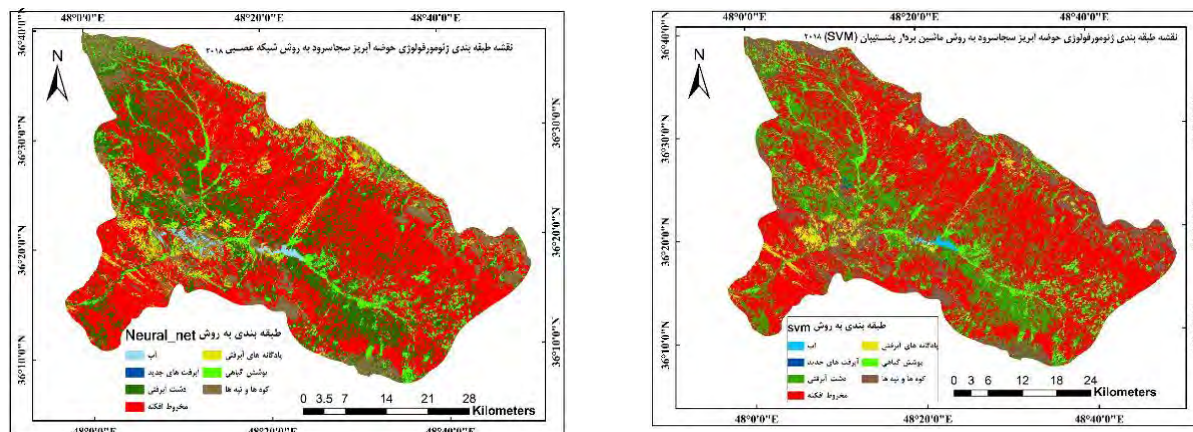
بعد از انجام فرایندهای مربوط به پیش‌پردازش در مرحله پردازش با استفاده مشاهده میدانی شکل (۴) و بهره‌گیری از ترکیب رنگی RGB و ترکیب رنگی کاذب (FCC<sup>۱</sup>)، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و فیلترهای بافتی نسبت به شناسایی بصری لند فرم‌های ژئومورفولوژی مهم اقدام گردید. شکل (۵) نمونه‌ای از روند شناسایی لند فرم‌هایی مثل مخروط افکنه و کوه‌ها را نشان می‌دهد. بعد از شناسایی کلی اشکال ژئومورفولوژی از روش‌های مختلف، جهت طبقه‌بندی نهایی تصاویر، ابتدا از طریق ترسیم لایه‌های وکتوری روی تصاویر RGB نسبت به ویرایش جدول اطلاعاتی آن اقدام گردید. سپس لایه‌های وکتوری تبدیل به نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس گردید. سرانجام با استفاده از نمونه‌های تعلیمی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال، شبکه‌های عصبی و ماشین بردار پشتیبان (SVM) شکل (۶) اجرا گردید.

<sup>۱</sup> - false color composite



شکل ۵: نقشه PCA باندهای ۵۴۳ جهت شناسایی بهتر لند فرمها ژئومورفولوژی





شکل ۶: نقشه‌های ژئومورفولوژی حاصل از طبقه‌بندی نظارت‌شده بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸

### ارزیابی صحت طبقه‌بندی

به‌منظور سنجش میزان صحت و دقت نقش‌های طبقه‌بندی از شاخص صحت کلی، ضریب کاپا، استفاده گردید. هر سه روش بکار گرفته‌شده برای طبقه‌بندی شکل (۶) از روش‌های دقیق و مهم طبقه‌بندی نظارت‌شده محسوب می‌شوند. به همین خاطر ضریب کاپا که از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی دقت طبقه‌بندی است، هرچند از لحاظ نتایج ارزیابی هر سه مدل شبکه‌های عصبی، ماشین بردار پشتیبان و حداکثر شباهت خیلی نزدیک به هستند، اما در مقایسه با هم روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت از لحاظ آماری و خروجی طبقه‌بندی نتیجه بهتری داشت. لذا برای آشکارسازی تغییرات عوارض ژئومورفولوژی از طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده گردید. در جدول (۲) نتایج حاصل از ارزیابی این مدل‌ها آورده شده است.

جدول ۲: ارزیابی دقت طبقه‌بندی الگوریتم‌های شبکه عصبی، حداکثر شباهت و ماشین بردار پشتیبان

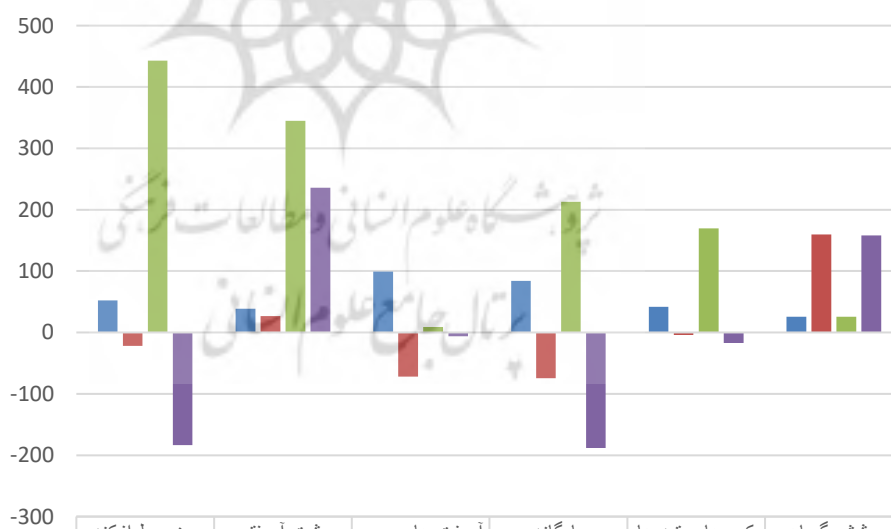
سال ۲۰۱۸		سال ۱۹۸۶		الگوریتم‌های طبقه‌بندی
ضریب کاپا	دقت کل (به درصد)	ضریب کاپا	دقت کل (به درصد)	
۰/۹۵۸۷	۹۸/۱۸	۰/۹۶	۹۷/۷۰	حداکثر شباهت
۰/۹۳۳۷	۹۶/۷۴	۰/۹۶	۹۷/۶۰	ماشین بردار پشتیبان
۰/۹۵	۹۷/۶۹	۰/۸۹	۹۵/۷۲	شبکه‌های عصبی

به‌منظور آشکارسازی میزان تغییرات لند فرم‌های ژئومورفولوژی، در فرایند پس پردازش، از دو تابع تحلیل روند تغییرات در نرم‌افزار ENVI روی نقشه طبقه‌بندی شده حداکثر شباهت استفاده گردید. خروجی این توابع در قالب جدول (۳) و شکل (۸) آورده شده است.

جدول ۳: ماتریس تغییرات مساحت لند فرم‌های ژئومورفولوژی به کیلومتر مربع نسبت به هم در طول دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ و درصد تغییرات کلاس‌های مختلف و تصویر طبقه‌بندی شده به روش حداکثر شباهت

نوع لند فرم	مخروط افکنه	دشت آبرفتی	آبرفت‌های جدید	پادگانه‌های آبرفتی	کوه‌ها و تپه‌ها	پوشش گیاهی	مجموع ردیف	مجموع کلاس‌ها
مخروط افکنه	۴۰۱/۶۸	۲۰۳/۶۳	۰/۲۵	۲۶/۸	۲۵/۷۹	۲/۶۶	۶۶۰/۸۲	۶۶۱/۰۳
دشت آبرفتی	۳۵۴/۱۷	۵۴۱/۹۶	۷/۵۶	۱۳۴/۲۳	۷۷/۴۳	۱۶/۲۹	۱۱۲۱/۶۵	۱۱۲۲/۲۵
آبرفت‌های جدید	۰/۶۳	۱/۸۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۲/۵۴	۲/۵۴
پادگانه آبرفتی	۷/۰۱	۵/۸۷	۰/۰۱	۳۹/۶۵	۱۱/۱۱	۰/۳۴	۶۳/۹۹	۶۴/۰۵
پوشش گیاهی	۵۶/۸۳	۶۶/۹۹	۰/۱۲	۵/۳۴	۵۴/۲۴	۷۳/۵۸	۲۵۷/۱۱	۲۵۷/۳۹
منابع آب	۰/۲۸	۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۸	۲/۲۶	۲/۲۶
کوه‌ها و تپه‌ها	۲۳/۶۱	۶۵/۵۶	۰/۹۶	۵۶/۰۹	۲۳۶/۴۹	۵/۴۹	۳۸۸/۲	۳۸۸/۸۷
مجموع کلاس‌ها	۸۴۴/۶۶	۸۸۶/۶۵	۸/۹۸	۲۵۲/۵۲	۴۰۵/۹۱	۹۹/۱۹	۰	۰
تغییرات مساحت کلاس‌ها	۴۴۲/۹۸	۳۴۴/۶۹	۸/۹۱	۲۱۲/۸۷	۱۶۹/۴۲	۲۵/۶۱	۰	۰
تغییرات مساحت دو تصویر	-۱۸۳/۶۳	۳۳۵/۶	-۶/۴۴	-۱۸۸/۴۷	-۱۷/۰۴	۱۵۸/۱۹	۰	۰
درصد تغییرات کلاس‌ها	۵۲/۴۴	۳۸/۸۷	۹۹/۳۷	۸۴/۳۰	۴۱/۷۴	۲۵/۸۲	۰	۰
درصد تغییرات دو تصویر	-۲۱/۷۴	۲۶/۵۷	-۷۱/۷۱	-۷۴/۶۳	-۴/۲۰	۱۵۹/۴۸	۰	۰

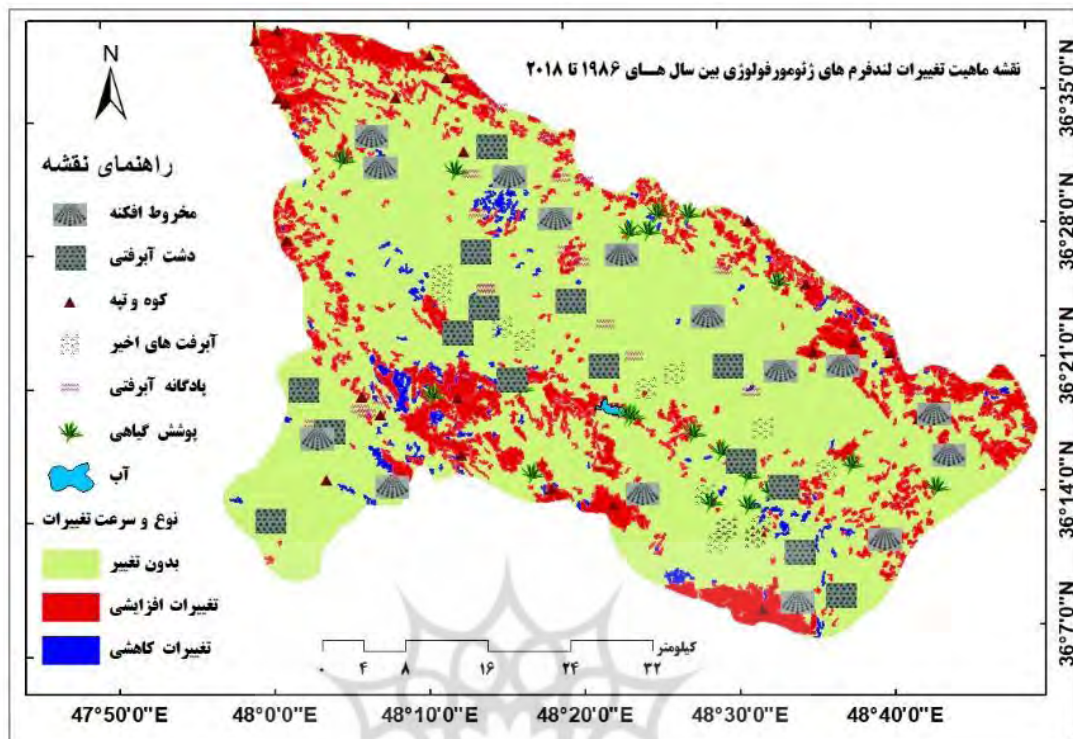
تغییرات درصد و مساحت کلاس‌ها (کیلومتر مربع) تصاویر مربوط به دو زمان ۱۹۸۶ و ۲۰۱۸



	پوشش گیاهی	کوه‌ها و تپه‌ها	پادگانه	آبرفت‌های جدید	دشت آبرفتی	مخروط افکنه
درصد تغییرات کلاس‌های مختلف	25.823	41.738	84.299	99.268	38.875	52.445
درصد تغییرات کلاس‌ها	159.479	-4.199	-74.635	-71.708	26.572	-21.74
تغییرات مساحت کلاس‌های مختلف	25.61	169.42	212.87	8.91	344.69	442.98
تغییرات مساحت کلاس‌ها	158.19	-17.04	-188.47	-6.44	235.6	-183.63

شکل ۷: نمودار تغییرات مساحت و درصد کلاس‌ها و نقشه‌های طبقه‌بندی شده مربوط به دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸

آنچه از جدول (۳) و شکل (۷) استنباط می‌شود تغییرات گسترده در مساحت لند فرم‌های سطحی ژئومورفولوژی مهم حوضه آبریز سجاسرود است که نشان از پویایی فرایندهای مؤثر در لند فرم‌ها و عملکرد قوی نیروهای زمین‌ساخت به‌خصوص دینامیک بیرونی و فعالیت‌های انسانی در تحول و تکامل فرم‌های ژئومورفولوژی است. با توجه به آمار و اطلاعات به دست آمده در طول ۳۲ سال، مخروط افکنه‌ها و پادگانه‌های کوهستانی و رودخانه‌ای بیشترین تغییر کاهشی را داشتند. در عوض مساحت دشت‌های آبرفتی و پوشش گیاهی شکل (۷ و ۸) تغییر افزایشی قابل‌ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. مساحت نواحی کوهستانی، تپه‌ماهوری و آبرفت‌های اخیر نیز تغییر کاهشی ناچیزی را نشان می‌دهند. 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 برمی‌گردد. گسترش مخروط افکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی و آبرفت‌های جدید ارتباط وسیع با میزان نزولات جوی به‌خصوص بارش برف دارد که متأسفانه در سه دهه گذشته با کاهش مواجه بودند. از طرفی فعالیت‌های کشاورزی طی سه دهه اخیر با رشد سرسام‌آوری روبرو بوده که هم باعث تغییر کاربری در بستر ژئوفرم‌های گوناگونی مانند مخروط افکنه، دامنه کوه‌ها، تپه‌ها، پادگانه‌ها و بستر آبرفت‌های اخیر شده است و هم ویژگی فیزیکی و شیمیایی و زیستی عوارض سطح زمین دچار تغییر و دگرگونی گردیده است. به علت اینکه در فرایند طبقه‌بندی پیکسل مینا کوچک‌ترین تغییر در عوارض سطح زمین در باندهای طیفی مختلف تصاویر ماهواره‌ای خود را نشان می‌دهد. لذا تغییرات مکانی از نظر مساحت و شکل در طول یک دوره ۳۰ ساله کاملاً طبیعی و منطقی است. فعالیت‌های مربوط به کریوکلستی، ترموکلستی و بارش برف و باران دائماً سبب فرسایش پهنه‌های کوهستانی و تپه‌ماهوری می‌شوند. از طرفی فعالیت‌های کشاورزی در دامنه کوه‌ها و تپه‌ها بازتاب امواج الکترومغناطیسی ماهواره‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در نتیجه ممکن است در طبقه‌بندی تصاویر بخش‌هایی از لند فرم‌های ذکرشده در کلاس مربوط به پوشش گیاهی قرار بگیرند. در شکل (۸) روند تغییرات لند فرم‌ها را از لحاظ شدت یا عدم شدت تغییرات ملاحظه می‌کنید. منظور از روند افزایشی و یا کاهشی، بیشتر شدت و سرعت تغییرات است. البته متناسب با نوع عملکرد نیروها، طی ۳۲ سال گذشته تغییرات شکلی و مکانی در بستر رودخانه، دامنه‌ها، تپه‌ماهورها و تراس‌های آبرفتی و سایر اشکال ژئومورفولوژی روی داده است. ولی هدف نقشه (شکل ۸) بیشتر نمایش شدت یا ضعف عوامل و نیروهای اثرگذار در روند تغییرات لند فرم‌ها است.

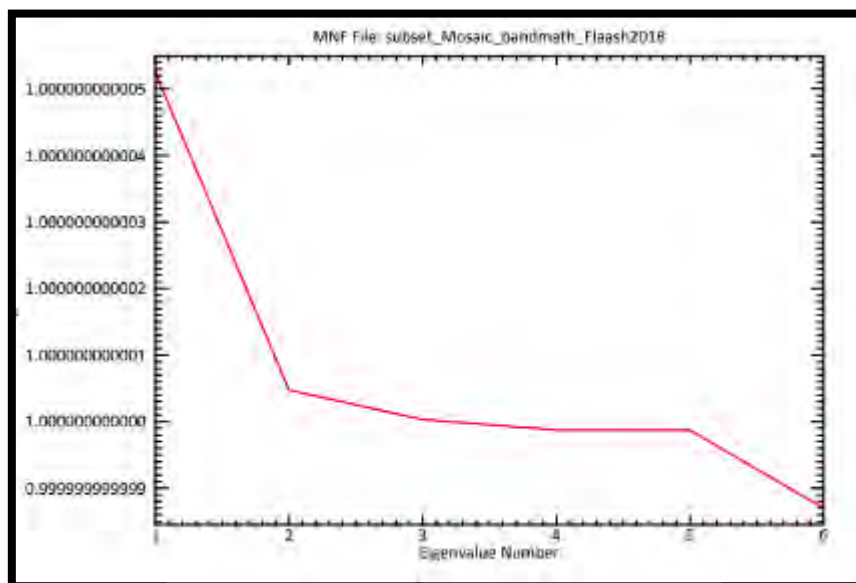


شکل ۸: نقشه روند تغییرات بر روی نقشه طبقه بندی حداکثر شباهت با استفاده از الگوریتم Image Change Workflow

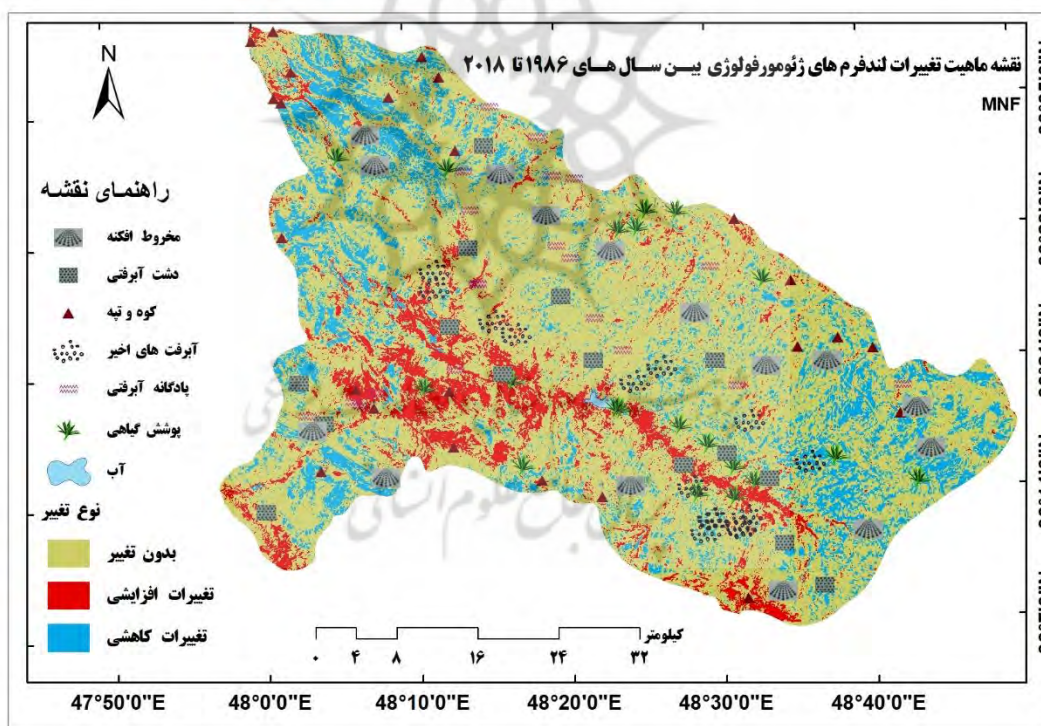
الگوریتم Image Change Workflow علاوه بر اعمال بر روی تصاویر طبقه بندی شده برای تصاویر RGB و الگوریتم های دیگر مانند PCA، MNF قابل اجرا است. به منظور مقایسه و درک بهتر روند تغییرات بین تصاویر ماهواره ای ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ بعد از انجام مرحله پیش پردازش الگوریتم MNF<sup>۱</sup> برای هر دو تصویر انجام گرفت. این روش مدل تصحیح شده PCA است. حجم وسیع داده های سنجنش از دور در تصاویر چند طیفی و فرا طیفی، اغلب باعث بروز مشکلاتی در تجزیه و تحلیل این تصاویر می شود. در این گونه تصاویر پیکسل های تصویر پس زمینه تصویر مختلط است و بنابراین تصاویر از وضوح کافی، برخوردار نیست. این اختلاط محقق را به خصوص در فرآیند طبقه بندی تصاویر با مشکل مواجه می سازد و محقق در مواجهه با پیکسل های مخلوط نخواهد توانست کلاس درست را اختصاص دهد و اغلب پیکسل های مخلوط در کلاس اشتباه قرار خواهد گرفت. یکی از روش های متداول برای رفع ابهام پیکسل های مخلوط روش MNF است. این تبدیل یک تبدیل خطی است که برای مشخص کردن بُعد و حجم اصلی تصویر، جدا کردن نویز از دیگر اطلاعات و کاهش میزان پردازش در مرحله بعد استفاده می شود (بینقی، و همکاران، ۱۳۹۳، ۳۹).

بعد از ایجاد تصاویر MNF دو زمانه با استفاده از الگوریتم Image Change Workflow که یکی از بهترین توابع نرم افزار ENVI برای آشکارسازی تغییرات سری زمانی است، نسبت به آشکارسازی تغییرات لند فرمها در حوضه مورد مطالعه پرداخته شد. تصاویر ورودی تصاویر MNF بود. از باند یک MNF به علت برخورداری از بیشترین اطلاعات طیفی شکل (۹) برای آشکارسازی استفاده گردید. همان طور که در شکل ۹ دیده می شود، بیشترین اطلاعات در باند یک قرار دارد. لذا باند یک برای الگوریتم Image Change Workflow معرفی شد. سرانجام نقشه (شکل ۱۰) به عنوان خروجی این تابع به دست آمد.

<sup>1</sup> - Minimum Noise Fraction Transform

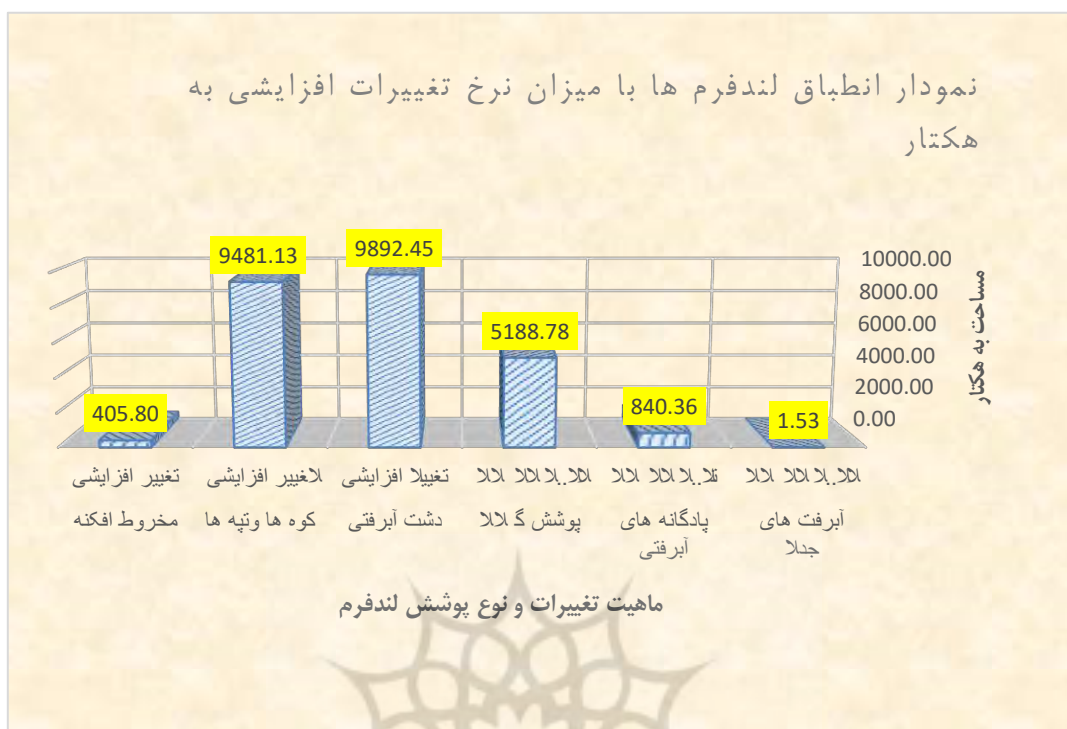


شکل ۹: نمودار اطلاعات طیفی باندهای تابع mnf تصویر لندست OLI

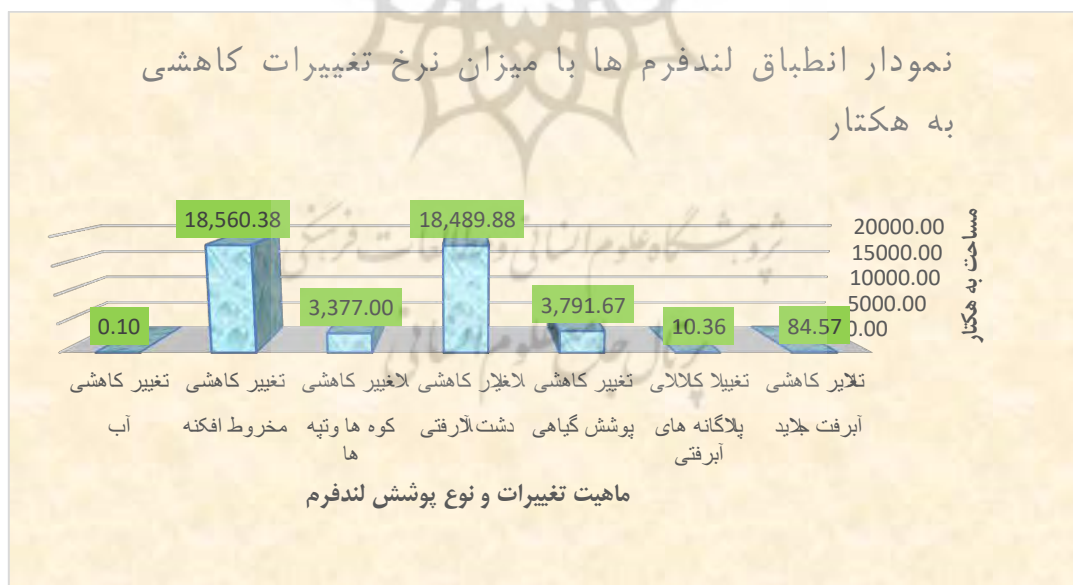


شکل ۱۰: نقشه روند تغییرات لند فرم‌های حوضه آبریز سجا سرود با استفاده از الگوریتم Image Change Workflow و تابع MNF بعد از ترسیم و استخراج نقشه آشکارسازی تغییرات لند فرم‌ها برای درک بهتر و تجزیه و تحلیل راحت‌تر، نقشه تغییرات مربوط به دو دوره زمانی (MNf) با نقشه لند فرم‌های حاصل از طبقه‌بندی حداکثر احتمال در محیط نرم‌افزار ArcGIS تلفیق گردید و اطلاعات آماری زیر به دست آمد. در بخش نرخ تغییرات افزایشی دشت آبرفتی با رقم ۹۸۹۲/۴۵ هکتار بیشترین و در بخش تغییرات کاهش‌ی مخروط افکنه‌ها با رقم ۱۸۵۶۰/۳۸ هکتار بیشترین سهم را به خود اختصاص دادند.





شکل ۱۱: نمودار انطباق لند فرم های ژئومورفولوژی با میزان روند تغییرات افزایشی با استفاده از روش MNF



شکل ۱۲: نمودار انطباق لند فرم های ژئومورفولوژی با میزان روند تغییرات کاهششی با استفاده از روش MNF

### نتیجه گیری

پدیده های ژئومورفولوژی دائماً توسط نیروهای زمین ساخت، عوامل دینامیک بیرونی مانند اقلیم و فعالیت های انسانی دستخوش تغییر و دگرگونی هستند. در گذشته های دور ریشه یابی تغییرات گسترده پدیده های ژئومورفولوژی کاری زمان بر و طاقت فرسا بود. ولی در سال های اخیر به لطف فناوری های سنجنش از دور ثبت کوچک ترین تغییرات محیطی کار را برای

پژوهش گران ژئومورفولوژی راحت‌تر کرده است. منطقه کوهستانی حوضه آبریز سجاسرود و پدیده‌های متنوع ژئومورفولوژی آن به واسطه فرایندهای مختلف ژئومورفولوژی در حال تغییر و تحول است. برای بررسی تغییرات ژئومورفولوژی لند فرم‌های سطحی این حوضه آبریز و کشف تغییرات ۳۲ ساله آن از تصاویر ماهواره‌ای لندست کمک گرفته شد. بعد از انجام مراحل پیش‌پردازش، پردازش و پس پردازش، ژئو فرم‌ها با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استخراج گردیدند. روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت از نظر صحت کلی و ضریب کاپا نسبت به دو الگوریتم دیگر نتایج بهتری داشت. سپس با به‌کارگیری دو تابع Change Detection Statistics و Image Change Workflow در محیط نرم‌افزار ENVI که در زمینه آشکارسازی تغییرات کاربرد دارند، نسبت به استخراج تغییرات به شکل آماری و نقشه اقدام گردید. نتایج مدل آماری Change Detection Statistics نشان داد پهنه‌های پوشش گیاهی و دشت آبرفتی به ترتیب ۱۵۹/۴۷ و ۲۶/۵۷ درصد نسبت به ۳۲ سال قبل مساحتشان افزایش یافته است. در مقابل کوه‌ها و تپه‌ها، پادگان‌های آبرفتی، مخروط افکنه و آبرفت‌های جدید جدول (۳) با کاهش مساحت مواجه بودند. این نتایج با نتایج تحقیق شایان (۱۳۹۱) و کرم (۱۳۹۶) از نظر تغییرات مساحت لند فرم‌ها همسو هست. بدین معنی که تحقیقات این محققین هم نشان از تغییرات در مساحت لند فرم‌ها را منعکس کرده است. الگوریتم Image Change Workflow شدت روند تغییرات را با استفاده از تابع MNF طبق شکل‌های (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) آشکار و نمایان ساخت. بزرگ‌ترین تغییرات افزایشی مربوط به دشت‌های آبرفتی و کوه‌ها و تپه‌ها و بزرگ‌ترین تغییرات کاهش‌ی مربوط به مخروط افکنه است. تغییرات ژئو فرم‌ها به دلیل عوامل طبیعی و انسانی شکل می‌گیرد. عوامل طبیعی در راستای 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 فرایندهای ژئومورفولوژی 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 و نیز فعالیت‌های عمرانی گوناگون مانند جاده سازی، سدسازی، احداث کارخانه و صنایع مختلف و غیره،... و بهره برداری بیش از ظرفیت منابع آب، گرمایش جهانی، تخریب و از بین بردن اکوسیستم‌ها از دلایل اصلی در بهم زدن تعادل ژئومورفیک در سطح زمین است. پیشنهاد می‌شود، در راستای حل مشکلات مدیریت محیط و مخاطرات طبیعی و زیست‌محیطی پژوهشگران پرتلاش ژئومورفولوژی کشور و جهان روند تغییرات پدیده‌های ژئومورفولوژی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی مطلوب رصد کرده و مسئولین جهانی و کشوری را از نتایج فاجعه بار فعالیت‌های نادرست انسانی آگاه سازند تا شاید مرهمی باشد بر کالبد نیمه جان لند فرم‌های گوناگون ژئومورفولوژی که روز به روز با دخالت‌های غیر منطقی انسان در محیط به سوی ناتعادلی پیش می‌روند.

## منابع

- آرخی، صالح؛ و مومنی طارمسری، محمد. (۱۳۹۴). آموزش تصویری نرم افزار انوی ۵. استان گلستان: دانشگاه گلستان.
- ارجمند زاده، رضا؛ دبیری، رحیم؛ و الماسی، علیرضا. (۱۳۹۷). کاربرد نرم افزار ENVI در علوم زمین. تهران: آذرین مهر.
- بینقی، مریم؛ علی آبادی، کاظم؛ و امیر احمدی، ابوالقاسم. (۱۳۹۳). شناسایی اهداف محیطی با استفاده از روش MTMF و MNF (مطالعه‌ی موردی جنوب غرب سبزوار). ژئومورفولوژی کاربردی ایران، ۲(۳)، صص ۳۲-۴۶.

- جوی زاده، سعید؛ قمرزاده، میلاد؛ براهیمی، منیژه؛ و شمس آبادی، منیژه. (۱۳۹۶). آموزش کاربردی ENVI (مقدماتی و پیشرفته). تهران: انتشارات دانشگاهی کیان.
- حسنی تبار، سید محمد؛ و جعفرزاده، جعفر. (۱۳۹۵). گامی نو در پردازش تصاویر ماهواره ای (مبانی و کاربرد) Envi 5.3. تهران: ناقوس.
- رضایی مقدم، محمد حسین؛ نیکجو، محمدرضا؛ و کیانی، وحید. (۱۳۹۵). تحلیل کمی مورفولوژی مجرای رودخانه سجاسرود قبل و بعد از احداث سد گلابر (پایین دست سد) (پایان نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه تبریز، دانشگاه تبریز.
- زبیری، محمود؛ و مجد، علیرضا. (۱۳۹۲). آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی. تهران: دانشگاه تهران، موسسه انتشارات و چاپ.
- سیف عبدالله؛ تقی زاده عبدالحکیم؛ و پورعلی ملیحه. (۱۳۹۱). بررسی تغییرات ژئومورفولوژی سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: سواحل بندر آبادان تا بندر بوشهر). در دانشگاه فردوسی مشهد. همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی.
- سیاوش شایان؛ فاطمه ملامهرعلیزاده؛ و مهدی جنتی. (۱۳۸۴). کارایی داده های سنجش از دور (RS) در تهیه نقشه های لندفرم و نقش آن در برنامه ریزی محیطی. فصلنامه مدرّس علوم انسانی، ۹(۴)، صص ۱۱۱-۱۴۸.
- کرم، امیر؛ رعیتی شوازی، منیره؛ حمیدرضا غفاریان المیری؛ و عادل سپهر. (۱۳۹۶). مقایسه کارایی برخی الگوریتم های طبقه بندی در مطالعه تغییرات لندفرم های بیابانی دشت یزد-اردکان. مجله پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۶(۱)، صص ۷۳-۵۷.
- مختاری، محمد حسین؛ و نجفی، احمد. (۱۳۹۴). مقایسه روش های طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج کاربری های اراضی از تصاویر ماهواره ای لندست TM. نشریه علوم آب و خاک - علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۹(۷۲) صص ۳۵-۴۵.
- مکرم مرضیه؛ و حجتی مجید. (۱۳۹۵). مقایسه طبقه بندی لندفرم ها با استفاده از روش های قدیمی (استفاده از ارتفاع و شیب و انحناء) و شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) در جنوب بجنورد. اکوپرشیا، ۲(۴) صص ۱۳۴۳-۱۳۵۷.
- ملکی امجد؛ مارابی هاجر؛ و رحیمی حمید. (۱۳۹۵). ارزیابی شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) در زون سندج- سیرجان و زاگرس شکسته. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۵(۵) صص ۱۲۹-۱۴۱.
- یمانی، مجتبی. (۱۳۹۴). نقشه های ژئومورفولوژی روش ها و تکنیک ها. تهران: دانشگاه تهران.
- Anders, N. S.; Seijmonsbergen, A. C.; & Bouten, W. (2013). *Geomorphological Change Detection Using Object-Based Feature Extraction From Multi-Temporal LiDAR Data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 10(6), 1587-1591.*
- Bugnicourt, Pierre; Guitet, Stéphane; Santos, Valdenira F.; Blanc, Lilian; Sotta, Eleneide D.; Barbier, Nicolas; & Coueron, Pierre. (2018). *Using textural analysis for regional landform and landscape mapping, Eastern Guiana Shield. Geomorphology, 317, pp 23-44.*
- Guha, Arindam; Roy, Priyom; Singh, Swati; & Kumar, K. Vinod. (2018). *Integrated Use of LANDSAT 8, ALOS-PALSAR, SRTM DEM and Ground GPR Data in Delineating Different Segments of Alluvial Fan System in Mahananda and Tista Rivers, West Bengal, India. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 46(4), pp 501-514.*
- Liu, Xiaoye. (2008). *Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. Progress in Physical Geography, 32(1), pp 31-49.*

- Mitasova, Helena; Overton, Margery F.; Recalde, Juan José; Bernstein, David J.; & Freeman, Christopher W. (2009). Raster-Based Analysis of Coastal Terrain Dynamics from Multitemporal Lidar Data. *Journal of Coastal Research*, 507-514.
- Nair, Hema C.; Joseph, Ammini; & Padmakumari Gopinathan, Vinod. (2018). GIS Based landform classification using digital elevation model: a case study from two river basins of Southern Western Ghats, Kerala, India. *Modeling Earth Systems and Environment*.
- Qi, Wenjuan; Yang, Xiaomei; Wang, Zhihua; Li, Zhi; Yang, Fengshuo; & Zheng, Zhiling. (2018). Fast Landform Position Classification to Improve the Accuracy of Remote Sensing Land Cover Mapping. *Earth Sciences*, 7(1), 23.
- Smith, Mike J.; Chandler, Jim; & Rose, James. (2009). High spatial resolution data acquisition for the geosciences: kite aerial photography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(1), pp155-161.
- Solazzo, Daniel; Sankey, Joel B.; Sankey, Temuulen Ts.; & Munson, Seth M. (2018). Mapping and measuring aeolian sand dunes with photogrammetry and LiDAR from unmanned aerial vehicles (UAV) and multispectral satellite imagery on the Paria Plateau, AZ, USA. *Geomorphology*, 319, pp174-185.
- Ventura, Guido; Vilaro, Giuseppe; Terranova, Carlo; & Sessa, Eliana Bellucci. (2011). Tracking and evolution of complex active landslides by multi-temporal airborne LiDAR data: The Montaguto landslide (Southern Italy). *Remote Sensing of Environment*, 115(12), pp3237-3248.
- Xiong, Li-Yang; Zhu, A.-Xing; Zhang, Lei; & Tang, Guo-An. (2018). Drainage basin object-based method for regional-scale landform classification: a case study of loess area in China. *Physical Geography*, 0(0), pp1-19.