

## ارزیابی نتایج تغییرات کاربری اراضی بر دبی رودخانه دره رود در بازه زمانی ۳۰ ساله با استفاده از مدل HEC\_HMS

رسول حسن زاده- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.  
فریبا اسفندیاری درآباد- استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.  
صیاد اصغری سراسکانرود\* - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱      تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶

### چکیده

در تحقیق حاضر از روش مبتنی بر شی گرا در تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دره رود با استفاده از تصاویر لندست ۵ با سنجنده TM و لندست ۸ با سنجنده OLI در یک بازه زمانی ۳۰ ساله، از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ و تاثیرات آن بر تغییرات دبی رودخانه دره رود مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر ماهواره‌ای در چهارده کلاس طبقه‌بندی شد و تغییرات مساحتی کلاس‌ها در بعد ۳۰ ساله مشخص شد که کلاس‌های کشت آبی، زراعت دیم، مناطق سنگی، مناطق مسکونی، باغات و دریاچه دارای افزایش مساحت و زمین‌های بایر، مراتع، اراضی جنگلی و بستر رودخانه دارای کاهش مساحت بوده‌اند برای پی بردن به تغییرات روند جریانی رودخانه، از روش SCS استفاده شد که در مدل HEC\_HMS اجرا گردید و حوضه آبریز دره رود به صورت چهار زیر حوضه مشیران، هوراند، سمبور و بوران تقسیم شده و با توجه به کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۹ شماره منحنی CN و زمان تاخیر رواناب زیرحوضه‌ها به همراه ضریب K و X به مدل معرفی شد و اجرا گردید. نتایج نشان داد که اوج رواناب در زیرحوضه مشیران با کاهش ۷ مترمکعب و کاهش ۸/۵ میلی‌متر حجم رواناب و در زیرحوضه هوراند با کاهش ۸/۶ متر مکعب اوج رواناب و کاهش ۱۲ میلی‌متر حجم رواناب و زیر حوضه سمبور با کاهش ۲/۲ متر مکعب اوج رواناب و کاهش ۱۲ میلی‌متر حجم رواناب همراه بوده است در حالی که در زیر حوضه بوران بر خلاف سه زیر حوضه قبلی افزایش اوج رواناب به میزان ۱۰ متر مکعب در ثانیه و افزایش حجم رواناب به میزان ۹/۶ میلی‌متر برآورد شده است.

واژگان کلیدی: تغییر کاربری اراضی، طبقه‌بندی شی‌گرا، مدل HEC\_HMS روش SCS

## مقدمه

استفاده از زمین و تغییر پوشش زمین یک منطقه نتیجه ای از جنبه های طبیعی و اقتصادی - اجتماعی و عملکرد آنها توسط انسان در زمان و مکان است. تغییرات پوشش کاربری زمین بیشتر تحت تأثیر افزایش و کاهش رشد جمعیت در سیستم می باشد که متاثر از رشد اقتصادی و عوامل فیزیکی از جمله توپوگرافی، وضعیت شیب، نوع خاک و آب و هوا می باشد (تواب، ۲۰۲۰، ۲). تغییر کاربری اراضی مستقیماً بر میزان تبخیر و تعرق، نفوذ آبهای زیرزمینی و رواناب های زمینی تأثیر می گذارد. تغییر پوشش زمین استفاده از زمین با توجه به پویایی جهانی و پاسخ آنها به محرک های زیست محیطی و اقتصادی - اجتماعی مسئله مهمی است (اسپروس و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰، ۱). بنابراین حوضه های آبریز به عنوان یک اکوسیستم باز با ورودی های انرژی خورشیدی و نزولات جوی که عامل به وجود آورنده ی دبی، رسوب و پوشش گیاهی می باشد (بلوآسی و همکاران، ۱۳۹۹، ۳۳۲) از مهمترین مکان های جذب جمعیت بوده و نیروی انسانی نیز بر اساس نیاز های خود و تامین آنها دست به تغییرات کاربری زمین زده و این تغییرات نیز تأثیر مهمی در رواناب، نفوذ و رسوب حوضه آبریز می نماید. به دلیل تخریب منابع و بدتر شدن بهره‌وری کشاورزی و همچنین تغییر در روند اتلاف منابع در سطح چشم انداز حوضه آبریز و تقاضای اقدامات پرهزینه، در جریان خسارت های ناشی از این فعالیت ها بر آن می دارد تا مطالعات اساسی بر روی حوضه های آبریز انجام شود (خلید حسین و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۰، ۱۱۵). با گسترش تکنولوژی سنجش از دور، حجم وسیعی از داده های مکانی در دسترس قرار گرفته اند. داده های ماهواره ای به عنوان سریعترین و کم هزینه ترین روش ها در اختیار محققان جهت تهیه نقشه کاربری اراضی می باشند. در سال های اخیر برای استخراج اطلاعات کاربری اراضی از تصاویر رقومی ماهواره ای روش های متفاوتی ارائه شده که هر یک دارای نقاط ضعف و برتری خاص خود می باشند. از میان تکنیک های موجود، روش های پردازش شیء - گرا به جهت بهره مندی از الگوریتم های دانش پایه توانسته اند بر ضعف روش پیکسل پایه در فرایند طبقه بندی تصاویر ماهواره ای غلبه کنند و لذا به علت گستردگی حوضه های آبریز و هزینه بر بودن و وقت گیر بودن مطالعات میدانی، مناسب ترین روش برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی می باشد (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶، ۲۰۶) که در تحقیق حاضر نیز مد نظر قرار گرفته شده و مورد استفاده واقع گردید. مدل های هیدرولوژی یکی از بهترین جایگزین ها برای مطالعات جامع حوضه های آبریز می باشد و در این اثباتی، مدل HEC-HMS یک برنامه رایانه ای است که بر اساس برنامه تحقیق و توسعه USACE ایجاد شده است و اولین بار توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیک HEC در سال ۱۹۹۲ منتشر شد. HEC-HMS می تواند روند مسیریابی باران - رواناب را شبیه سازی کند. HEC-HMS برخی از اجزای خارق العاده را برای شبیه سازی مسیریابی بارش و رواناب مانند گزینه های مشخصات بارش، مدل های از دست دادن برای ارزیابی رواناب حجم، مدل تبدیل برای بارندگی اضافی، مدل های هیدرولیک مسیریابی برای ذخیره سازی و شار انرژی، مدل Baseflow و مدل های اقدامات کنترل آب (از جمله واگرایی و ذخیره سازی) را می تواند فراهم کند (ساهو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰، ۱۸۴). حوضه آبریز دره رود که در بخش شمالی استان اردبیل و شمال شرقی استان آذربایجان شرقی واقع شده است یکی از مهمترین حوضه های آبریز شمال شرقی ایران محسوب می شود که سد خاکی عمارت در پایین دست این حوضه آبریز در حال احداث می باشد و برای اینکه بتوان بهره برداری مناسب با مدیریت برنامه ریزی شده از این سد خاکی را حاصل کرد، مهم می نماید تا تغییرات کاربری اراضی حوضه و تأثیری که این تغییرات کاربری می تواند بر رواناب حوضه را داشته باشد، به صورت آگاهانه شناخت و تدابیر و عملکردهای علمی و اصولی را در خصوص شناخت این فرایند مدنظر قرار داد؛ لذا با توجه به اهمیت امروزه و جهانی داده های سنجش از دور در مطالعات جغرافیایی به خصوص تصاویر ماهواره ای لندست، حوضه آبریز دره رود با استفاده از

1. Juseph Spruse et al

2. Khalid Huseyn et al

3. Salil Saho et al

تصاویر ماهواره‌ای لندست و روش طبقه‌بندی شی‌گرا از نظر تاثیرات تغییرات کاربری اراضی بر میزان رواناب حوضه آبریز دره‌رود مورد مطالعه قرار گرفت و جهت برآورد تاثیر آن بر رواناب حوضه از مدل رواناب HEC-HMS بهره گرفته شد. تاثیر تغییرات کاربری زمین بر رواناب منطقه مرکزی پکن از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۹ میلادی با استفاده از تصاویر لندست و مدل (SCS-CN) محاسبه شد و نتیجه نشان داد که روند تغییرات رواناب سطحی با روند زمین‌های غیرقابل نفوذ در منطقه مرکزی پکن مطابقت دارد که طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۹ افزایش یافته و طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ کاهش یافته است. تجزیه و تحلیل همبستگی نشان داد که تغییرات در رواناب سطحی در مقایسه با همبستگی رواناب با انواع دیگر کاربری اراضی با توجه به تغییرات در سطوح غیرقابل نفوذ به شدت مرتبط است (شان‌شان هوو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰، ۱-۱۵).

در حوضه آبریز رودخانه مین تاثیر تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین بر رواناب رودخانه در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ میلادی با استفاده از شبیه‌سازی توزیع فضایی رواناب مبتنی بر GIS در پنج سناریو مطالعه شد و برای تعیین مدل منطقه‌ای از ابزار ارزیابی خاک و آب بهره گرفته شد و نتایج نشان داد که از ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴، تأثیر رواناب میانگین سالانه شبیه‌سازی شده ناشی از تغییرات کاربری اراضی ۱۲/۶۱ مترمکعب در ثانیه بود و از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴، اثر هیدرولوژیکی ناشی از تغییرات کاربری اراضی ۳۸/۳ مترمکعب در ثانیه شده است (کایما و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۰، ۷۵۹-۷۴۹). نقش تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز پومپانگ بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ مورد مطالعه قرار گرفت و در این مطالعه برای تجزیه و تحلیل مدل هیدروگراف واحد سنتز از مدل (HSS) با روش ناکایاسو<sup>۳</sup> استفاده شد و نتیجه نشان داد که میزان تخلیه رواناب سطحی (Qp) در حوضه آبریز پمپانگ به شدت تحت تأثیر تغییرات کاربری زمین قرار دارد. این تغییر از سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳ با کاهش مقدار 0.001 C و در نتیجه مقادیر 0.943 Qp مترمکعب در ثانیه رخ داده است، مقدار C در ۲۰۱۴-۲۰۱۵ به میزان ۰/۰۰۷ کاهش یافته و در نتیجه Qp مقدار ۵/۳۹۵ مترمکعب در سال ۲۰۱۵ و در سال ۲۰۱۸ به مقدار 0.116 C در مقادیر 100.512 Qp مترمکعب در ثانیه افزایش یافته است (پرتیوی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۲۰، ۱-۷).

نقش تغییرات کاربری اراضی بر ویژگی‌های رواناب و سیل خیزی حوضه آبریز دواب بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸ با استفاده از مدل HEC-HMS با استفاده از روش SCS در محاسبه تلفات اولیه بارش و روش ماسکینگام در روندیابی سیل مورد مطالعه قرار گرفت و نتیجه نشان داد که اوج رواناب به طور میانگین ۱۵/۴۶ درصد و حجم رواناب ۱۹/۷۴ درصد افزایش یافته است و تغییرات کاربری اراضی در حوضه موجب افزایش اوج و حجم رواناب شده و به افزایش سیل خیزی منجر شده است (بلواسی و همکاران، ۱۳۹۹، ۳۳۱-۳۴۴). تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر وضعیت ژئومورفولوژیکی رودخانه کر مورد تحقیق قرار گرفت و از نقشه‌های رقومی و زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای جهت نقشه کاربری اراضی استفاده شد و نتیجه گرفته شد که در تمامی بازه‌های مکانی به علت فرسایش پذیری کرانه‌ها، تغییرات عرضی و طولی چشمگیری در کرانه‌ها رخ داده است و تغییرات عرضی به ترتیب به علت تغییر شیب، رژیم هیدرولوژیک، بار معلق و بار بستر، تعرض به زمین‌های محدوده حریم رودخانه و وجود سد بوده است (زرین فروغی و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۹۳). با توجه به این مساله که حوضه آبریز دره رود یکی از مهمترین مناطق زیست بوم استان اردبیل و آذربایجان شرقی می‌باشد و با توجه به داده‌های آماری ایستگاه‌های هیدرومتری آب منطقه‌ای استان اردبیل مشخص می‌شود که جریان رودخانه دره رود در سال‌های اخیر شاهد بی‌نظمی‌های شدید و خشک شدن رودخانه در فصل تابستان بوده است که تصرف بستر برای کشت بی‌رویه محصولات کشاورزی را منجر شده است تا در مواقع سیلابی، حوضه آبریز دره رود دچار بحران‌های زیست

1. Shanshan Hu et al

2. Kai Ma et al

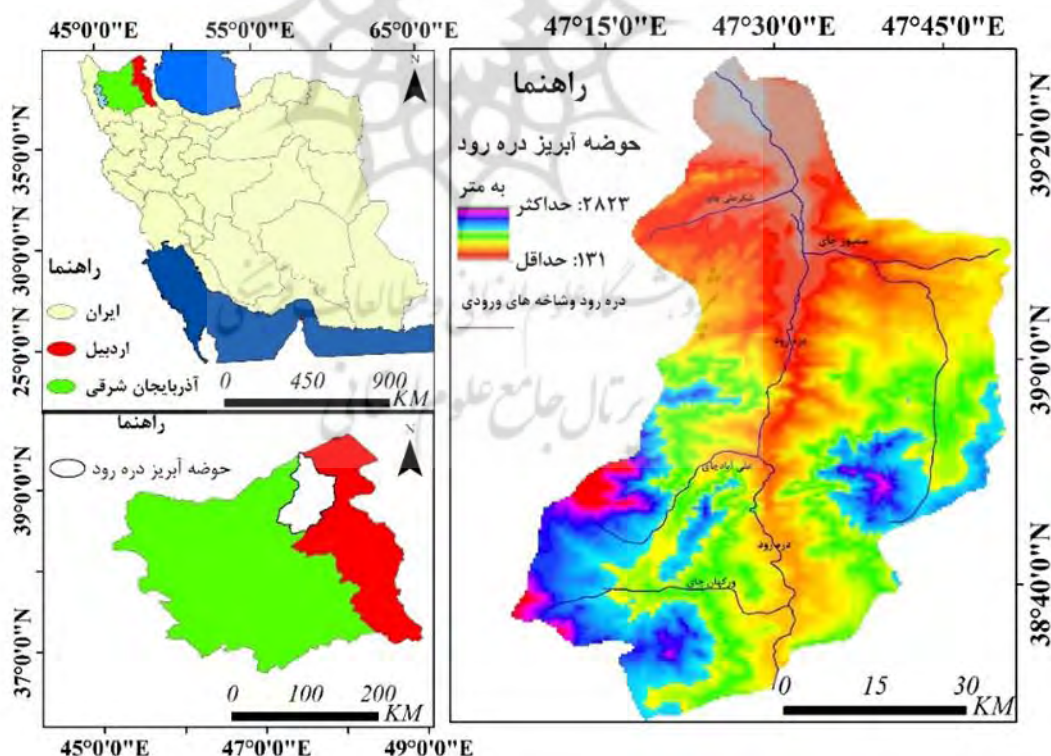
3. Nakayasu

4. PC Pertiwi et al

محیطی و انسانی گردد و خسارت‌های قابل توجهی را با توجه به داده‌های منابع طبیعی و جهاد کشاورزی استان اردبیل، بر ساکنان این منطقه تحمیل نماید. علاوه بر آن افزایش میزان رسوب با توجه به مطالعات صمد زاده و همکاران در سال ۱۳۹۲ و اینکه سد عمارت در پایین دست رودخانه احداث شده و آماده به آبیگری و ذخیره می‌باشد مهم می‌نماید تا مطالعات و در اثنای آن تدابیر مهم در خصوص مدیریت میزان رسوب جهت بهره‌وری مناسب از سد عمارت انجام گردد. لذا این تحقیق به صورت میدانی و کتابخانه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و روش طبقه‌بندی شی‌گرا و مدل سازی به روش SCS در مدل HEC\_HMS سعی نماید تا تغییرات کاربری و اثرات آن بر مساله یاد شده را مورد ارزیابی قرار دهد.

### روش تحقیق

حوضه آبریز دره‌رود با مساحت تقریبی ۳۷۴۲ کیلومترمربع یکی از مهمترین حوضه‌های آبریز ارتفاعات قره‌داغ می‌باشد که آب‌های سطحی رودخانه قره‌سو و بالیخلی‌چای، علی‌آباد، سمبور و ورگهان را به رودخانه ارس زهکشی می‌کند. این حوضه در موقعیت جغرافیایی  $47^{\circ} 6' 34''$  تا  $47^{\circ} 51' 21''$  طول شرقی و  $38^{\circ} 27' 54''$  تا  $39^{\circ} 28' 19''$  عرض شمالی واقع شده است و با روند جنوبی شمالی جریان یافته و به رودخانه ارس منتهی می‌شود. این حوضه با حداقل ۲۰۰ متر و حداکثر ۴۸۱۱ متر ارتفاع که کمترین ارتفاع در بخش مصب رودخانه واقع شده و بیشترین ارتفاع نیز شامل قله سلان در بخش جنوبی حوضه می‌باشد که آب‌های سطحی دو استان اردبیل و آذربایجان شرقی را زهکشی می‌نماید. حوضه‌ی آبریز دره رود به عنوان یکی از زیر حوضه‌ی فرعی دریای خزر به لحاظ برخورد داری از شرایط خاص محیطی همچون حاکمیت آب و هوای نیمه خشک در سطوح پایین دست تا نیمه مرطوب سرد در ارتفاعات مشخص می‌باشد (شکل ۱).



(شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دره‌رود)

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه عبارتند از ۱- تصاویر لندست، شامل سنجنده‌های (OLI و TM) با مسیر ۱۶۸ با گذر ۳۳ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر مربوط به سال ۱۹۹۰ و ۱۵ متر برای سال ۲۰۱۹ می‌باشد. ۲- مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ جهت ترسیم (شکل ۱). ۳- آمار دبی رودخانه و میزان

بارش روزانه حوضه دریافت شده از ایستگاه‌های هیدرومتری مشیران و بران و سمبور از سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل و ایستگاه هوراند از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی ۵- مدل HEC-HMS جهت برآورد تغییرات رواناب در حوضه. ۶- لایه هیدرولوژی خاک برای برآورد میزان نفوذپذیری حوضه آبریز مستخرج از اداره منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی.

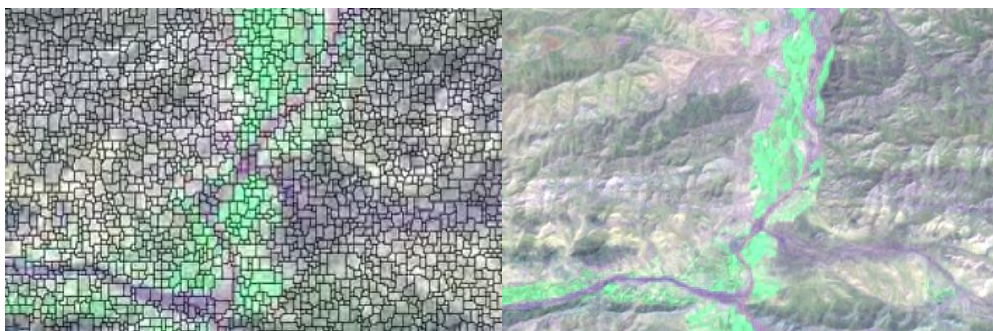
در این مطالعه از تصاویر ماهواره ای لندست ۵ با سنجه TM و لندست ۸ با سنجه OLI شامل باندهای طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز دور و باند پانکروماتیک (در لندست ۸) استفاده شد. جهت ارزیابی تصاویر لندست در مرحله ی پیش پردازش از تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی (FLAASH) که یکی از قویترین روش تصحیحات اتمسفری می‌باشد استفاده شد و برای اینکه در بحث محاسبات عددی دقت کافی حاصل شود عملیات (RESCAAL) بر روی تصاویر تصحیح شده انجام یافت تا ارزش عددی پیکسل ها بین صف و یک قرار بگیرد. در تصویر لندست ۸، برای افزایش دقت طبقه‌بندی، روش تلفیق تصاویر مالتی اسپکچرال با تصویر پنکروماتیک انجام یافته و قدرت تفکیک مکانی به ۱۵ متر ارتقاء یافت (جدول ۱).

جدول ۱: زمان تصویر برداری و مشخصات ماهواره های مورد استفاده

پوشش ابر	باندهای مورد استفاده	زمان (تاریخ و ساعت)	قدرت تفکیک	سنجه	ماهواره
۰/۰۰	Green- Blue- Red- NIR- SWIR	۱۹۹۰/۸/۲۲ ۷/۱۸/۴۳	۳۰ متر	TM	لندست ۵
۰/۰۰	Green- Blue- Red- NIR- SWIR- Pan	۲۰۱۹/۶/۱۸ ۷/۲۵/۴۱	۱۵-۳۰ متر	OLI	لندست ۸

طبقه‌بندی با روش مبتنی بر شی‌گرا به گونه ای است که تصویر براساس پارامترهای طیفی، فیزیکی و هندسی پدیده-های زمینی ثبت شده بر روی تصویر، سگمنت سازی شده و واحدهای پردازش تصاویر از پیکسل به پدیده‌های تصویری یا سگمنت‌ها تغییر می‌یابد و در نتیجه آن با پردازش جامع‌تر این اطلاعات، اشیاء و پدیده‌های دنیای واقعی با دقت بیشتری استخراج می‌شود (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۸۹، ۲۵). این طبقه بندی به صورت کلی در سه مرحله سگمنت سازی، طبقه بندی و ارزیابی صحت قابل اجرا هست (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶، ۲۰۷). سگمنت، گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است و نوع انتخاب صحیح سگمنت‌بندی تصویر و نتیجه آن تأثیر زیادی در طبقه‌بندی دارد (زاهو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸، ۴). پارامترهای تأثیرگذار در سگمنت‌سازی عبارتند از تعیین مقیاس مناسب، ضریب رنگ یا شکل و ضریب فشردگی یا نرمی (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۱۱). در تحقیق حاضر از روش قطعه بندی مالتی رزولوشن استفاده شد که با استفاده از روش آزمون و خطا سعی شد تا بهترین ترکیب ضریب شکل و فشردگی و مقیاس اشیاء انتخاب شود. بنابراین تصویر زیر با ضریب فشردگی ۰/۳ و ضریب شکل ۰/۷ و وزن باندهای مرئی ۱ و مادون قرمز ۳ و مادون قرمز نزدیک ۳ انتخاب شد (شکل ۲).

<sup>۱</sup>. Wen Zhou et al



شکل ۲: سگمنت بندی های تصویر

با تکنیک آستانه گذاری از شاخص‌های (NDVI, EVI, CIG, GVMI) و ویژگی‌های میانگین باندهای آبی، سبز، قرمز، مادون قرمز و ویژگی درخشندگی تصویر، اشیاء تعلیمی برای طبقه بندی روش نزدیکترین همسایه که یکی از ساده ترین روش‌های طبقه بندی است (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۰۸) لحاظ گردید به حدی که کلاس‌ها در تمامی شاخص‌ها و ویژگی‌ها به حد اشباع برسند. ویژگی شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق در زیر توضیح داده شده است (جدول ۲).

جدول ۲: شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق

شاخص	رابطه	وزن شاخص	منبع
NDVI	$NDVI = \frac{N - R}{N + R}$	۰/۳	Aman
GVMI	$GVMI = \frac{(NIR + 0/1) - (SWIR + 0/02)}{(NIR + 0/1) + (SWIR + 0/02)}$	۰/۲	Min Liu
EVI	$EVI = G \frac{\rho NIR - \rho Red}{\rho NIR + C_1 \times \rho Red - C_2 \times \rho Blue + L'}$	۰/۲	Karkaus kaite
CIG	$CI_{green} = \frac{NIR}{Green} - 1$	۰/۲	Qiaoyun Xie

پوشش گیاهی یکی از اجزای مهم اکوسیستم‌های هر حوضه آبریز است و یافتن علم پوشش گیاهی زمین برای درک تعاملات زمین و جو و اثرات آن بر روی پدیده های آب و هوایی و ژئومورفولوژیکی منطقه مهم می باشد. (آمان و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲، ۳۲۹). شاخص‌های پوشش گیاهی و کاربرد آن در ارزیابی‌های ماهواره‌ای و نظارت بر پوشش گیاهی جهانی طی دو دهه گذشته به خوبی نشان داده شده است (زانگیان و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶، ۳۶۷) که در این خصوص شاخص اختلاف طبیعی در پوشش گیاهی<sup>۳</sup> این گونه تعریف می شود:

$$NDVI = \frac{N - R}{N + R} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن N و R نشان دهنده بازتاب سطح به ترتیب نسبت به مناطق قابل مشاهده به (0.6-λ میکرومتر) است و NIR همان مادون قرمز نزدیک با (0.۸۴۵-۰/۸۸۵ میکرومتر) از طیف می باشد.

<sup>1</sup>. Aman et al

<sup>2</sup>. Zhangyan Jiang et al

<sup>3</sup>. Normal difference vegetation index

محتوای آب تاج پوشش گیاهی برای نظارت بر کمبود آب محصولات کشاورزی و جوامع طبیعی در ارزیابی تشخیص خشکسالی، پیش بینی خطر آتش سوزی در جنگل ها و چمنزارها نیز لازم است (مین لیو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹، ۱۴۳) شاخص رطوبت جهانی پوشش گیاهی<sup>۲</sup> برای ارزیابی محتوای آب گیاهی از مقیاس محلی به جهانی با سرعت و با اطمینان ایجاد شده است (پیتر و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲، ۱۹۸) و این گونه تعریف می شود:

$$GVMI = \frac{(NIR + 0/1) - (SWIR + 0/02)}{(NIR + 0/1) + (SWIR + 0/02)} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن NIR همان مادون قرمز نزدیک با (۰/۸۴۵ - ۰/۸۸۵ میکرومتر) از طیف می باشد. و SWIR همان مادون قرمز دور با (۱/۵۶ - ۱/۶۶ میکرومتر) از طیف می باشد.

شاخص اصلاح شده ی پوشش گیاهی<sup>۴</sup> از شاخص های پوشش گیاهی جهانی هستند که برای فراهم کردن اطلاعات دائمی مکانی و زمانی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می گیرند (حامدی و همکاران، ۱۳۹۸، ۲۰) و با استفاده از یک عامل تنظیم خاک تهیه می گردد (کارکوسکی و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۷، ۶). و این گونه تعریف می شود:

$$EVI = G \frac{\rho NIR - \rho Red}{\rho NIR + C_1 \times \rho Red - C_2 \times \rho Blue + L'} \quad (\text{رابطه ۳})$$

جایی که  $\rho blue$  بازتاب سطح برای باند مرئی آبی است،  $L$  عامل تنظیم پس زمینه سایبان است و  $C_1$  و  $C_2$  ضرایب اصطلاح مقاومت در برابر آترو سل هستند که از باند آبی در کاهش پراکندگی آترو سل جو در باند قرمز استفاده می کند. ضرایب به کار رفته در الگوریتم EVI به صورت تجربی تعیین می شود،  $L = 1$ ،  $C_1 = 6$ ،  $C_2 = 7.5$  و  $G = 2.5$ . از شاخص کلروفیل سبز<sup>۶</sup> برای محاسبه کل کلروفیل برگ استفاده می شود و به تغییرات کمی در محتوای کلروفیل حساس بوده و در اکثر گونه ها سازگار است و می توان از این ویژگی در تفکیک پوشش های مختلف گیاهی بهره برد (کیوویون خای و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۸، ۱). تعریف شاخص بدین صورت است:

$$CI_{green} = \frac{NIR}{Green} - 1 \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن NIR همان باند مادون قرمز نزدیک با (۰/۸۴۵ - ۰/۸۸۵ میکرومتر) از طیف می باشد. و Green همان باند مرئی سبز با قرارگیری در (۰/۵۲۵ - ۰/۶۰۰ میکرومتر) از طیف می باشد.

در نرم افزار eCognition این امکان برای کاربر فراهم می شود تا پارامترهایی که بیشترین درجه عضویت را در هر کلاس دارند، در طبقه بندی تأثیر دهد. در این تحقیق ۱۱ پارامتر مؤثر در طبقه بندی انتخاب شده و در هر کلاس درجه عضویت این پارامترها وارد شد (جدول ۳).

1. Min Liu et al

2. Global Vegetation Moisture Index

3. Pietro Ceccato et al

4. Enhanced vegetation index

5. Paulina Karkauskaite et al

6. Chlorophyll Index Green

7. Qiaoyun Xie et al

جدول ۳: پارامترهای موثر در طبقه بندی هر کلاس

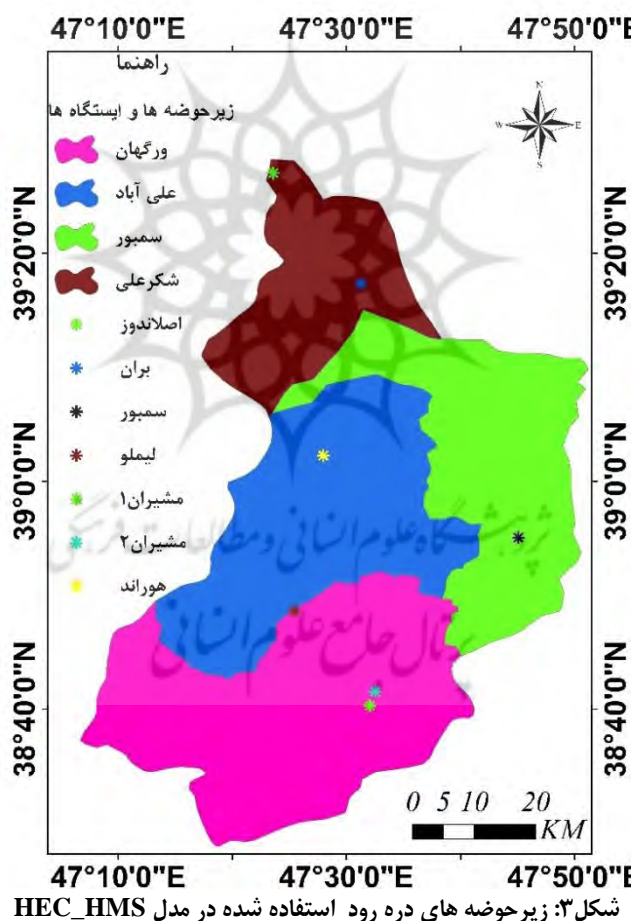
شاخص های طیفی				هندسی		میانگین					شاخص
CIGreen	EVI	GVM1	NDVI	شاخص شکل	ضریب درخشش	SWIR باند	NIR باند	RED باند	Green باند	Blue باند	پارامترهای موثر
											نوع پوشش
*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	-	زراعت دیم
*	-	*	-	-	-	-	-	*	-	*	آیش
*	*	*	*	-	-	*	*	*	*	-	کشت آبی
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	باغ و جنگل
*	-	-	*	-	*	-	-	*	-	*	آب
-	-	-	-	*	*	*	*	*	-	*	بستر
*	*	*	*	-	*	-	*	*	*	-	مرتع
-	-	-	-	*	*	*	*	*	-	*	مناطق سنگی و مسکونی و بایر

لزوم استفاده از هر نوع اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است (فیضی‌زاده و هلالی، ۱۳۸۹، ۷۶). لذا جهت ارزیابی دقت طبقه‌بندی، به محاسبه دقت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپا پرداخته شد. دقت کاربر از تقسیم تعداد اشیاء طبقه‌بندی شده در هر رده بر کل اشیاء طبقه‌بندی شده در آن رده به دست می‌آید. دقت کلی یکی از ساده‌ترین پارامترهای دقت است که نیاز به عملیات پیچیده‌ای برای محاسبه ندارد، صحت کلی که میانگینی از صحت طبقه‌بندی است که نسبت اشیاء صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل اشیاء معلوم را نشان می‌دهد. همچنین ضریب کاپا نیز تکنیک چند متغیره گسسته‌ای است که اگر یک ماتریس خطا تفاوت معناداری با دیگری داشته باشد، در ارزیابی صحت برای تصمیم‌گیری‌های آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتیجه تحلیل کاپا شاخص  $K$  می‌باشد که شاخصی برای اندازه‌گیری صحت طبقه‌بندی می‌باشد که بر اساس تفاوت بین صحت واقعی در ماتریس خطا و تغییرهای صحت که به وسیله مجموع سطر و ستون نشان داده شده است. شاخص  $K$  در واقع معرف اختلاف بین توافق واقعی در داده‌های مرجع و یک طبقه‌بندی کننده خودکار و توافق احتمالی بین داده‌های مرجع و طبقه‌کننده تصادفی است و (اصغری و همکاران، ۱۳۹۸، ۱۷۰).

مدل HEC-HMS دارای سه مولفه‌ی مدل می‌باشد: مدل حوضه، مدل هواشناسی، مشخصات کنترل و داده‌های ورودی (داده‌های سری زمانی، داده‌های زوج و داده‌های مشبک). مدل حوضه حاوی اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فیزیکی مدل حوضه است مانند زیرحوضه‌ها، محل تلاقی دو آبراهه و بازه رودخانه به صورت شماتیک ترسیم شده و داده‌های مساحت و درصد اراضی غیر قابل نفوذ، شماره منحنی، تلفات اولیه و زمان تاخیر زیرحوضه‌ها به مدل وارد می‌شود. مدل



هواشناسی اطلاعات مربوط به داده‌های بارندگی را در خود جای داده است که مرتبط با مدل حوضه وارد مدل می‌گردد. بخش مشخصات کنترل شامل اطلاعات مربوط به زمان بندی مدل مانند زمان وقوع سیل و نوع بازه زمانی (ثانیه، دقیقه، ساعت یا روز) است که می‌خواهد در مدل استفاده شود (بلاین و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰، ۲۰۲۲). در نهایت هیتوگراف بارش با توجه به زمان‌های معین شده در بخش شاخص‌های کنترل و هیدروگراف خروجی مشاهده‌ای متناظر آن به مدل معرفی خواهد شد (بلواسی و همکاران، ۱۳۹۹، ۳۳۲). برای وارد کردن زیر حوضه‌ها در مدل مذکور، حوضه آبریز دره رود با توجه به چهار زیرشاخه اصلی خود از پایین دست به بالادست حوضه به ترتیب نام‌های بران، سمبور، هوراند، مشیران، به چهار زیر حوضه تقسیم شد (شکل ۳). در هر زیرحوضه ایستگاه‌های هیدرومتری سازمان آب منطقه ای و باران سنجی اداره هواشناسی استان اردبیل و آذربایجان شرقی وجود دارد که داده‌های بارش ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی مورد ارزیابی متقابل قرار گرفت تا صحت داده‌ها در ورود به مدل HEC-HMS افزایش یابد تا نتایج قابل قبولی از این داده‌ها حاصل شود؛ در محیط نرم‌افزار ArcGis به صورت رقومی ترسیم شد و از ویژگی‌های فیزیکی حوضه و زیرحوضه‌ها به عنوان پارامترهای مورد نیاز در تحقیق حاضر استفاده شد (شکل ۳).



شکل ۳: زیرحوضه‌های دره رود استفاده شده در مدل HEC-HMS

داده‌های بارش و دبی حوضه آبریز دره رود بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ از سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل و آذربایجان شرقی تهیه شد. و برای وارد کردن داده‌ها به مدل از روش هیتوگراف بارش بهره گرفته شد. جهت ارزیابی تغییرات کاربری بر رواناب حوضه آبریز دره رود در مدل HEC-HMS از روش SCS بهره گرفته شد که به صورت رابطه ۵ می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۷، ۵۰۹).

<sup>۱</sup>. Alemshet Belayneh et al

$$Q_d = (P - 0/2S)^2 / (P - 0/2S_a + S) \quad (\text{رابطه ۵})$$

$Q$  = ارتفاع رواناب به میلی‌متر  $P$  - ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته به میلی‌متر  $S$  - مقدار ذخیره سطحی خاک جهت  $S$  در رابطه با پوشش و نوع بهره برداری از اراضی و وضعیت سطح خاک از نظر نفوذپذیری و داخل خاک از نظر انتقال می‌باشد که با رابطه ۶ به دست می‌آید (مهدوی، ۱۳۹۰، ۱۶۳).

$$S = (25400 / CN) - 254 \quad (\text{رابطه ۶})$$

استفاده از روش SCS نیاز به نقشه گروه‌های هیدرولوژی خاک دارد تا برآورد شماره منحنی CN تعیین شود. لذا نقشه گروه‌های هیدرولوژی خاک از سازمان منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی تهیه شد تا جهت محاسبه شماره منحنی CN مورد استفاده قرار گیرد. مقدار CN بین صفر تا ۱۰۰ می‌باشد. در CN برابر با صفر رواناب از بارندگی حاصل نیامده و در CN برابر ۱۰۰ تمامی بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر با ارتفاع بارندگی خواهد بود (حجازی، ۱۳۹۴، ۶۸). حداکثر دبی رواناب از رابطه ۷ به دست می‌آید.

$$Q_p = (0/208 \times A \times Q_d) / (T_p) \quad (\text{رابطه ۷})$$

$Q$  - دبی اوج بر حسب متر مکعب بر ثانیه  $A$  - مساحت حوضه بر حسب هکتار  $T$  - زمان رسیدن رواناب به مرحله اوج که از رابطه ۸ حاصل می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۷، ۵۱۱).

$$T_p = 0/6 T_c + (T_c)^{0/5} \rightarrow T_c = 1/67 \times (T_{Lag}) \quad (\text{رابطه ۸})$$

زمان تمرکز و زمان تاخیر بر حسب ساعت می‌باشد و از رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$T_{Lag} = ((L^{0/8}) \times (S + I)^{0/7} / (1900 \times Y^{0/5})) \quad (\text{رابطه ۹})$$

$Y$  = شیب متوسط حوضه به درصد.  $L$  = طول رودخانه بر حسب فوت.  $S$  = قابلیت نگهداشت بارش بر حسب اینچ.

در مدل HEC-HMS می‌توان حوضه آبریز را برحسب آب پایه و یا بدون آب پایه برآورد نمود که در تحقیق حاضر از روش مدل ثابت روزانه استفاده شد از آنجا که سایر روش‌های مسیریابی رودخانه به مقطع رودخانه و ضریب زبری نیاز دارند که در دسترس نبود، در این تحقیق از روش ماسکینگام<sup>۱</sup> استفاده شد. با این حال، دقت مسیر سیل رودخانه با کالیبراسیون  $X$  و  $K$  بهبود یافت. در روش ماسکینگام ضریب  $X$  ضریب وزنی تخلیه است که از ۰ تا ۰/۵ متغیر است.  $K$  زمان سفر جریان در طول رسیدن رودخانه است. این ضریب را می‌توان در ابتدا با استفاده از هیدروگراف ورودی و خروجی مشاهده شده بدست آورد. پس از برآورد پارامتر  $K$ ، مقدار اولیه  $X$  را می‌توان با استفاده از مقادیر پیشنهادی مطالعات قبلی تخمین زد. مدل ماسکینگام بر اساس (رابطه ۱۰ و ۱۱) بیان می‌شود (بنی حیب و همکاران، ۲۰۲۰، ۴).

$$W = K [XI + (I-X)Q] \rightarrow K = \frac{L}{V} \quad (\text{رابطه ۱۱}) \quad \frac{DW}{DT} = I - Q \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

جایی که  $w$  ذخیره جریان است،  $t$  زمان است،  $I$  ورودی است،  $L$  طول رسیدن است،  $V$  سرعت متوسط جریان است و  $Q$  خروجی است. معادله ۱، تعادل جرم را نشان می‌دهد، و معادله ۲، نشان دهنده حجم ذخیره رودخانه می‌باشد.

کالیبراسیون مدل یک فرآیند سیستماتیک برای تغییر مقادیر پارامتر مدل است تا زمانی که نتایج مدل با مهمترین آمار (ضریب تغییر و میانگین) در مقیاس ماه مطابقت داشته باشد. در کالیبراسیون مدل سعی می‌شود تا با تغییر دادن پارامترهای مدل تفاوت بین داده‌های مشاهده شده و نتایج ارائه شده از مدل به کمترین حد مورد انتظار برسد. بنابراین باید از تغییر در پارامتری استفاده شود که مدل به آن حساس می‌باشد (بالین و همکاران، ۲۰۲۰، ۲۰۲۲). برای اینکه حساسیت مدل نسبت به تغییر پارامتر مورد بررسی قرار گیرد، منحنی تغییرات نتایج مدل نسبت به هر یک از پارامترهای تغییر یافته ترسیم می‌شود و هر چه شیب خط بر منحنی مربوطه بیشتر باشد، نشان از حساسیت مدل نسبت به آن پارامتر می‌باشد و برعکس، و برای فرایند مذکور از (رابطه ۱۲) بهره گرفته می‌شود (بلواسی و همکاران، ۱۳۹۹، ۳۳۷).

<sup>۱</sup>. Muskingum

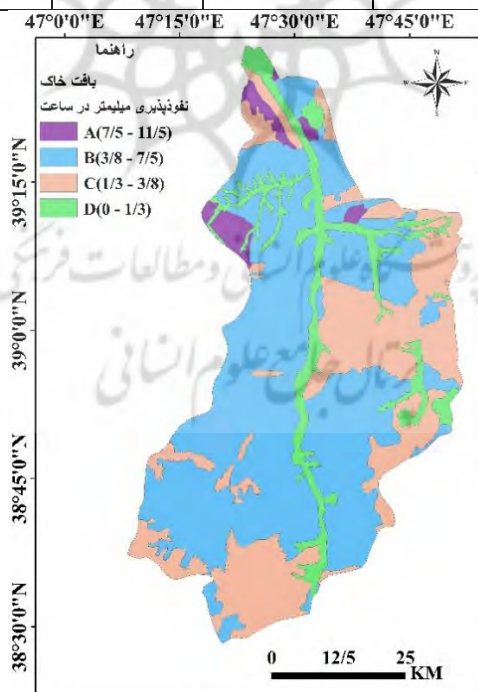
$$SEN = \frac{100 [NEW - OLD]}{[OLD |PC|]} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

SEN: حساسیت مدل در برابر پارامتر تغییر یافته و NEW: مقدار جدید خروجی مدل و OLD: خروجی اولیه مدل و PC: قدر مطلق درصد تغییرات در پارامترها می‌باشد. سرانجام اعتبارسنجی مدل با پارامترهای بهینه شده ثانویه اجرا می‌شود و هیدروگراف شبیه‌سازی شده با مشاهده شده مورد مقایسه قرار می‌گیرد که در مطالعه حاضر از تابع درصد خطای دبی اوج و تابع انحراف معیار دبی وزنی استفاده شد.

جهت انجام مدل HEC-HMS ابتدا زیرحوضه‌ها و مشخصات موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه از قبیل مساحت و آبراهه‌ها و نحوه اتصال آبراهه‌ها به یکدیگر و به روخانه پایین دست (ارس) به مدل معرفی شد. با استفاده از نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی و نقشه هیدرولوژی خاک مستخرج از مطالعات سازمان منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی (شکل ۴) در دو بازه زمانی میزان نفوذپذیری (CN) و زمان تاخیر جریان (Tlag) هر یک از زیر حوضه‌ها و داده‌های بارش و دبی زیر حوضه‌ها در کامپوننت متورولوژی زیرحوضه‌ها در مدل وارد شد. در نهایت جهت روندیابی جریان در زیرحوضه‌ها از روش ماسکینگام با وارد کردن ضرایب X و K مدل اجرا شد (جدول ۴).

جدول ۴: داده‌های مورد استفاده در مدل HEC-HMS از حوضه دره رود

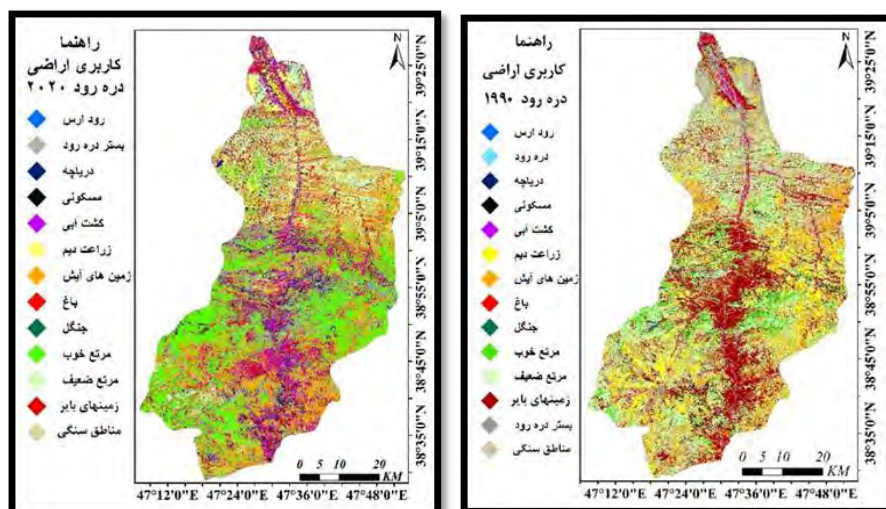
ضریب k	ضریب X	طول آبراهه	شیب به درصد	مساحت به KM	زیرحوضه‌ها
۲	۰/۲	۷۵/۳	۲۴/۶	۱۲۷۰	مشیران
۲	۰/۲	۶۲/۷	۳۵/۳	۱۰۰۷	هوراند
۲	۰/۲	۸۲	۱۷/۹	۹۰۴	سمبور
۲	۰/۲	۷۹/۸	۹	۵۶۱	بران



شکل ۴: گروه‌های هیدرولوژی خاک حوضه آبریز دره رود

#### بحث و یافته‌ها

با استفاده از چهار شاخص طیفی (NDVI, GVMI, EVI, CIG) و ویژگی‌های میانگین باندهای مرئی و ویژگی درخشندگی تصویر و شکل اشیاء تصاویر در چهارده کلاس طبقه‌بندی شد و کاربری اراضی حوضه در دو بازه زمانی ۱۹۹۰ و ۲۰۱۹ استخراج گردید (شکل ۵ و ۶).



شکل ۵ و ۶: تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز دره رود بین ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹

در شکل‌های بالا تفاضل بین هر کلاس به صورت مجزا مورد توجه قرار گرفته و در جدول زیر ارائه گردید، با توجه به اینکه جهت دقت در مشاهده تغییرات کلاس‌های مرتع خوب و ضعیف، زراعت دیم و زمین‌های آیش، به علت شباهت در بافت کاربری به صورت ادغام شده در نظر گرفته شد و در این میان کاربری کشاورزی به منظور تفکیک بهتر در بازتاب طیفی آنها در دو کلاس کشت آبی و کشت دیم به صورت مجزا انتخاب شدند و کشت دیم نیز به صورت زراعت گندم و زراعت نخود به صورت نمونه‌های تعلیمی مختص به خود در نظر گرفته شد و کشت آبی به دو صورت کشت برنج و کشت پیاز به نمونه‌های متفاوت در نظر گرفته شد ولی در جداول و نقشه‌های خروجی به صورت کشت آبی و زراعت دیم ارائه گردید. اراضی باغات و اراضی جنگلی با توجه به حساسیت شاخص CIGreen به کلروفیل سبز از هم تفکیک شده و دو کلاس مجزا در نظر گرفته شدند (جدول ۵).

جدول ۵: تفاضل مساحت کلاس‌ها در کاربری اراضی ۳۰ ساله حوضه

نام کلاس	مساحت ۱۹۹۰	مساحت ۲۰۱۹	تفاضل مساحت KM	بیشترین تغییرات	کمترین تغییرات
کشت آبی	۴۵/۶۹	۳۸۷/۸۲	۳۴۲/۱۳	*	-
زراعت دیم و آیش	۸۵۰/۵۵	۱۰۱۳/۰۸	۱۶۲/۵۳	*	-
باغ	۵۹/۷۹	۶۵/۵۰	۵/۷۱	-	*
جنگل	۸/۷۸	۵/۴۹	-۳/۲۹	-	*
دریاچه	۰/۱۶	۱/۶۳	۱/۴۷	-	*
مرتع	۱۳۹۱/۴۲	۱۱۳۷/۰۶	-۲۵۴/۳۶	*	-
مناطق سنگی	۳۱۲	۳۷۰/۹۳	۵۸/۹۳	*	-
زمین‌های بایر	۶۶۵/۴۰	۲۰۱/۳۵	-۴۶۴/۰۵	*	-
مسکونی	۹۴/۹۱	۲۵۷/۶۶	۱۶۲/۷۵	*	-
بستر دره رود	۳۱۰/۶۷	۲۵۸/۹۱	-۵۱/۷۶	*	-

در جدول ۵ مشخص می‌گردد که بیشترین تغییرات در کاربری اراضی شامل تغییرات کشت آبی و زراعت دیم و مرتع، زمین‌های بایر، مناطق سنگی، مناطق مسکونی و بستر دره رود می‌باشد که بیشترین مساحت تغییراتی متعلق به زمین‌های بایر است که ۴۶۴ کیلومتر مربع کاهش مساحت داشته است. کمترین تغییرات نیز متعلق به باغ و جنگل و دریاچه می‌باشد که کلاس دریاچه حداقل‌ترین تغییرات را با ۱/۴۷ کیلومتر مربع افزایش داشته است.

با توجه به (جدول ۶) طبقه‌بندی شی‌گرا با ضریب کاپای ۹۳ درصد و با استناد به دقت کلی طبقه‌بندی با ۰/۹۲۳۵، چنین برمی‌آید که نتیجه طبقه‌بندی به روش شی‌گرا دارای دقت بیشتری بوده و دقت طبقه‌بندی در سطح قابل قبولی می‌باشد که از جمله پارامترهایی که برای رسیدن به این دقت در نظر گرفته شده بود می‌توان به پارامترهای نظیر، همسایگی کلاس‌ها، مقادیر باندها و استفاده از شاخص‌های طیفی که به منظور تفکیک واحدها استفاده شد و تعداد دفعات تکرار عملیات طبقه‌بندی اشاره نمود. بعد از انجام طبقه‌بندی و دستیابی به نتایج مدنظر، جهت آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در سطح منطقه اقدام شد و نقشه تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش نزدیکترین همسایه استخراج شد (شکل ۲ و ۳) و مشخص شد که نتایج به دست آمده با استفاده از روش طبقه‌بندی شی‌گرا در آشکارسازی تغییرات نتایج دقیقتری را ارائه می‌دهد. بر اساس نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دره‌رود مربوط به سال ۱۹۹۰ که با روش نزدیکترین همسایه استخراج شده است، بیشترین کاربری‌ها در درجه اول مربوط به کلاس مرتع می‌باشد که مساحتی به تقریب ۱۳۹۱/۴۲ کیلومترمربع را به خود اختصاص می‌دهد. سپس کاربری زراعت دیم و آیش با مساحتی بالغ بر ۸۵۰/۵۵ کیلومترمربع و اراضی بایر با مساحت ۶۶۵/۴۰ کیلومترمربع بیشترین مساحتها را شامل می‌شوند. این کاربری‌ها در سال ۲۰۱۹ نیز بیشترین مساحتها را دارا می‌باشند با این تفاوت که کاربری مرتع مساحت ۱۱۳۷/۰۶ کیلومترمربع و زراعت دیم مساحت ۱۰۱۳/۰۸ کیلومترمربع را داشته و اراضی بایر به مساحت ۲۰۱/۳۵ کیلومترمربع کاهش یافته و در عوض آن مساحت کشت آبی از ۴۵/۶۹ به ۳۸۷/۸۲ کیلومترمربع افزایش یافته است. باغات و جنگل‌ها در سال ۱۹۹۰ به ترتیب مساحتی بالغ بر ۵۹/۷۹ و ۸/۷۸ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده‌اند. در سال ۲۰۱۹ اراضی باغی به ۶۵/۵۰ کیلومترمربع افزایش مساحت و اراضی جنگلی به ۵/۴۹ کیلومترمربع کاهش یافته است. افزایش مساحت کاربری مسکونی نسبت به سال ۱۹۹۰ با کاهش مراتع همراه بوده است که نشان از تخریب مراتع و ایجاد مناطق مسکونی می‌باشد.

جدول ۶: نتایج صحت‌سنجی خروجی تغییرات کاربری اراضی

کلاس	کاپر	تولید کننده	کلاس	کاربر	تولید کننده
کشت آبی	۰/۹۹	۱	مرتع	۰/۹۸	۰/۹۶
زراعت دیم و آیش	۰/۹۴	۰/۹۰	مناطق سنگی	۰/۹۷	۰/۹۲
باغ	۰/۹۱	۰/۹۳	زمین‌های بایر	۰/۹۴	۰/۹۶
جنگل	۰/۹۶	۰/۹۶	مسکونی	۰/۹۲	۰/۹۴
دریاچه	۱	۱	بستر دره رود	۰/۹۰	۰/۸۶
صحت کلی	۰/۹۲۳۵	۰/۹۴۱۴	-	-	-
ضریب کاپا	۹۳	۹۵	-	-	-

با توجه به داده‌های (جدول ۴ و جدول ۵) میزان نفوذپذیری و زمان تاخیر رواناب زیرحوضه‌ها استخراج شد (جدول ۷) و با توجه به آن مشخص می‌گردد که در بازه زمانی سی ساله ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹، زمان تاخیر رواناب در سه زیر حوضه مشیران، هوراند و سمبور افزایش یافته در حالی که در زیرحوضه بوران زمان تاخیر رواناب از ۹/۶ ساعت به ۸/۷ ساعت کاهش یافته است و شماره منحنی (CN) در زیرحوضه‌های مشیران، هوراند و سمبور کاهش یافته است در حالی که در زیرحوضه بوران شماره منحنی از ۷۶/۵ به ۸۰/۳ افزایش یافته است.

(جدول ۷: نتایج Tlag و CN زیرحوضه‌های دره رود با توجه به داده‌های جدول ۴ و ۵)

زیرحوضه‌ها دره رود	CN 1990	CN 2019	Tlag 1990	Tlag 2019
مشیران	۸۳/۸	۸۳	۴/۵	۴/۶
هوراند	۸۳/۵	۸۰	۳/۲	۳/۸
سمبور	۸۴/۵	۸۲/۱	۵/۳	۶

۸/۷	۹/۶	۸۰/۳	۷۶/۵	بوران
-----	-----	------	------	-------

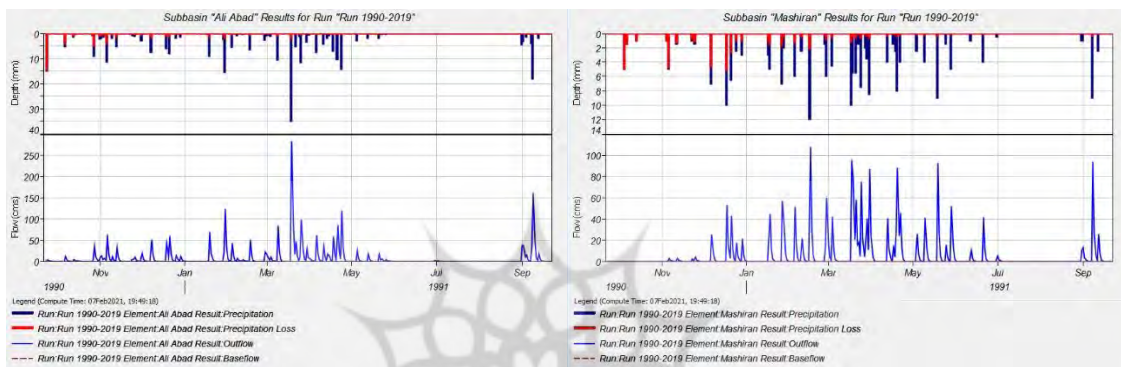
در زیرحوضه بوران شاهد کاهش نفوذپذیری آب و بالتبع کاهش تلفات اولیه بارش و افزایش رواناب را در بر خواهد داشت در حالی که در زیرحوضه‌های مشیران و هوراند و سمبور با کاهش شماره منحنی (CN) افزایش نفوذپذیری آب و افزایش تلفات اولیه بارش و کاهش میزان رواناب ملاحظه خواهد شد. که نتیجه این تغییرات بر رواناب حوضه در (جدول ۸) با استفاده از مدل HEC\_HMS بدست آمد. در شبیه‌سازی حوضه آبریز دره رود در مدل HEC\_HMS واسنجی حوضه در چهار زیرحوضه بر اساس اوج رواناب و ارتفاع رواناب و حجم رواناب در سال مورد واسنجی قرار گرفت که نتایج محاسبه شده با نتایج مشاهده شده به طور میانگین در عنصر ارتفاع رواناب ۹۳/۱۵ درصد و در عنصر اوج رواناب ۹۴/۳۵ درصد و در عنصر حجم رواناب ۹۴/۹۵ درصد مطابقت اجرای صحیح مدل بر روی حوضه را نشان می‌دهد که در بردارنده مقبولیت نتایج را مشخص می‌نماید.

جدول ۸: نتایج واسنجی مدل با توجه به مقادیر تلفات اولیه به تفکیک زیرحوضه‌ها

عناصر	زیرحوضه‌ها	محاسبه شده	مشاهده شده	اختلاف محاسبه و مشاهده	درصد اختلاف محاسبه و مشاهده	درصد مطابقت
ارتفاع رواناب (mm)	مشیران	۱۹۴/۵۰	۱۸۰/۲۰	۱۴/۳۰	۷/۳۵	۹۲/۶
	هوراند	۲۸۸/۲۰	۲۷۴/۴۵	۱۳/۷۵	۴/۷	۹۵/۳
	سمبور	۲۴۹/۱۰	۲۳۹/۳۳	۹/۷۰	۳/۹	۹۶/۱
	بوران	۴۳/۶	۳۸/۶۰	۵/۲۰	۱۱/۴	۸۸/۶
اوج رواناب (m/s3)	مشیران	۱۱۱	۱۰۳/۶۱	۷/۳۰	۶/۶	۹۳/۴
	هوراند	۲۷۵/۷	۲۶۳/۹۳	۱۱/۷۶	۴/۲	۹۵/۸
	سمبور	۱۴۳/۸	۱۳۶/۲	۷/۶۰	۵/۲	۹۴/۸
	بوران	۱۵۰/۱۰	۱۴۰/۱۷	۹/۹۳	۶/۶	۹۳/۴
حجم رواناب (mm)	مشیران	۱۴۳/۵۳	۱۳۸/۳۰	۵/۲۲	۳/۶	۹۶/۴
	هوراند	۲۲۳/۸۹	۲۱۵/۶۲	۸/۲۳	۳/۶	۹۶/۴
	سمبور	۱۹۲/۹۲	۱۸۳/۸۴	۹/۰۷	۴/۷	۹۵/۳
	بوران	۹۴/۷۴	۸۷/۱۳	۷/۶۰	۸/۳	۹۱/۷
زمان پیک (میلادی)	مشیران	۱۶ فوریه	۱۶ فوریه	۰/۰۰	۰/۰	۱۰۰
	هوراند	۱۹ مارس	۱۹ مارس	۰/۰۰	۰/۰	۱۰۰
	سمبور	۳۰ آوریل	۳۰ آوریل	۰/۰۰	۰/۰	۱۰۰
	بوران	۱۹ مارس	۱۹ مارس	۰/۰۰	۰/۰	۱۰۰
حجم نفوذ در خاک (mm)	مشیران	۵۰/۹۷	-	-	-	-
	هوراند	۶۴/۳۱	-	-	-	-
	سمبور	۵۶	-	-	-	-
	بوران	۴۰/۳۶	-	-	-	-

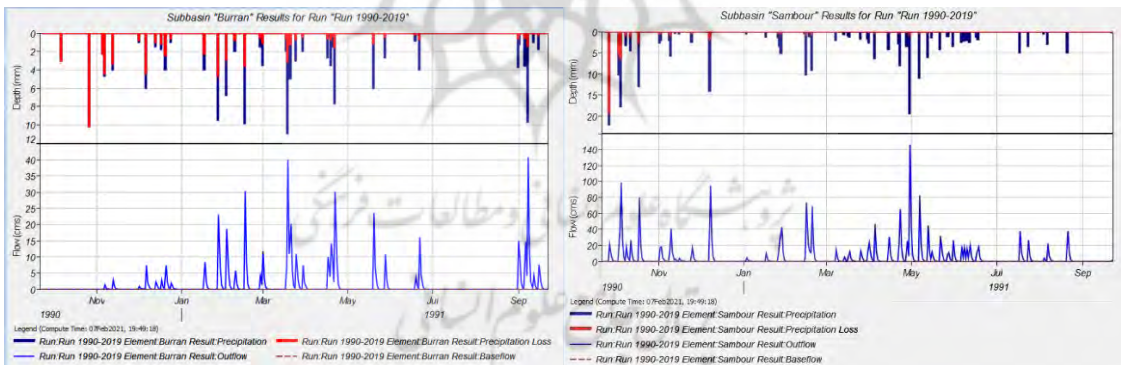
جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی بر تاثیر در تغییرات رواناب حوضه، بارش سالانه ۲۰۱۹ حوضه یکبار هم با ویژگی‌های کاربری اراضی ۱۹۹۰ به مدل معرفی گردید تا مشخص گردد که آیا تغییر در روند میزان جریان رودخانه از تغییرات کاربری اراضی متاثر می‌گردد یا اینکه تغییرات به وجود آمده از عوامل دیگری متاثر می‌شود؛ اجرا شد (شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷) که نتایج آن در جدول ۸ ارائه گردید و مشخص شده که اوج رواناب در زیرحوضه مشیران با کاهش ۷ مترمکعب و کاهش ۸/۵ میلی‌متر حجم رواناب و در زیرحوضه هوراند با کاهش ۸/۶ متر مکعب اوج رواناب و کاهش ۱۲ میلی‌متر حجم رواناب و

زیر حوضه سمبور با کاهش ۲/۲ متر مکعب اوج رواناب و کاهش ۱۲ میلیمتر حجم رواناب همراه بوده است در حالی که در زیر حوضه بوران بر خلاف سه زیرحوضه قبلی افزایش اوج رواناب به میزان ۱۰ متر مکعب در ثانیه و افزایش حجم رواناب به میزان ۹/۶ میلیمتر برآورد شده است که این تغییرات با روند تغییر در نفوذپذیری هر یک از زیرحوضه‌ها همبستگی منفی کامل نشان می‌دهد و خطوط قرمز در نمودار زیرحوضه‌ها نشان از میزان نفوذ آب در هر زمان از بارش می‌باشد در حالی که این میزان از بارش با توجه به تغییر کاربری اراضی ۲۰۱۹، میزان نفوذپذیری کمتری را در زیرحوضه‌های سمبور و هوراند و مشیران نشان داده و در زیرحوضه بران افزایش میزان نفوذپذیری مشاهده می‌شود. (جدول ۹) و (شکل‌های ۷ الی ۱۰).



شکل ۷: نتیجه مدل برای زیرحوضه مشیران

شکل ۸: نتیجه مدل برای زیرحوضه هوراند



شکل ۹: نتیجه مدل برای زیرحوضه سمبور

شکل ۱۰: نتیجه مدل برای زیرحوضه بران

جدول ۹: نتایج حاصل از بارش ۲۰۱۹ در کاربری اراضی ۱۹۹۰ به تفکیک زیرحوضه‌ها

عناصر زیرحوضه	۲۰۱۹ رواناب m3/s	۱۹۹۰ رواناب m3/s	حجم رواناب ۲۰۱۹ mm	حجم رواناب ۱۹۹۰ mm	میزان تغییرات اوج رواناب m3/s	درصد تغییرات اوج رواناب	میزان تغییرات حجم رواناب mm	درصد تغییرات حجم رواناب
مشیران	۱۱۱	۱۱۸	۱۴۳/۵۳	۱۵۲/۱۱	۷	۶/۳	۸/۵	۵/۹
هوراند	۲۷۵/۷	۲۸۴/۳	۲۲۳/۸۹	۲۳۵/۹۱	۸/۶	۳/۱	۱۲	۵/۳
سمبور	۱۴۳/۸	۱۴۶/۱	۱۹۲/۹۲	۲۰۰/۵۹	۲/۲	۱/۵	۷/۶	۳/۹
بوران	۱۵۰/۱۰	۱۴۰	۹۴/۷۴	۸۵/۱۲	-۱۰	-۶/۷	-۹/۶	-۱۰/۱

### نتیجه‌گیری

چشم‌انداز حوضه‌های آبریز معمولاً در طول توسعه اقتصادی و اجتماعی ساکنان آن تغییر اساسی می‌کند و کمیت، مورفولوژی و ساختار سیستم رودخانه‌ها معمولاً ناخواسته همراه با تغییر کاربری اراضی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در تحقیق حاضر، تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش کاربری اراضی حوضه آبریز دره رود و تأثیر آن بر روند کاهشی دبی جریان و نامنظم شدن آن در فصول سال انجام شد و مشخص گردید که بیشترین تغییرات در کاربری اراضی شامل تغییرات کشت آبی و زراعت دیم و مرتع، زمین‌های بایر، مناطق سنگی، مناطق مسکونی و بستر دره رود می‌باشد که بیشترین مساحت تغییراتی متعلق به زمین‌های بایر است که ۴۶۴ کیلومترمربع کاهش مساحت داشته است. کمترین تغییرات نیز متعلق به باغ و جنگل و دریاچه می‌باشد که کلاس دریاچه حداقل‌ترین تغییرات را با ۱/۴۷ کیلومترمربع افزایش داشته است. شماره منحنی (CN) در بازه ۳۰ ساله با توجه به مطالعات هیدرولوژی خاک سازمان منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی و لایه هیدرولوژی خاک حوضه آبریز دره رود مستخرج از همین سازمان و تفاضل تغییرات کاربری اراضی مستخرج از تصاویر ماهواره ای لندست با طبقه بندی شی گرا، زیرحوضه مشیران از ۸۳/۸ به ۸۳ و زیرحوضه هوراند از ۸۳/۵ به ۸۰ و زیرحوضه سمبور از ۸۴/۵ به ۸۲/۱ کاهش یافته است که نشان دهنده تغییرات کاربری اراضی در جهت افزایش نفوذپذیری خاک بوده است در حالی که در زیرحوضه بران شماره منحنی (CN) با توجه به نوع تغییرات کاربری انجام گرفته در آن از ۷۶/۵ به ۸۰/۳ افزایش یافته است که نشان دهنده کاهش نفوذپذیری خاک می‌باشد. با توجه به اهمیت شماره منحنی (CN) در برآورد میزان تاخیر در رواناب حوضه نیز باعث شده است تا زمان تاخیر در زیرحوضه مشیران و هوراند و سمبور افزایش یافته و در زیرحوضه بران کاهش یابد. بنابراین با توجه به استفاده بارش سالانه ۲۰۱۹ در کاربری اراضی ۱۹۹۰ با شماره منحنی (CN) و زمان تاخیر در رواناب ۱۹۹۰ (TLag) در مدل مشخص گردید که اوج رواناب در زیرحوضه مشیران از ۱۱۸ به ۱۱۱ مترمکعب در ثانیه و زیرحوضه هوراند از ۲۸۴/۳ به ۲۷۵/۷ متر مکعب در ثانیه و در زیرحوضه سمبور از ۱۴۶/۱ به ۱۴۳/۸ مترمکعب در ثانیه کاهش یابد در حالی که در زیرحوضه بران اوج رواناب از ۱۴۰ به ۱۵۰/۱۰ مترمکعب در ثانیه کاهش یابد. بنابراین در حجم رواناب نیز در زیرحوضه‌های مشیران و هوراند و سمبور کاهش یافته و زیر حوضه بوران روند افزایشی داشته است. میزان نفوذ رواناب در حوضه در سال ۱۹۹۰ در زیرحوضه مشیران ۴۶/۹۳ میلیمتر و در زیرحوضه هوراند ۵۱/۹۰ میلیمتر و زیرحوضه سمبور ۴۸/۹۵ میلیمتر و در زیرحوضه بوران ۷۰/۶۱ میلیمتر محاسبه شده است در حالی که در سال ۲۰۱۹ در زیرحوضه مشیران به ۵۰/۹۷ میلیمتر و در زیرحوضه هوراند به ۶۴/۳۱ میلیمتر و در زیرحوضه سمبور



۵۶ میلیمتر کاهش یافته است در صورتی که در زیرحوضه بوران به ۵۵/۳۶ میلیمتر افزایش یافته است. باید توجه داشت که در فصل تابستان با توجه به کاهش میزان رواناب به حداقل ترین حد خود و با در نظر گرفتن افزایش میزان نفوذپذیری آب در زیرحوضه‌های مشیران و هوراند و سمبور و از طرفی افزایش نیاز آبی باغات و مزارع باعث می‌گردد که رواناب حوضه دچار نوسانات جریانی مهمی شده و حتی باعث خشک شدن رودخانه در ماه‌های تیر و مرداد و شهریور شود و آسیب مهمی به اکوسیستم حوضه از لحاظ گیاهی و جانوری گردد و با کاهش میزان جریان رودخانه در طی بارندگی‌ها باعث می‌گردد که باغداران از خالی مانده سواحل رودخانه استفاده کرده و با تصرف سواحل رودخانه از عرض بستر رودخانه کاسته شود که این نیز در مواقع بحرانی می‌تواند باعث صدمات و خسارت‌های مهم انسانی و مالی گردد و علاوه بر آن عامل مهمی در افزایش میزان رسوب رودخانه شود که در مطالعات (صمدزاده و همکاران ۱۳۹۲، ۱۵۳-۱۷۸) اثبات این امر محقق می‌باشد و باعث کاهش در بهره‌وری از سد عمارت گردد که با توجه به آن مهم می‌نماید تا از طرف مسولین امر مورد توجه واقع شود و مدیریت اساسی و علمی در این خصوص اتخاذ گردد.

## منابع

- علیزاده، ا.، ۱۳۸۷، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و پنجم، انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد.
- اصغری سراسکنرود، ص.، محمدنژاد، و.، امامی، ه.، ۱۳۹۸، بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شی‌گرا و تجزیه و تحلیل اثرات تغییر کاربری اراضی در فرسایش خاک مطالعه موردی: شهر مراغه، تحقیقات کمی ژئومورفولوژی، دوره هشتم، شماره ۱، صص ۱۶۰-۱۷۸.
- بلواسی، ا.، اصغری سراسکنرود، ص.، اسفندیاری، ف.، زینالی، ب.، ۱۳۹۹، نقش تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های رواناب و جاری شدن سیل در حوضه آبریز دوآب، اکو هیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۲، صص ۳۳۱-۳۴۴.
- فیضی‌زاده، ب.، پیرنظر، م.، زندکریمی، آ.، عابدی قشلاقی، ح.، ۱۳۹۳، ارزیابی کاربرد الگوریتم‌های فازی در افزایش دقت نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده با روش‌های پردازش شی‌گرا، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره بیست و چهارم، شماره ۹۴، صص ۱۱۷-۱۰۷.
- فیضی‌زاده، ب.، هلالی، ح.، ۱۳۸۹، مقایسه روش‌های پیکسل پایه و شی‌گرا و پارامترهای موثر در طبقه‌بندی کاربری اراضی استان آذربایجان غربی، تحقیقات جغرافیای طبیعی (تحقیقات جغرافیایی)، دوره ۴۲، شماره ۷۱، صص ۸۴-۷۳.
- فروغی، ز.، شایان، س.، کردوانی، پ.، ۱۳۹۷، تأثیر تغییر کاربری اراضی بر وضعیت ژئومورفولوژیکی رودخانه کر، تحقیقات کمی ژئومورفولوژی، دوره هفتم، شماره ۱، صص ۲۱۰-۱۹۳.
- حامدی، ن.، اسماعیلی، ع.، فرامرزی، ح.، ۱۳۹۸، تجزیه و تحلیل سناریوهای بالقوه خطر آتش‌سوزی شهر لردگان با استفاده از GIS و RS، دوفصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، بهار و تابستان ۹۹، شماره ۱۷، صص ۲۷-۱۷.
- حجازی، ا.، مزبانی، م.، ۱۳۹۴، برآورد ارتفاع و حداکثر مقدار رواناب با استفاده از روش عدد منحنی CN مطالعه موردی: حوضه آبریز سراب دره شهر، هیدروژئومورفولوژی، دوره دوم، شماره ۵، صص ۸۱-۶۳.
- مهدوی، م.، ۱۳۹۰، هیدرولوژی کاربردی، چاپ نهم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- رضایی‌مقدم، م. ح.، رضایی‌بنفشه، م.، فیضی‌زاده، ب.، نظم‌فر، ح.، ۱۳۸۷، طبقه‌بندی پوشش اراضی براساس روش شی‌گرا و تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی، مجله تحقیقات آبخیزداری، تابستان ۸۹، شماره ۸۷، صص ۳۵-۲۱.
- سلمانی، س.، ابراهیمی، ح.، محمدزاده، ک.، ولی‌زاده، خ.، ۱۳۹۶، ارزیابی روش‌های مختلف طبقه‌بندی شی‌گرا در استخراج کاربری زمین از تصاویر ماهواره‌ای Iconus، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره بیست و هشتم، شماره ۱۱۱، صص ۲۱۵-۲۰۵.

- صمدزاده، ر.، خیام، م.، فاضلی، ع.، ۱۳۹۲، مدل‌سازی برآورد منطقه ای رسوب معلق در حوضه آبریز دره رود اردبیل، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۴، پیاپی ۵۱، شماره ۳، صص ۱۷۸-۱۵۳.
- *mm & ddddii mmaaatt PP & rrrrrr rr .. & rr ttt i (2222) Uccclle ittrrr ratio of oollll iee iifrrcce eettt tti ixxxx: eee prlll of tttt ial ttt erggeeeityIIIEETTfss att innnnmmnss cinneennRRReeee eæsss i 00 33333 38.*
- *bbbbbbbb M rrr i (222) A Hrrr id Intellicccc Mddl fo th Prddictinn of teeeeeeeeee fffDl iii llll WWWWWW till 2222442222..*
- *lll nnn & ii tt eeeuu G & G & Mll eee T ())) )llll ttt i of ttt ellit pcciii tatio rrddttt uin HCC HM mddl Meeelin rrr t sss tmm ddd iii rmmmt -2222.*
- *tttt iwi PCC & Hiyym Yffinnti D ())) ) fffct f lnn eee aaa to rrrfeee oooff ii ccaarge i tee OOMOONG watreee at nnn recccy IOP Cfff ernneeeei ss: Eftt aaaiiii immttt alSSi enee 11111.*
- *lll il, & iiiii iKKK(222) A iiiii ww tee HCCHM(( iii ffall - oooff - ii multt i)) mllll Itt raatioll rrrr nll fff ggiii lll taadcccinneeae eeeee erc1111111-1*
- *....., H & Yyy F & T .. ())) )eesssi th Effct of nnn Uee Ceeeee e rrrfeee Rfff fi aaill Unnniz Cit.: A Cee St of t Cntaad Ar of iii jiLLLILLItt icl1111111..*
- *cccc & tttt & Mmmmm I & iii ii sss & ())) ) Mppi lddd eee- lddd ceee ggggggi t Lowrr Me i frmm 7777-0000, rrrntiess ivvvvrrmmntll ccacc., 111ll*
- *Kii M HHH & C H yyyyyyy, & yyyyyyyW ())) )fff cct of l ss/vvve nnnss o ffff f i t Mi vvvrr wttrs iee aaaaac nnd iiiii iii ionrrrtill., 999999*
- *Kkkksss iii t P., & Tsss & lllll l, ())) )llll aatio ff the nnnnt lllll l Ieee (PPI) ND VVI f Strrt-ff-Ssssnn Tr aaalssi., ff the Nttt eemmmmmereBBrell eeeeeeeeeeeeni n,, , -...*
- *Klll i., H & kkiiii K&&rrrr yyssu D & ttttt ttt UU& iiiii i H (2220) /la ceer aaa al th sss te Caatt of th UEE it impittt fliiii ng ii kkgGt tcuuuuuuHHrrr dddd dddd 111112-33..*
- *MiLLLL&HHHHHHHlvv&&& &&&& &&&& &&&& ())) )Veettt iCCCo WWWWCtt nnt ttt imati Usig GMM a WWT Meel frmm MODI Dtt 2 ddd Intrrtt innal Crrrr essnntl mee SSSSSlll PPeessi 00000000.*
- *eeetr C & tt eeeee eF & ee MGG())) )Dssiiii scctaal inxxx t sstimat eeeettt inn wt e cttt ttt frmmroot eeni gg aat.: Ptt Validtt i alll ictt io,, mmmnt SSSs iooffvvvrrnmmtt -....*
- *Qi,..... , & Wjjj i,, H & yytt i, DDD & Dii li ())) )Veetatinn liii ees Cmmii ii n t ee d- cctlll Iffotttt io f ffff Ar Ieee ttt rivval, IEEOOONLL1111111.*
- *T,..... , D & ttt . ())) )eessii nll eeeeeedllll lll vvvrrgggggtt ccttion iii rooot eeniin i th aaai Nrrtwest iiiii iii a Ctttt mnii rnmmtt ll iii nnee666111..*
- *W & Diiii iii M & H Mi W ())) )tt aatifi Ojj cct-Orinntdd Im Clssifictt i aaee Reeeee ennni gg Im ccee Divisi rrrr ll of cccc troccppyl 111111111.*
- *& fff r H & ii C & YoooooC & ii & Gjjjj jnn, Y & yyyyyyy (000) yyyyyy ff ND nn ccal differnee eettt tti ixxxx retrivvals ffeegt atiffff ccctimmmmmre eaii oooffvvvvirommtt 66666666...*