



نسخه از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال هشتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۵  
Vol.8, No. 4, Winter 2017 Iranian Remote Sensing & GIS

۷۹-۹۲

## یکپارچه‌سازی سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) و مدل بارش-رواناب (SWAT) با در نظر گرفتن تغییرات کاربری‌ها برای پیش‌بینی دبی ورودی و حجم رسوب (مطالعه موردی: سد ستارخان)

ناصر محمدی ورزته<sup>۱</sup>، علیرضا وفایی‌نژاد<sup>۲\*</sup>، جلال کرمی<sup>۲</sup>، رضا راستی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲. استادیار گروه سازه و ژئوتکنیک، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۳. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۴/۱۲

### چکیده

هدف از مطالعات رسوب‌گذاری در یک سد مخزنی یافتن دیدی کلی در مورد میزان حجم ازدست‌رفته مخزن است. در این میان، بررسی و پیش‌بینی حجم رسوب وارد شده به مخزن اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش، با استفاده از روش آماری ریزمقیاس‌کردن، بارش و دما در محدوده حوضه آبریز سد ستارخان با مساحت ۹۵۰ کیلومتر مربع، واقع در استان آذربایجان شرقی، در بلندمدت پیش‌بینی شده‌اند. با توجه به اطلاعات بارش و دمای پیش‌بینی شده، به کمک مدل SWAT<sup>۱</sup>، رسوب ورودی به سد شبیه‌سازی شده است. مقایسه نتایج این مدل و مقادیر مشاهداتی نشان می‌دهد گرچه مدل SWAT با دقت بالای ۸۰٪ می‌تواند روند جریان رسوب ورودی به مخزن را شبیه‌سازی کند، قادر به شبیه‌سازی مقادیر واقعی رسوب نیست. برای رفع این اختلاف، باید پارامتر فرسایش نیز، برای رسیدن به نتیجه مطلوب، در محاسبات لحاظ شود. بنابراین ابتدا با کمک مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) بارش مورد نظر پیش‌بینی شده و سپس نقشه کاربری به منظور تعیین میزان تأثیر کاربری، به تبع آن، فرسایش در محیط GIS تهیه شده است. ترکیب پارامتر کاربری در محیط GIS و بارش پیش‌بینی شده می‌تواند خروجی SWAT را به مقدار واقعی نزدیک‌تر کند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که با یکپارچه‌سازی و استفاده از مدل‌های به‌کاررفته و قابلیت‌های GIS می‌توان نتایج و برآورد میزان حجم رسوب را با دقت بالای ۹۵٪ محاسبه کرد.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی، دبی ورودی، حجم رسوب، GIS، MLP، SWAT.

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: تهران، حکیمیه، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، گروه سازه و ژئوتکنیک. تلفن: ۷۳۹۳۳۴۲۹  
Email: a\_vafaei@sbu.ac.ir

## ۱- مقدمه

فرسایش و رسوب‌گذاری همواره و در دوران گوناگون وجود داشته و همراه با انتقال رسوب و کیفیت آب از مسائل بسیار مهم در مدیریت حوضه‌های آبخیز محسوب می‌شوند. این مسائل را می‌توان با برقراری و توسعه برنامه‌های اندازه‌گیری مقدار رسوب انتقالی در رودخانه‌ها بررسی کرد (Olive & Reiger, 1992). رسوبات هم ممکن است در کیفیت آب ایجاد مشکل کنند و هم با پرکردن مخازن سدها موجب کاهش حجم آب ذخیره‌شده شوند. در واقع رسوب معلق با فرسایش خاک ارتباط نزدیک دارد (Walling, 1994). در عین حال، رسوب‌گذاری موجب تغییر مسیر رودخانه‌ها و تبعات ناشی از آن نیز می‌شود. اما تا کنون به این پدیده کمتر پرداخته شده است و توجه بیشتر به بحران‌هایی همچون سیل، زلزله، طوفان و رانش زمین معطوف بوده است. این امر ناشی از آن است که بیشتر بلاای طبیعی می‌توانند در زمانی کوتاه، خسارات مالی و جانی بسیاری ایجاد کنند اما خسارات ناشی از بروز رسوب‌گذاری، تدریجی و در دوره زمانی طولانی‌تری، خود را نشان می‌دهند. در شرایط کنونی، رشد فزاینده جمعیت و افزایش روزافزون نیاز آبی توجه دقیق کارشناسان به این پدیده را می‌طلبد.

در راستای مقابله با پدیده رسوب‌گذاری، متخصصان صاحب‌نظر باید به دنبال آن باشند که با طرح و اجرای روش‌های اصولی، علمی و کاربردی از مشکلات و تبعات ناشی از این پدیده بکاهند. از آنجاکه بیشتر رسوبات در دوره‌های سیلابی انتقال می‌یابد، ضرورت دارد که به این مسئله توجه دقیق‌تری شود (علیزاده، ۱۳۸۹). در این زمینه، هدف تحقیق حاضر آن است که برای پیش‌بینی حجم رسوب از توانمندی‌های GIS بهره‌جوید و با کمک مدل بارش-رواناب SWAT و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، روشی اصولی و علمی برای پیش‌بینی دبی ورودی و حجم رسوب عرضه کند تا براساس آن بتوان مشکلات مدیریت و مقابله با پدیده رسوب‌گذاری را کاهش داد. حسینی‌خانی (۱۳۹۲)

مطالعه‌ای با هدف فرسایش در حوضه آبریز سد شه‌ریار میانه، واقع در استان آذربایجان شرقی، انجام داده که مهم‌ترین هدف آن تعیین میزان حساسیت سازندها به فرسایش و نقش آنها در تشکیل رسوبات جدید است. بدین‌منظور، ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه، لایه‌ها و داده‌های مربوط استخراج شده‌اند. در گام بعدی، با وزن‌دهی و تلفیق لایه‌ها، شدت فرسایش به کمک GIS برآورد و سپس با روش (EPM)<sup>۱</sup> توان رسوب‌دهی سازندهای موجود برآورد شده است.

با هدف پیش‌بینی سالیانه خاک و بار، از GIS و فاکتور RUSLE آرخ و نیازی (۱۳۸۹) استفاده شده است. خروجی‌های این مدل به میزان واقعی بسیار نزدیک است و می‌توان از ترکیب این مدل با GIS در برآورد بار رسوب استفاده کرد. همچنین رضوی‌زاده (۱۳۹۳)، به‌منظور پیش‌بینی بار معلق رسوب رودخانه طالقان با استفاده از MLP و شناسایی شبکه بهینه با بالاترین دقت، از ۵۰۰ داده روزانه متغیرهای دبی روز مورد نظر، دبی یک روز قبل، اشل و وضعیت هیدروگراف به‌منزله ورودی مدل و ۵۰۰ داده روزانه بار معلق رسوب متناظر به‌جای خروجی مدل استفاده کرد. این کار نشان داد شبکه عصبی با ترکیب پارامترهای ورودی دیگر دارای دقت مناسبی برای برآورد رسوب ورودی محسوب به‌شمار می‌آید.

فلامکی (۱۳۹۲) روشی بر پایه شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین بار رسوب مطرح کرد که از مدل MLP و توابع پایه شعاعی (RBF) و دویست نمونه در آن استفاده شده است. متغیرهای ورودی در آن عبارت‌اند از: سرعت میانگین جریان، شیب کف آبراهه، عمق میانگین، عرض آبراهه و قطر میانه ذرات رسوب و خروجی مدل و غلظت رسوب. نتایج نشان داده که دقت شبکه‌های عصبی، به‌ویژه مدل MLP، در تخمین بار رسوب بسیار بالا بوده است. با توجه به اهمیت کاربری

1. Erosion Potential Method

معرفی شده‌اند اما از قابلیت‌های GIS در ترکیب این دو مدل استفاده نشده است. بنابراین، هدف پژوهش حاضر ترکیب مدل SWAT و MLP با قابلیت‌های GIS برای برآورد واقعی‌تر حجم رسوب پشت سد مخزن است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز اهرچای از زیرحوضه‌های رودخانه ارس واقع در شمال غرب ایران است. در شرق این حوضه، سد ستارخان قرار دارد. سد ستارخان روی رودخانه اهرچای، در ۱۵ کیلومتری غرب شهر اهر، در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. موقعیت سد در شکل ۱ نمایش داده شده است.

### ۲-۲- روش تحقیق و داده‌ها

پژوهش حاضر، از لحاظ ماهیت و کاربردی و، از لحاظ روش، توصیفی است. برای گردآوری اطلاعات بنیادی درباره رسوب‌گذاری، مدل SWAT، GIS و MLP از روش کتابخانه‌ای استفاده شده است. داده‌های بارش و دمای روزانه در ایستگاه‌های موجود در محدوده بالادست سد و اطلاعات روزانه ورودی به سد، مشخصات هیدرولوژیکی حوضه آبریز و اطلاعات اقلیمی

اراضی در فرسایش و رسوب‌گذاری، فرخزاده (۱۳۹۴) در تحقیقی تأثیر تغییر کاربری اراضی در بار معلق حوضه آبخیز یلفان طی ۲۵ سال اخیر را بررسی کرد. او بدین‌منظور، با استفاده از مدل SWAT و الگوریتم SUFI2 و ترکیب با پارامتر کاربری اراضی، رسوب را در حوضه مورد نظر بررسی و برآورد کرد. نتایج این تحقیق نشان داده است که مدل SWAT توانایی بالایی در برآورد حجم رسوب دارد.

گلشن، برای مدلسازی هیدرولوژیکی منطقه، مدل SWAT را به کار برده است. برای این هدف و به‌منظور اجرای مدل SWAT، ابتدا لایه‌های خاک‌شناسی و نقشه رقومی ارتفاع روه‌گذاری شده و در نهایت، ۹۴ واحد هیدرولوژیکی (HRU) تعیین و اجرای مدل در آن‌ها انجام شده است. سپس آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی به مدل برای تعیین پارامترهای حساس بارش روش SUFI2 انجام شده است. در نهایت، ارزیابی نتایج حاصل نشان داد که این مدل کارایی مناسبی برای شبیه‌سازی دبی جریان و بار رسوب منطقه دارد. همان‌گونه که تحقیقات مورد نظر نیز نشان می‌دهند، در زمینه برآورد حجم رسوب، مطالعات متفاوتی با روش‌های گوناگون صورت پذیرفته است. در بیشتر این مطالعات، روش SWAT و مدل MLP بهترین مدل‌ها



شکل ۱. موقعیت سد ستارخان و حوضه آبریز اهرچای در استان آذربایجان شرقی

### ۳-۱- پیش‌بینی بلندمدت بارش و رسوب

تغییرات بارش و دما به تغییرات متغیرهای هواشناسی بسیار مرتبطاند؛ بنابراین، ابتدا ایستگاه‌های شاخص در دوره زمانی مشابه (سال ۱۳۸۴-۱۳۴۶) برای پیش‌بینی بارش و دما در محدوده حوضه آبریز اهرچای و در بالادست سد ستارخان انتخاب شده‌اند. این ایستگاه‌ها عبارت‌اند از: پردل، پیام، خرمازد و کسانق، و مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. البته شایان ذکر است برای دو ایستگاه کسانق و خرمازد، با توجه به فقدان داده در سال‌های پیش از ۱۳۵۰، دوره زمانی ۱۳۸۴-۱۳۵۰ در نظر گرفته شده است (اطلاعات پیش‌بینی‌کننده‌ها از سایت گروه هواشناسی کانادا<sup>۴</sup> و اطلاعات بارش روزانه ایستگاه‌های یادشده از سازمان هواشناسی و وزارت نیرو (تماب) دریافت شده‌اند). سپس، با استفاده از روش‌های آماری کوچک‌مقیاس کردن (SDSM)، پس از تعیین سیگنال‌های مؤثر در بارش و دما (شاخص‌های اقلیمی مؤثر در دما و بارش) در منطقه مورد مطالعه، مقادیر بارش روزانه و دمای روزانه پیش‌بینی می‌شود. به‌منظور بررسی و صحت‌سنجی خروجی این مدل با واقعیت برای پیش‌بینی دما و بارش، با توجه به اینکه در ایستگاه‌های گوناگون در دوره‌های زمانی ۱۳۸۴-۱۳۷۰ اطلاعات کامل وجود داشت، برای تست و مقایسه از این دوره استفاده شد. نتایج نشان داد که این مدل در دوره زمانی یادشده توانست دما را به‌شکل مناسبی شبیه‌سازی کند و در زمینه بارش نیز پیش‌بینی موفقیت‌آمیزی داشته باشد. همچنین، با استفاده از مقادیر پیش‌بینی‌شده بارش و دما رسوب ورودی به مخزن سد در محدوده حوضه آبریز اهرچای ارزیابی و بررسی خواهد شد تا بتوان وضعیت منابع آبی و رسوب ورودی به مخزن سد در این حوضه در دوره‌های آتی را پیش‌بینی کرد.

1. Statistical DownScaling Model
2. Soil and Water Assessment Tools
3. Multi-Layer Perceptron
4. Canadian Climate Impacts Scenarios Group

محدوده مورد نظر از طریق بررسی کتابخانه‌ای و میدانی جمع‌آوری شده‌اند. پس از جمع‌آوری اطلاعات پایه مربوط، مدل آماری ریزمقیاس کردن (SDSM)<sup>۱</sup>، برای پیش‌بینی بلندمدت بارش و دمای روزانه در منطقه مورد مطالعه، کالیبره و صحت‌سنجی شده و براساس خروجی‌های آن، مدل شبیه‌سازی بارش-رواناب (SWAT)<sup>۲</sup> برای شبیه‌سازی آورد ورودی به سد تدوین شده است. سپس با توجه به سناریوهای گوناگون در رابطه با الگوی کشت در سه دوره زمانی متفاوت (سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۷، ۲۰۰۱)، روش‌های گوناگون مدیریتی برای کاهش بار رسوب در سطح حوضه بررسی شده و بهترین روش مدیریتی مطرح شده است.

### ۳- طراحی و اجرای مدل

در این تحقیق، ابتدا با بررسی ایستگاه‌های باران‌سنجی و استفاده از پارامترهای اصلی بارش و پس از آن، با استفاده از مدل MLP<sup>۳</sup> برای پیش‌بینی بلندمدت بارش اقدام شده است. سپس با استفاده از مدل SWAT و بارش پیش‌بینی‌شده، مقدار اولیه رسوب ورودی به سد برآورد شده است. به‌عبارتی، با این دو مدل، رسوب ورودی به پشت مخزن محاسبه شده است. نکته مهمی که باید در نظر گرفته شود کاربری زمین است. در هر منطقه‌ای، کاربری زمین در زمینه فرسایش نقش بسزایی دارد و میزان رسوب با فرسایش رابطه مستقیم دارد. بنابراین به‌منظور تدقیق بیشتر، از قابلیت‌های GIS و سنجش از دور استفاده شده است. درواقع با استفاده از قابلیت‌های این دو دانش، میزان بارش پیش‌بینی‌شده با کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه ترکیب شده و با بررسی هم‌زمان این دو پارامتر برای برآورد دقیق رسوب ورودی به مخزن اقدام شده است. در این تحقیق تلاش کرده‌ایم، با قابلیت‌های GIS و سنجش از دور، پارامترهای کاربری و فرسایش را در مدل برآورد رسوب دخیل کنیم و به خروجی مطلوب تری دست یابیم. جزئیات این مراحل در ادامه تشریح شده است.

شده، مقدار CM نظیر برآورد می‌شود. بنابراین در این ایستگاه، با بررسی میدانی و مقایسه نمونه‌برداری‌ها با هر دو روش، باید به رابطه‌ای رسید که بتواند ارتباط این دو روش با یکدیگر را نشان دهد. به عبارتی، در آمار ایستگاه رضی در ۲۰۶ مورد، غلظت CM و CF هم‌زمان اندازه‌گیری و فرض شده که غلظت CM تابعی خطی از CF و دبی رودخانه Q باشد. رابطه یادشده به صورت معادله‌ای خطی براساس رابطه (۱) به‌دست آمده است.

$$Cm = 148 + 0/67CF + 93/4Q \quad (1)$$

در این رابطه، CM و CF غلظت برحسب میلی‌گرم در لیتر و Q دبی برحسب مترمکعب در ثانیه است. با استفاده از رابطه یادشده، غلظت CM برای مواردی که فقط غلظت CF اندازه‌گیری شده تکمیل خواهد شد. مرحله بعدی ایجاد رابطه‌ای بین بار رسوب روزانه و دبی است. طبیعی است که انتظار داشته باشیم در دوره خشک یا تر هر سال، که حوضه از نظر پوشش گیاهی و رطوبت خاک وضعیت متفاوتی دارد، پتانسیل تولید رسوب نیز متفاوت باشد. همچنین، رسوب حاصل از ذوب سریع برف و یا ناشی از رگبار با دبی مساوی متفاوت خواهد بود. بنابراین، رسم نقاط بار رسوب روزانه در مقابل دبی نظیر، پراکندگی بسیاری نشان می‌دهد و تعیین رابطه بین آنها به‌سختی میسر است. به همین جهت در رسم نقاط، دو دوره خشک و تر جداگانه در نظر گرفته شد تا پراکندگی نقاط کاهش یابد. به همین صورت، این روش برای ایستگاه رضی نیز تکرار شد و برای هر دوره، رابطه بار رسوبی براساس رابطه (۲) به‌دست آمد. شایان ذکر است این رابطه را فلیمنگ (۱۹۷۹)، با بررسی آمار رسوب معلق ۲۵۰ رودخانه دنیا، برای حوضه‌های فاقد آمار مطرح کرد. این رابطه در واقع رابطه‌ای است مورد تأیید که به‌صورت استاندارد بار رسوب را پیش‌بینی می‌کند.

$$S = aQ^b \quad (2)$$

در این رابطه، S بار رسوبی برحسب تن در روز و Q دبی برحسب مترمکعب در ثانیه است. نتایج حاصل برای ایستگاه رضی در جدول ۳ آمده است.

جدول ۱. ویژگی‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در حوضه

آبریز سد ستارخان		
نام ایستگاه هواشناسی	دوره آماری (سال)	میانگین بارش سالیانه (mm)
کسانق	۱۳۵۰-۱۳۸۴	۲۸۸
پیام	۱۳۴۶-۱۳۸۴	۲۵۵
خرمازرد	۱۳۵۰-۱۳۸۴	۱۹۸
پردل	۱۳۴۶-۱۳۸۴	۲۰۰

اختلاف در میزان بارندگی، پوشش گیاهی و ژئومورفولوژی حوضه‌ها از جمله عواملی‌اند که رسوب‌زایی متفاوتی را پدید می‌آورند. با وجود این، برای کاهش آثار خطاهای موجود در آمار هر ایستگاه و همچنین برآورد رسوب در نقاط بدون ایستگاه، از آمار ایستگاه‌های دیگر نیز استفاده شده است. در جدول ۲، فهرست ایستگاه‌هایی درج شده که آمار رسوب آنها جمع‌آوری شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های ایستگاه‌های رسوب‌سنجی موجود در حوضه آبریز و اطراف آن

نام ایستگاه	طول دوره آماری	تعداد سال	
		تعداد سال	تعداد نمونه‌های رسوب
مرادلو	۱۳۵۲-۱۳۸۲	۳۰	۸۰۸
فخرآباد	۱۳۴۷-۱۳۸۲	۱۵	۶۵
سامیان	۱۳۴۷-۱۳۸۲	۱۵	۹۰
رضی	۱۳۴۳-۱۳۸۲	۱۳	۲۰۶

معمولاً اندازه‌گیری رسوب به دو روش چندمقطعی و یا نقطه ثابت انجام می‌شود. در روش چندمقطعی (چندنقطه‌ای)، نمونه‌برداری در سه مقطع صورت می‌گیرد و میانگین نتایج به‌منزله غلظت بار معلق در نظر گرفته می‌شود (CM). در روش نقطه ثابت، اندازه‌گیری غلظت فقط در نقطه‌ای ثابت انجام می‌شود که از ساحل رودخانه بشود به آن دسترسی داشت (CF) و البته با غلظت میانگین بار معلق ممکن است تفاوت بسیاری داشته باشد. چنانچه بتوان رابطه‌ای بین غلظت‌های CM و CF یک رودخانه به‌دست آورد، در این صورت برای روزهایی که فقط اندازه‌گیری CF انجام

معماری از بین حالات یادشده، از میزان خطای خروجی با اطلاعات مشاهداتی با روش حداقل خطای بازبندی‌شده ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ خطا استفاده می‌شود. سپس سیگنال‌های مؤثر برگزیده از میان اطلاعات استخراج می‌شود و به کمک این سیگنال‌های شبیه‌سازی‌شده، بارش ماهیانه از طریق مدل پیش‌بینی می‌شود. شکل ۲ نتایج حاصل از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل MLP را برای بهترین جواب حاصل از تحلیل حساسیت نشان می‌دهد و شکل ۳ نشان‌دهنده نتایج حاصل از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل MLP پس از اعمال خطای بازبندی‌شده است. در این شکل مشخص است که، با اعمال موارد، مدل به نتایج بهینه‌تری دست یافته است و تفاوت خروجی شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی به کمترین میزان خود رسیده است.

### ۳-۲- پیش‌بینی بلندمدت جریان و رسوب ورودی به مخزن با مدل SWAT

با توجه به وضعیت متغیر منابع آب در سطح حوضه، مدیریت مخزن می‌تواند بسیاری از مشکلات آبی را کاهش دهد. اجرای طرحی برای مدیریت و برنامه‌ریزی مخزن نیازمند پیش‌بینی آورد رودخانه در محل ورودی به سد است. در این بخش، پس از صحت‌سنجی و واسنجی مدل حوضه‌ای بارش- رواناب، با استفاده از اطلاعات پیش‌بینی‌شده برای بارش به‌دست‌آمده از مدل MLP در محدوده حوضه مطالعاتی، مقدار رواناب ورودی به سد را می‌توان برآورد کرد. با توجه به اطلاعات موجود، دو ایستگاه فخرآباد و رضی تنها ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوضه آبریز سد ستارخان به‌شمار می‌روند. ایستگاه فخرآباد روی سرشاخه‌های حوضه در بالادست محل تقاطع مسیل فخرآباد با رودخانه حوضه قرار دارد. اما با توجه به سطح حوضه در محل ایستگاه رضی و قرارنگرفتن این ایستگاه در سرشاخه‌ها، و با توجه به مطالعاتی که مهندسان مشاور بندآب (۱۳۷۱) انجام داده‌اند، آینده این ایستگاه معادل میزان جریان ورودی به سد است.

**جدول ۳.** نتایج حاصل برای A و B در ایستگاه رضی

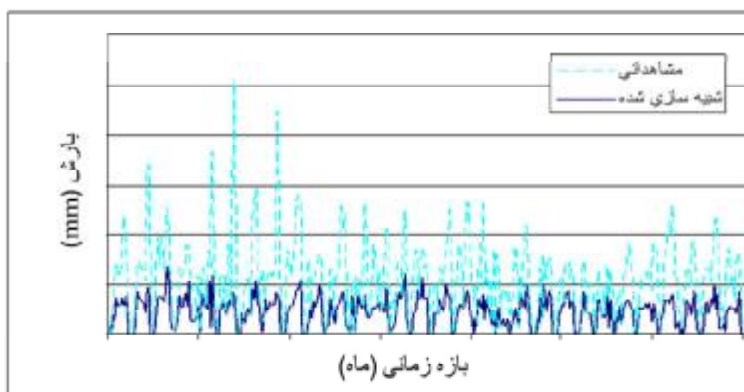
ایستگاه	دوره	A	B
رضی	خشک	۱۳/۳۷	۰/۹۷
رضی	تر	۳۱/۶۲	۵/۳۸۴

با استفاده از روابط بالا و اطلاعات موجود، میانگین رسوب در ایستگاه رضی ۲۹۶ هزار تن در سال برآورد شده است.

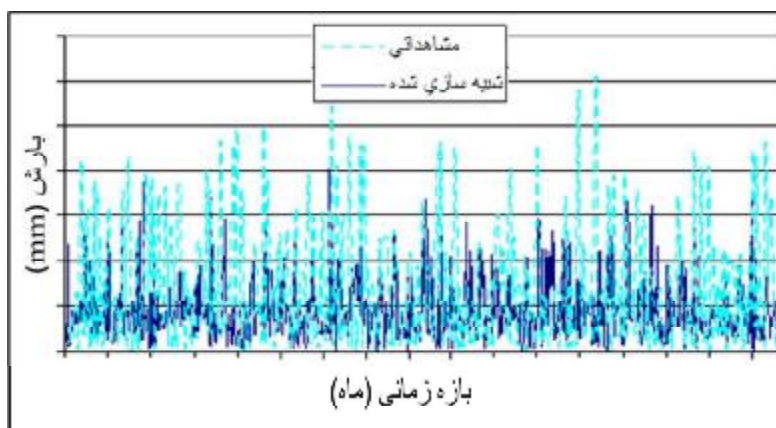
### ۳-۱-۱- پیش‌بینی بلندمدت بارش به کمک مدل MLP

هدف از به‌کارگیری این مدل پیش‌بینی بارش در حوضه آبریز اهرچای و در محل ایستگاه کسانق است که ایستگاه شاخص منطقه محسوب می‌شود. پارامترهای کالیبراسیون شبکه‌های عصبی عبارت‌اند از: تعداد لایه‌های مخفی، توابع فعالیت هر لایه، تعداد نورون‌ها در هر لایه مخفی، وزن‌های اولیه شبکه و میزان یادگیری. از آنجاکه هر شبکه عصبی با یک لایه مخفی زیگموئیدی و با تعداد نورون مناسب و لایه خروجی خطی قادر به تقریب هر تابع پیچیده‌ای خواهد بود، یک لایه مخفی برای تمامی شبکه‌های مورد مطالعه و توابع فعالیت تانژانت زیگموئید و خطی، به ترتیب برای لایه مخفی و لایه خروجی، در نظر گرفته می‌شود. برای به‌دست‌آوردن تعداد بهینه نورون‌های لایه مخفی در هر نوع شبکه، شبکه‌های عصبی با تعداد نورون‌های متفاوت (از ۳ تا ۱۴ نورون) طراحی و اجرا می‌شود. در این تحقیق، در مدل شبکه عصبی، ابتدا از سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس مشاهده‌شده مدل اقلیمی HADCM3 در جایگاه سیگنال‌های ورودی استفاده شده که حاصل اطلاعات چرخه عمومی جو (GCM) است. سپس با استفاده از سیگنال‌های شبیه‌سازی‌شده، بارش ماهیانه پیش‌بینی شده است.

برای کالیبراسیون بارش پیش‌بینی‌شده، پس از تحلیل حساسیت روی تعداد نورون‌ها و اپیک‌های مدل، باید مدل را ارزیابی کنیم تا صحت نتایج در مرحله پیش‌بینی مطمئن و درست باشد. برای ارزیابی و انتخاب بهترین



شکل ۲. مقایسه بارش ماهیانه مشاهده‌ای با بارش شبیه‌سازی شده با مدل MLP، به کمک سیگنال‌های NCEP



شکل ۳. مقایسه بارش ماهیانه مشاهده‌ای با بارش شبیه‌سازی شده با مدل MLP، پس از اعمال خطای بازبندی شده

به دلیل دشواری سعی و خطا برای کالیبره کردن مدل با ویژگی‌های بسیار زیاد حوضه، که به صورت پارامتر به مدل داده می‌شوند، مدل SWAT از نوع ساده Single HRU برای دوره ۴۱ ماهه ۲۰۰۵-۲۰۰۲ (آذر ۱۳۸۴-مرداد ۱۳۸۱) شبیه‌سازی شده تا با توجه به داده‌های مشاهده‌ای، با اطمینان بیشتری بتوان درمورد صحت نتایج قضاوت کرد (شکل‌های ۴ و ۵).

### ۳-۳- بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده

#### از قابلیت‌های GIS

با توجه به اقلیم منطقه، کاربری اراضی این حوضه در مجموع شامل ده گروه کاربری اراضی است که توزیع درصدی و مساحت هریک از کاربری اراضی‌های موجود

### جدول ۴. ویژگی‌های ایستگاه هیدرومتری رضی

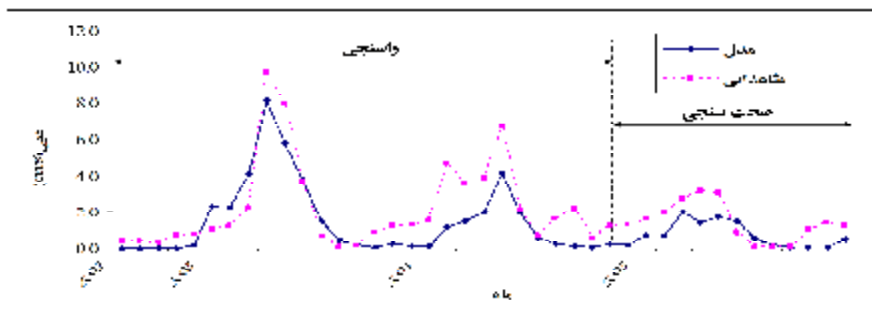
نام ایستگاه	سازمان مرتبط	دوره آماری	میانگین دبی (m <sup>3</sup> /s)
رضی	وزارت نیرو	۲۰۰۵-۱۹۸۴	۲/۹

داده‌های ورودی مدل SWAT به شرح زیر است:

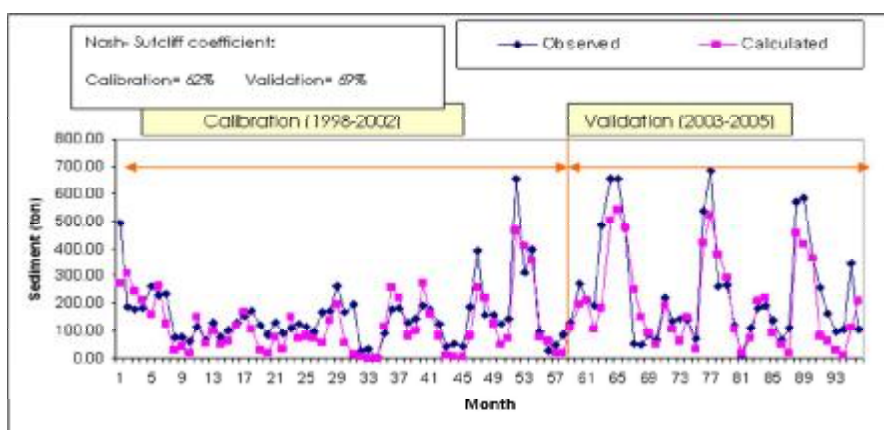
- لایه مدل رقوم ارتفاعی (DEM)
- نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۵
- نقشه خاک منطقه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰
- داده‌های دما و بارش برای سه ایستگاه در محدوده مطالعاتی و استفاده از ایستگاه‌های سینوپتیک برای شبیه‌سازی دیگر داده‌های هواشناسی
- ویژگی‌های حوضه آبریز.



یکپارچه‌سازی سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه ...



شکل ۴. نمودار مقادیر مشاهداتی و محاسباتی جریان در محل ایستگاه رضی



شکل ۵. نمودار مقادیر مشاهداتی و محاسباتی رسوب در محل ایستگاه رضی

هدف از تهیه نقشه کاربری اراضی برای حوضه رودخانه سد ستارخان بررسی تغییرات پوشش‌های سطح زمین در سه زمان ۱۹۷۶، ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱ و آثار آن در تولید رواناب (آورد ورودی به مخزن) است. با توجه به زمان احداث سد (۱۹۹۸)، سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۸۷ پیش از احداث سد و سال ۲۰۰۱ پس از احداث سد است. بدین ترتیب با مقایسه شرایط هیدرولوژیکی ناشی از کاربری اراضی‌های پیش و پس از احداث سد، تأثیرات مثبت و منفی این تغییرات کاربری را می‌توان مشخص کرد. ابتدا مطابق جدول ۶ کلاس‌های متناسب با هدف کار، با توجه به تنوع کاربری و کشت موجود در منطقه اهرچای، تعریف شد. این هشت مورد کلاس‌های اصلی کاربری منطقه محسوب می‌شود که از کلاس‌های کوچک در آن صرف‌نظر شده و به‌طور مشخص کاربری‌های زمین‌های فرسایشی و مناطق مسکونی جزئی از زمین‌های بایر در نظر گرفته شده‌اند.

در سطح محدوده مطالعاتی در جدول ۵ آمده و بیشترین کاربری اراضی مربوط به کشت دیم و مرتع درجه ۱ است.

جدول ۵. درصد کاربری‌های اراضی گوناگون در حال حاضر، در حوضه سدستارخان

درصد	نوع کاربری اراضی
۱/۴	زراعت آبی
۳۵/۸	زراعت دیم
۵/۹	باغ و زراعت
۱۶/۵	مرتع و زراعت دیم
۱۷/۶	مرتع درجه ۱
۹/۸	مرتع درجه ۳
۱۲/۱	اراضی بایر
۰/۵	مناطق مسکونی
۰/۴	دریاچه
۱۰۰	مجموع



مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی تصاویر به گروه‌ها یا طبقاتی است که، در هر طبقه، طیف‌ها با یک ارزش واحد قرار می‌گیرند. در تحقیق حاضر، برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده<sup>۱</sup> استفاده شده است.

هدف از طبقه‌بندی نظارت‌شده تناظریابی میان کلاس‌های طیفی و کلاس‌های اطلاعاتی است. در روش نظارت‌شده، ارزش‌های طیفی براساس نمونه‌هایی محاسبه می‌شود که مفسر روی هر پدیده انتخاب کرده است. در مرحله بعدی کار، برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، کلاس‌های تصاویر با مرجع واقعی ژئومتریک مقایسه می‌شود. در اینجا، ارزیابی دقت کلاس‌بندی داده‌ها از طریق ماتریس خطاها و ضریب کاپا صورت می‌گیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که طبقه‌بندی تصاویر دارای دقت مناسبی است. در شکل‌های ۶ تا ۸ نقشه‌های کاربری تهیه‌شده برای سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱ نشان داده شده است که می‌توان تغییرات کاربری‌های حوضه را روی این شکل‌ها مشاهده کرد.

جدول ۶. کلاس‌های تعریف‌شده برای تهیه نقشه کاربری اراضی

نام کلاس	CLASS NAME
کشت دیم	DF
باغ و کشت آبی، مخلوط	IF+Orchard
مرتع نوع درجه سه	Range3
مرتع نوع درجه یک	Range1
کشت آبی	IF
اراضی بایر	Bare Land
مرتع نوع سه و کشت دیم، مخلوط	DF+Range3
دریاچه	Lake

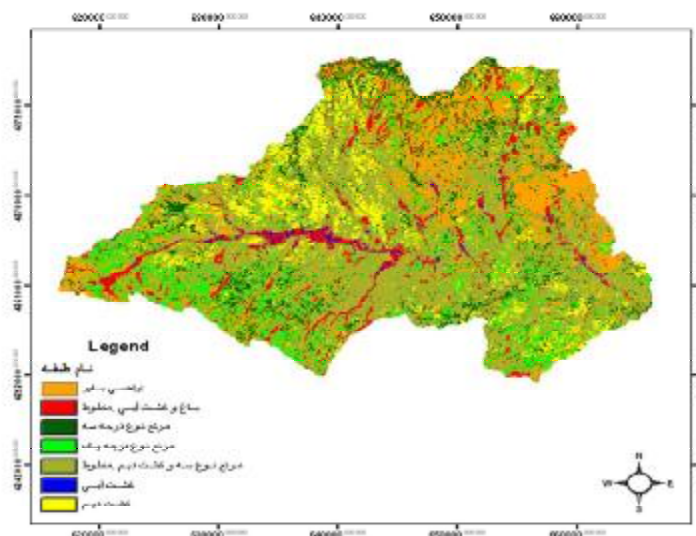
برای طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی می‌توان تصاویر ماهواره‌ای را به‌کار برد. بنابراین پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ از محدوده مطالعاتی، تهیه نقشه کاربری اراضی شروع شد. با توجه به اینکه تصویر برای سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱ تهیه شده است، ابتدا روی سه تصویر مورد نظر فرایند کلاس‌بندی داده‌ها صورت گرفت و افزون‌بر آن، تصحیح جوی نیز روی تصاویر انجام شد. به‌طور کلی، منظور از طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای با روش تفسیر رقومی تفکیک



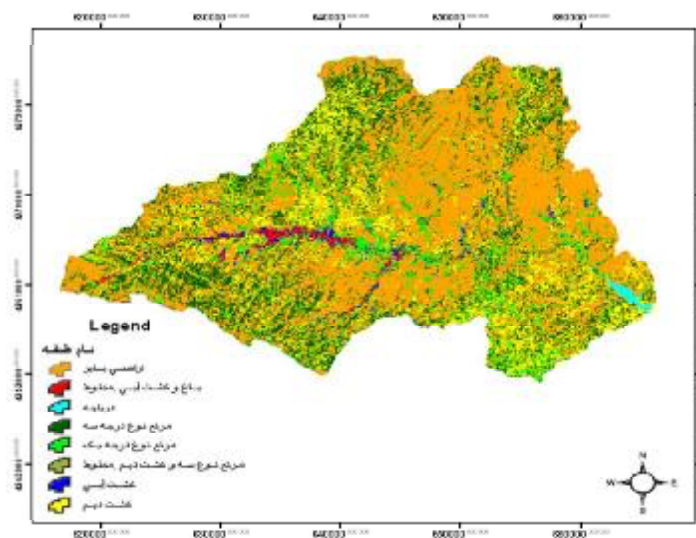
شکل ۶. نقشه کاربری اراضی حوضه سد ستارخان در سال ۱۹۷۶

## 1. supervised classification

یکپارچه‌سازی سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه ...



شکل ۷. نقشه کاربری اراضی حوضه سد ستارخان در سال ۱۹۸۷



شکل ۸. نقشه کاربری اراضی حوضه سد ستارخان در سال ۲۰۰۱

۲۰۰۱ استفاده شده است. سپس خروجی SWAT، برای سالی که نقشه کاربری به آن مربوط است، کالیبره و نتایج براساس تغییرات کاربری اراضی تفسیر شده است. بدین ترتیب می‌توان ارتباط تغییرات کاربری را با تغییرات رواناب و رسوب و دیگر متغیرهای حوضه ارزیابی کرد. با انجام دادن این موارد بر مبنای سناریوهای کاربری‌های گوناگون، می‌توان دریافت که تأثیر افزایش

### ۳-۳-۱- ترکیب خروجی GIS با خروجی مدل‌های SWAT و MLP

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، می‌توان از این نقشه‌ها برای بررسی تغییرات هیدرولوژیکی حوضه در مدل SWAT استفاده کرد. به عبارتی برای بررسی تأثیر کاربری اراضی گوناگون روی فرسایش در حوضه مورد نظر، از سه کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۷ و

با بررسی نتایج می‌توان گفت کاربری اراضی در تعیین میزان بار رسوب نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. به عبارتی همان‌گونه که در جدول بالا نیز مشخص است، با بررسی میزان بارش هریک از دوره‌های سه‌گانه زمانی، با توجه به تغییر کاربری در سال‌های گوناگون، میزان بار رسوب آشکارا تغییر کرده است. برای نمونه، در صورتی که بارندگی سال ۱۹۷۶ را در نظر بگیریم، این میزان بارش با کاربری همان سال دارای بار رسوب ۲۳۵۲۱۶ تن است و اگر همین میزان بارش با کاربری سال ۲۰۰۱ بررسی شود، میزان بار رسوب به ۳۲۶۱۸۷ تن تغییر خواهد کرد. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مستقیم کاربری اراضی در میزان بار رسوب است. مطابق با نتایج، کاربری سال ۲۰۰۱ با هر میزان بارش موجب تولید بیشترین بار رسوب در حوضه می‌شود. از سوی دیگر، کاربری اراضی در سال ۱۹۷۶ بهترین حالت را در میان این سناریوها، در زمینه میزان بار رسوب، داراست.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در زمینه بررسی حجم رسوب در مخازن، میزان بارش از اصلی‌ترین عوامل است. برای برآورد میزان بارش می‌توان از مدل MLP استفاده کرد. در تحقیق‌های مشابه، از خروجی این مدل در پردازش‌های مدل SWAT استفاده شده است و بر مبنای آن میزان حجم رسوب را برآورد کرده‌اند. نکته مهم که باید در نظر گرفت تأثیر میزان فرسایش بر اساس بارش ایجاد شده و، به تبع آن، افزایش و یا کاهش میزان حجم رسوب در مخزن است. به‌رغم تأثیر مستقیم این پارامتر، در مواردی به آن اهمیت داده نشده است. در واقع با توجه به اینکه مدل SWAT با استفاده از خروجی مدل MLP با ضریب دقت بالایی قادر است میزان حجم رسوب را برآورد کند، نمی‌توان تأثیر فرسایش را نادیده گرفت که تابعی از کاربری اراضی است. بنابراین در این تحقیق، با استفاده از قابلیت‌های تحلیلی و مکانی GIS، ابتدا نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در چند دوره زمانی

یا کاهش یک کاربری مشخص در جریان ورودی به مخزن سد چگونه است و راهکاری برای تغییر کاربری منطقه به‌ترتیبی عرضه کرد که کمترین رسوب ورودی به مخزن را داشته باشد و بتوان آن را سناریوی بهترین کاربری نامید. در ادامه، موارد یادشده و نوع سناریوها به تفصیل بیان شده است.

#### ۳-۱-۱-۳-۳ نتایج حاصل از سه سناریوی کاربری اراضی ( $S_1$ ، $S_2$ ، $S_3$ )

هدف این قسمت بررسی تأثیر پارامترهای سه‌گانه میزان بارش، نوع کاربری اراضی و بار رسوب است. نتایج حاصل از اجرای مدل برای سه سناریوی کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱ بیان شده که در بخش پیشین توضیح داده شدند. برای بررسی ارتباط سه پارامتر، پارامتر کاربری اراضی را ثابت نگاه می‌داریم و پارامترهای دیگر با یکدیگر جابه‌جا می‌شوند تا بتوان تحلیل کرد، در حالت ثابت بودن کاربری اراضی و تغییر بارش‌ها، چه تغییراتی در میزان بار رسوب در سال‌های گوناگون رخ خواهد داد. در این تحلیل، مشخص شده است که با تغییر میزان بارش در هر کاربری، میزان بار رسوب در یک حوضه مشخص چقدر افزایش یا کاهش داشته است. بنابراین، با توجه به سه پارامتر یادشده، سه سناریوی متفاوت داریم. نتایج حاصل از این سناریوها در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷. نتایج حاصل از اعمال سناریوهای گوناگون کاربری اراضی مربوط به سه سال متفاوت

بار رسوب (تن در سال)	کاربری اراضی (سال)	بارش (سال)
۲۳۵۲۱۶	۱۹۷۶	
۳۱۹۳۵۷	۱۹۸۷	۱۹۷۶
۳۲۶۱۸۷	۲۰۰۱	
۲۶۹۹۵۱	۱۹۷۶	
۳۴۵۰۸۱	۱۹۸۷	۱۹۸۷
۳۸۰۸۵۷	۲۰۰۱	
۲۷۸۶۶۶	۱۹۷۶	
۳۵۴۲۰۴	۱۹۸۷	۲۰۰۱
۳۸۹۲۴۱	۲۰۰۱	

حسینخانی، ح.، ۱۳۹۲، ارزیابی خطر فرسایش و پتانسیل رسوبدهی حوضه آبریز سد شهریار میانه با استفاده از تکنیک‌های GIS و مدل EPM، زمین‌شناسی ایران، سال هفتم، شماره ۲۶، صص ۸۷-۹۶.

حق‌نگهدار، ا.، ۱۳۸۲، تأثیر سیگنال‌های هواشناسی در اصلاح پیش‌بینی جریان‌ات رودخانه‌ای، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

دهقان، ز.، فتحیان، ف.، اسلامیان، س.، ۱۳۹۴، ارزیابی مقایسه‌ای مدل‌های LARS- JDW، SDSM، WG برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس کردن دما، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۵، صص ۱۳۹۰-۱۳۷۶.

رضوی‌زاده، س.، کاویان، ع.، وفاخواه، م.، ۱۳۹۳، تخمین دبی بار معلق رسوب با استفاده از بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی در حوضه آبخیز طالقان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال هجدهم، شماره ۶۸، صص ۷۹-۸۸.

ساداتی‌نژاد، ج.، شکاری، م.ر.، ولی، ع.، ۱۳۹۵، پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از شاخص‌های اقلیمی پیوند از دور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل آماری (مطالعه موردی: ایستگاه‌های هم‌جوار ششده و قره‌بلاغ)، اکوهیدرولوژی، دوره سوم، شماره ۳، صص ۴۰۳-۳۹۱.

علیزاده، ا.، ۱۳۸۹، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

فرخ‌زاده، ب.، ایلدرمی، ع.، عطایان، ب.، نوروزی، م.، ۱۳۹۴، ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی در میزان بار معلق با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه آبخیز یلفان - استان همدان)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال نوزدهم، شماره ۳، صص ۴۶-۲۸.

متفاوت (۱۹۷۶، ۱۹۸۷، ۲۰۰۱) تهیه شده است. پس از تهیه نقشه کاربری از طریق GIS، با ترکیب و مقایسه پارامتر کاربری با پارامتر میزان بارش (خروجی مدل MLP) میزان حجم رسوب (خروجی مدل SWAT) بهینه شده است. این مقایسه و بهینه‌سازی کمک شایانی در بارزسازی تأثیر کاربری اراضی در میزان حجم رسوب داشته است؛ به گونه‌ای که می‌توان، با استفاده از این مقایسه، بهترین کاربری را برای کاهش میزان حجم رسوب ایجادشده در بازه‌های زمانی گوناگون برگزید. در این تحقیق، این ترکیب و مقایسه بین سه دوره متفاوت بارش در سه نوع کاربری اراضی در زمان‌های مورد بررسی، موجب ایجاد نه سناریوی گوناگون برای پیش‌بینی شده است. نتایج نشان می‌دهد با توجه به مقایسه میزان بارش و میزان رسوب در کاربری‌های گوناگون، سناریوی حاصل از ترکیب بارش پیش‌بینی‌شده با مدل MLP و کاربری اراضی سال ۱۹۷۶ دارای بهترین نتیجه است؛ یعنی کمترین بار رسوبی ورودی به مخزن. به عبارتی، با بررسی کاربری اراضی منتسب به سال‌های متفاوت درمی‌یابیم که با افزایش زمین‌های بایر در سال ۲۰۰۱ به نسبت سال ۱۹۷۶، با توجه به تغییر کاربری، فرسایش در سطح حوضه افزایش یافته است. بنابراین، برای کاهش بار رسوبی ورودی به مخزن لازم است تغییراتی در کاربری اراضی و کشت‌هایی که در منطقه صورت می‌گیرد انجام شود.

#### ۵- منابع

آرخی، ص.، نیازی، ی.، ۱۳۸۹، بررسی کاربرد تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE (مطالعه موردی: حوضه بالادست سد ایلام)، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد هفتم، شماره ۲، صص ۲۷-۱.

اقدامی‌راد، س.، ۱۳۸۳، بررسی تأثیر سیگنال‌های هواشناسی بر بارش و رواناب حوضه آبریز کارون و دز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

- Silverman, D. & Dracup, J.A., 2000, **Artificial Neural Networks and Long-Range Precipitation Prediction in California**, Journal of applied meteorology, No. 39(1), PP. 57-66.
- Walling, D.E., 1994, **Measuring Sediment Yield from River Basins**, Soil Erosion Research Methods, Soil and Water Conservation Society, PP. 39-83.
- فلامکی، ا.، اسکندری، م.، بغلاتی، ع.، احمدی، س.ا.، ۱۳۹۲، **مدلسازی بار رسوب کل رودخانه‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی و مصنوعی**، حفاظت منابع آب و خاک، سال دوم، شماره ۳، صص ۲۴-۱۳.
- کارآموز، م.، عراقی‌نژاد، ش.، ۱۳۸۴، **هیدرولوژی پیشرفته**، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران.
- گلشن، م.، ۱۳۹۲، **پیش‌بینی دبی جریان و تولید رسوب با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبخیز هراز استان مازندران**، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- یزدان‌پناه، ع.، ۱۳۸۵، **پیش‌بینی بارش‌های موسمی متأثر از مانسون: مطالعه موردی منطقه جنوب‌شرق ایران**، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران.
- Hejazizadeh, Z., Fattahi, A., Salighe, M. & Arsalani, F., 2013, **The Effect of Climatic Signals on Precipitation in Central Part of Iran Using Artificial Neural Network**, Research Applied Geographical Sciences, No. 13, PP. 75-89.
- Moghaddamnia, A., Gousheh, M.G., Piri, J., Amin, S. & Han, D., 2009, **Evaporation Estimation Using Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro- Fuzzy Inference System Techniques**, Advances in Water Resources, No. 31, PP. 88-97.
- Olive, L.J. & Reiger, W.A., 1992, **Stream Suspended Sediment Transport Monitoring – Why How and What IS Being Measured?**, IAHS Public, No. 210, PP. 245-254.
- Sharma, S., Srivastava, P., Fang, X. & Kalin, L., 2016, **Hydrologic Simulation Approach for El Nio Southern Oscillation (ENSO)-Affected Watershed with Limited Rainauge Stations**, Hydrological Sciences Journal, No. 25, PP. 991-1000.