

ارزیابی و تعیین عوامل موثر بر فرسایش و رسوبدهی حوزه‌های آبخیز،

مطالعه موردی: حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

❖ **محمد ظهورث***: استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع

طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

❖ **داود نیک کامی^۲**: استاد، پژوهشگر حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

پدیده‌های فرسایش و رسوب دو پدیده اجتناب‌ناپذیر حوزه‌های آبخیز بوده که تابع عوامل پیچیده‌ای هستند. مشخص نمودن این عوامل و شناخت اثر آن‌ها بر فرسایش و رسوب، به برنامه‌ریزی‌های بهتر برای کاهش خسارات ناشی از فرسایش و رسوب در یک حوزه کمک شایانی خواهد نمود. در این تحقیق برای مشخص کردن عوامل موثر بر رسوبدهی، حوزه آبخیز دریاچه ارومیه به عنوان حوزه مورد مطالعه انتخاب شد. پس از مشخص کردن ۳۰ ویژگی موثر بر رسوبدهی زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی، شامل خصوصیات هیدرولوژیکی، فیزیوگرافیکی، ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی و خاک، اقلیمی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی به عنوان متغیرهای مستقل، مقادیر رسوب تولیدی در هر زیرحوضه نیز به عنوان متغیر وابسته مشخص گردید. با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل عاملی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل خوشه‌ای و ایجاد رگرسیون چندمتغیره به روش گام به گام بین متغیرهای مستقل انتخابی و متغیر وابسته با استفاده از نرم افزار SPSS، مناسب‌ترین رابطه آماری بین رسوبدهی زیرحوضه‌ها و مشخصات حوزه آبخیز مطالعاتی به دست آمد. با توجه به مدل رگرسیونی انتخابی مشخص می‌شود که مقدار رسوبدهی در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه به پنج عامل مساحت اراضی کشاورزی (دیم، آبی و باغات)، مساحت زیرحوضه‌ها، مجموع مساحت سازندهای حساس به فرسایش و کواترنر، دبی متوسط سالیانه و ضریب فرم حوضه بستگی دارد که ایمن پنج عامل ۸۹ درصد تغییرات تولید رسوب زیرحوضه‌های انتخابی را کنترل می‌کنند که در سطح اعتماد پنج درصد معنی‌دار است. به طور کلی، عوامل موثر بر فرسایش و رسوب حوزه آبخیز دریاچه ارومیه را می‌توان به سه گروه عوامل انسانی و تغییر کاربری اراضی، زمین‌شناسی و فیزیوگرافی تقسیم‌بندی نمود.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی، متغیرهای موثر، تحلیل خوشه‌ای، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، رگرسیون چندمتغیره

۱. مقدمه

مسئله فرسایش و رسوب حاصل از آن، از مهمترین مسائل آبخیزداری است. پدیده فرسایش در مقیاس حوزه آبخیز، متنوع و ناهمگون بوده، در نتیجه، ارزیابی آن نیز مشکل است [۱۷]. این مشکل با استفاده از مدل‌های برآوردکننده فرسایش تا اندازه‌ای قابل حل است [۱۰]. محدودیت ثبت آمار و پراکنش نامناسب ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، ضرورت استفاده از مدل‌های تجربی را ایجاد می‌کند [۴]. برآورد مقدار رسوب معلق در رودخانه‌ها (آورد رسوب رودخانه) یکی از عوامل موثر در تعیین طول عمر سدها، مدت بهره‌برداری از تاسیسات مربوطه، تونل‌ها و کانال‌های آب‌رسانی، شناخت و تنظیم تغییرات بستر و کناره رودخانه و تحلیل تخریب و فرسایش در بالادست به منظور اجرای بهترین شیوه‌های مدیریتی^۱ (BMPS) با هدف کاهش تخریب و تولید رسوبات می‌باشد [۱۴]. ماهیت پیچیده و ویژگی بار رسوب رودخانه‌ها باعث شده است که برآورد میزان رسوب وارده به مخازن و تولید رسوب در درازمدت برای تعیین عمر مفید سازه‌ها با مشکل روبرو شود. لازمه برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیم درباره مهار فرسایش و رسوب، آگاهی از میزان فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز و شناسایی مناطق بحرانی و اولویت‌بندی آن‌ها برای اجرای برنامه‌ها و اقدامات آبخیزداری برای کاهش فرسایش و مهار تولید و حمل رسوب است. با توجه به اهمیت حفظ منابع خاک و آب کشور و ارایه راهکارهای مناسب برای سیاست‌گذاری کلان در حوزه‌های آبخیز، به آمار، اطلاعات و نقشه‌هایی که بتواند سیمای عمومی حوزه‌های آبخیز را به‌طور دقیق و سراسری در کل کشور در اختیار مدیران قرار دهد، نیاز است [۱۷]. از سوی دیگر عدم وجود ایستگاه‌های آب‌سنجی و رسوب‌سنجی در بسیاری از زیرحوضه‌های کشور باعث شده تا استفاده از روش‌های تحلیل منطقه‌ای رسوب بیشتر مدنظر قرار گیرد [۳].

استفاده از برخی از ویژگی‌های سهل‌الوصول حوضه و برقراری ارتباط بین این خصوصیات و دبی رسوب، باعث شده تا روش‌های تحلیل منطقه‌ای در حوضه‌های فلقد آمار یک ابزار قدرتمند جهت برآورد دبی رسوب تلقی شود. [۱] در پژوهشی با بررسی ۲۰۹ ایستگاه رسوب‌سنجی کشور و با استفاده از رگرسیون چندمتغیره اظهار داشت که مساحت، دبی سالانه و دبی ویژه از عوامل موثر در رسوب‌دهی حوضه‌ها می‌باشند. [۱۲] با استفاده از روش‌های رگرسیون چندمتغیره اقدام به مدل‌سازی میزان رسوب رودخانه جراحی استان خوزستان کردند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که ۹۸ درصد تغییرات رسوب رودخانه جراحی توسط متغیرهای طول آبراهه اصلی و دبی متوسط سالانه قابل توجیه است. [۲۰] با استفاده از روش تجزیه عاملی و رگرسیون چند متغیره، عوامل موثر بر رسوب حوضه طالقان را مساحت اراضی کشاورزی، مساحت زیر حوضه‌ها، مساحت سازندهای حساس و پستی و بلندی حوضه معرفی کردند و اظهار داشتند که ۸۸ درصد تغییرات رسوب‌دهی این حوضه تحت تاثیر متغیرهای مذکور می‌باشد. [۱۸] نیز با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی در حوزه‌های آبخیز جنوب غرب ایران عواملی همچون مساحت حوضه، درصد تحذب و درصد اراضی با جهت شمال غربی را به‌ترتیب موثرترین عوامل بر تولید رسوب این حوضه‌ها معرفی نمودند. [۳] در تحقیقی به مدل‌سازی رسوب معلق و تعیین عوامل مؤثر بر آن در حوزه‌های آبخیز کارون بزرگ و کرخه پرداختند و بیان نمودند که ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه‌ها مانند محیط، مساحت، طول آبراهه اصلی و رلیف حوضه‌ها نسبت به سایر عوامل اقلیمی، پوشش گیاهی و زمین‌شناسی حوضه‌های مورد مطالعه، از درجه اهمیت بیشتری در تولید رسوب منطقه برخوردارند. همچنین در خارج از کشور نیز [۹] از مدل رگرسیونی چندمتغیره برای برآورد رسوب‌دهی روزانه حوزه آبخیز رودخانه راماجلنا در هندوستان استفاده کردند و از بین ۱۷ ویژگی مورد استفاده در رگرسیون گام به گام تنها چهار پارامتر شدت بارندگی در زمان رویداد و دو روز قبل از رویداد، دبی دو روز قبل و

¹ Business Process Management Suite

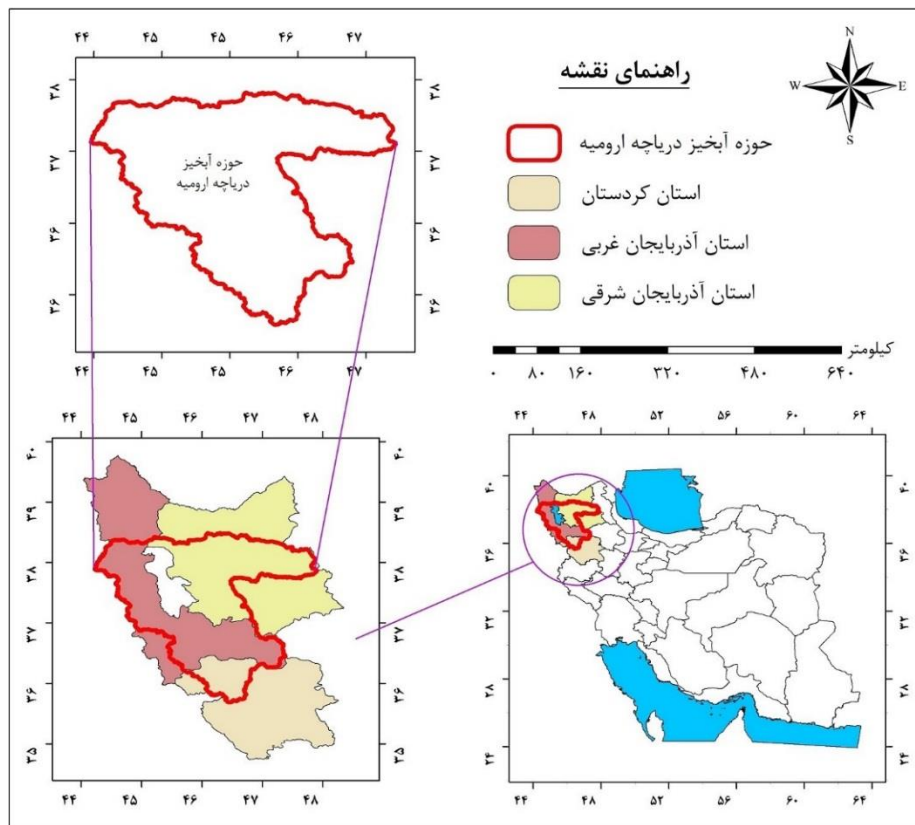
۲. روش‌شناسی

۲.۱. منطقه مورد پژوهش

حوزه آبخیز دریاچه ارومیه با وسعت تقریبی ۵۱۹۶۴ کیلومتر مربع به عنوان یکی از شش حوزه آبریز اصلی در تقسیم بندی هیدرولوژی ایران به‌شمار می‌رود و گستره وسیعی از استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان را در شمال غرب ایران در بر می‌گیرد. این حوزه در شمال، مشرق و جنوب به ترتیب به حوزه‌های آبخیز رودخانه ارس، قزل اوزن و از غرب به مرز کشورهای ترکیه و عراق محدود می‌شود. در حدود ۳۳۴۶۹ کیلومتر مربع از سطح این حوزه را مناطق کوهستانی (۶۴/۴ درصد)، ۱۲۵۶۴ کیلومتر مربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها (۲۴/۲ درصد)، ۵۳۲۰ کیلومتر مربع را سطح دریاچه ارومیه (۱۰/۲ درصد) و ۶۱۱ کیلومتر مربع آن را نیز مناطق شهری و روستایی (۱/۲ درصد) تشکیل می‌دهد. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.

فرسایش روز قبل با ضریب تبیین ۸۲/۳ درصد در سطح اعتماد ۹۵ درصد به عنوان ویژگی‌های مؤثر بر تولید رسوب شناخته شدند. [۱۹] نیز در حوزه بن‌ها در کشور هند، از روابط رگرسیونی جهت برآورد رسوبدهی استفاده کردند و اظهار داشتند که استفاده از متغیرهای ژئومورفولوژیک حوزه، دقت مدل‌ها را بالا خواهد برد. در پژوهشی دیگر [۱۰] به کمی‌سازی بار معلق سه رودخانه در منطقه شمالی آلاسکا پرداختند. پایش منطقه مورد مطالعه برای سه سال به طول انجامید و نمونه برداری بار معلق در اعماق مختلف رودخانه انجام شد و بین میزان بار معلق و پارامترهای حوزه مدل‌سازی به روش رگرسیونی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که در هر سه رودخانه پارامترهای بارندگی و شکل حوزه تاثیر زیادی در میزان بار معلق حوزه داشتند.

هدف از این تحقیق یافتن عوامل مؤثر بر مقدار رسوبدهی حوزه آبخیز ارومیه و پیدا کردن رابطه مناسب آماری بین مقدار تولید رسوب زیرحوضه‌ها و عوامل مؤثر بر رسوبدهی است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

است) و دقت آماری مناسب، پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌ها و تنوع مساحت حوضه‌ها، مبنا و معیار انتخاب بوده است. نقشه پراکنش ایستگاه‌های آب‌سنجی منتخب در شکل ۲ و مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱، ارائه شده است.

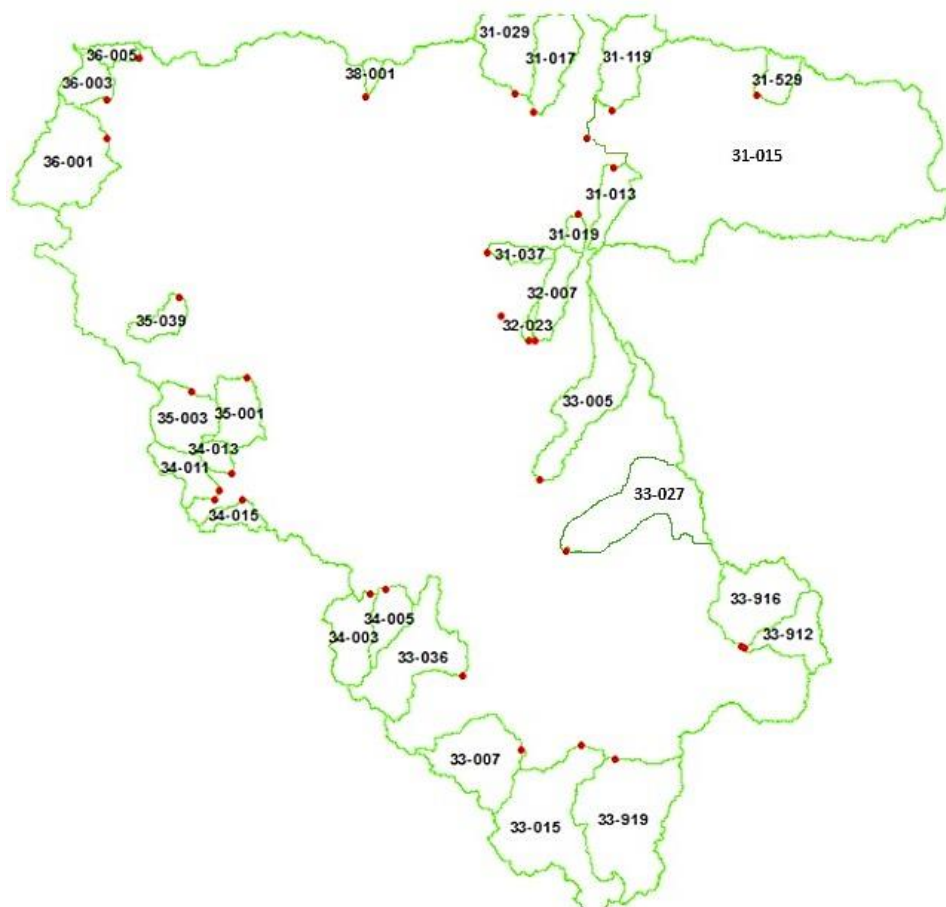
۲- در این تحقیق داده‌های بدست آمده از ۳۰ ایستگاه انتخابی، به‌طور تصادفی به دو بخش آموزشی و آزمایشی تقسیم شدند. از ۷۰٪ داده‌ها برای ایجاد مدل و برآورد پارامترهای آن در بخش آموزشی و از ۳۰٪ داده‌ها نیز برای بررسی ارزیابی کارایی مدل استفاده شد. جهت بررسی ارزیابی کارایی مدل‌های به‌کار رفته در پیش‌بینی مقادیر جدید (مشاهده نشده)، داده‌های رسوب‌سنجی حاصل از منحنی‌های سنج‌ها با داده‌های رسوب‌سنجی حاصل از مدل‌ها مقایسه شد.

در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه تعداد ۳۲ رودخانه بزرگ و کوچک وجود دارد که آبدهی رودخانه‌ها توسط ۱۱۶ ایستگاه آب‌سنجی اندازه‌گیری شده و شبکه زهکشی آن‌ها جریان‌های سطحی را به سمت دریاچه ارومیه به صورت یک حوضه بسته هدایت می‌کند. سیمینه رود و آجی چای از جمله رودخانه‌های مهم و بزرگ حوضه مذکور بوده که گستره وسیعی از این حوضه را در بر می‌گیرند.

۲.۲. روش پژوهش

مراحل انجام این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱- انتخاب ۳۰ ایستگاه آب‌سنجی و حوضه‌های مربوط به آن‌ها در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه (شکل ۲، جدول ۱)؛ طول دوره آماری (داشتن حداقل ۳۰ سال داده که در این پژوهش دوره آماری بین سال‌های آبی ۱۳۶۰-۱۳۶۱ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد استفاده قرار گرفته



شکل ۲. موقعیت زیرحوضه‌های منتخب و محل ایستگاه آب‌سنجی در خروجی آن‌ها (تصویر سمت چپ)

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌ها و حوضه‌های انتخابی و میزان تولید رسوب معلق آن‌ها

ردیف	نام ایستگاه	نام حوضه	کد ایستگاه	مساحت (km ²)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	رسوب معلق (t.yr ⁻¹)
۱	هرزورز	هرزورز چای	۳۱-۵۲۹	۸۴.۲	۳۸-۱۲-۰۰	۴۷-۰۸-۰۰	۵۶۶۴
۲	خواجه	پاژ چای	۳۱-۱۱۹	۵۱۱.۸	۳۸-۰۹-۰۰	۴۶-۳۴-۰۰	۵۰۱۲۸
۳	آناختون	گمناب چای	۳۱-۰۱۷	۵۰۲.۳	۳۸-۰۹-۰۰	۴۶-۱۶-۰۰	۷۲۲۱۰
۴	پل سنیخ	سنیخ چای	۳۱-۰۲۹	۵۰۶.۲	۳۸-۰۹-۳۷	۴۶-۱۰-۰۹	۷۳۱۵۲
۵	دریان	دریان چای	۳۸-۰۰۱	۷۱.۲	۳۸-۰۹-۰۳	۴۵-۳۲-۱۶	۴۷۳۵
۶	اوربان	دیرعلی چای	۳۶-۰۰۵	۷۳.۱	۳۸-۲۰-۰۰	۴۴-۴۴-۰۰	۵۰۸۲
۷	نظرآباد	دریک چای	۳۶-۰۰۳	۸۵.۴	۳۸-۱۱-۰۰	۴۴-۳۶-۰۰	۵۰۴۵
۸	چهریق علیا	زولا چای	۳۶-۰۰۱	۷۹۳.۴	۳۸-۰۵-۰۰	۴۴-۳۶-۰۰	۱۰۷۷۲۶
۹	سعیدآباد	سعیدآباد	۳۱-۰۱۳	۱۳۳.۴	۳۷-۵۹-۰۰	۴۶-۳۵-۰۰	۱۰۲۵۲
۱۰	ونبار	آجی چای	۳۱-۰۱۵	۷۶۱۱.۶	۳۸-۰۷-۰۰	۴۶-۲۴-۰۰	۲۲۶۵۰۱۵
۱۱	لیقوان	لیقوان چای	۳۱-۰۱۹	۶۷.۷	۳۷-۵۰-۰۰	۴۶-۲۶-۰۰	۴۵۰۸
۱۲	قرمزگل	گمبر چای	۳۱-۰۳۷	۹۰.۴	۳۷-۴۴-۰۰	۴۶-۰۶-۰۰	۶۰۱۴
۱۳	تازه‌کند	صوفی چای	۳۲-۰۰۷	۱۳۶.۷	۳۷-۲۸-۰۰	۴۶-۱۶-۰۰	۱۰۷۰۲۰
۱۴	اسفستانچ	اسفستانچ	۳۲-۰۲۳	۶۴.۷	۳۷-۲۷-۰۰	۴۶-۱۵-۰۰	۴۵۹۹
۱۵	شیرین‌کند	لیلان چای	۳۳-۰۰۵	۱۰۶۹.۴	۳۷-۰۱-۰۰	۴۶-۱۶-۰۰	۱۹۸۷۲۲
۱۶	چوبلوچه	آجرلو	۳۳-۰۲۷	۱۰۷۴.۲	۳۶-۵۳-۰۰	۴۶-۲۵-۰۰	۲۰۰۵۰۴
۱۷	شاخه راست آلاسقل	ساروق چای	۳۳-۹۱۶	۵۱۶.۷	۳۶-۲۹-۰۰	۴۷-۰۲-۰۰	۸۸۵۴۵
۱۸	شاخه چپ آلاسقل	ساروق چای	۳۳-۹۱۲	۳۰۲.۸	۳۶-۲۹-۰۰	۴۷-۰۳-۰۰	۴۰۸۹۹
۱۹	سننه	خرخره چای	۳۳-۹۱۹	۱۵۶۱.۳	۳۶-۱۰-۰۰	۴۶-۳۳-۰۰	۲۹۲۴۲۵
۲۰	پل آنیان	جیغاتو چای	۳۳-۰۱۵	۱۵۷۰.۸	۳۶-۱۲-۰۰	۴۶-۲۶-۰۰	۲۹۳۱۰۶
۲۱	قیقلو	سقر چای	۳۳-۰۰۷	۴۹۵.۶	۳۶-۱۱-۰۰	۴۶-۱۰-۰۰	۹۵۲۵۵
۲۲	گزل گنبد	سیمینه رود	۳۳-۰۳۶	۹۶۰.۴	۳۶-۲۶-۰۰	۴۵-۵۶-۰۰	۱۷۵۰۲۴
۲۳	کوثر	مه‌باد چای	۳۴-۰۰۳	۳۹۶.۱	۳۶-۴۲-۰۰	۴۵-۳۷-۰۰	۴۲۰۹۱
۲۴	بیطاس	مه‌باد چای	۳۴-۰۰۵	۸۸.۵	۳۶-۴۱-۰۰	۴۵-۴۲-۰۰	۵۱۰۶
۲۵	چپرآباد	کانیرش	۳۴-۰۱۵	۷۰.۱	۳۶-۰۸-۰۰	۴۵-۰۸-۰۰	۴۷۱۲
۲۶	پی قلعه	گادار چای	۳۴-۰۱۱	۱۲۳.۵	۳۷-۰۰-۰۰	۴۵-۰۲-۰۰	۹۶۶۸۵
۲۷	اشنویه	گل‌از چای	۳۴-۰۱۳	۶۸.۱	۳۷-۰۲-۰۰	۴۵-۰۵-۰۰	۴۵۳۲
۲۸	قاسملو	بالانچ	۳۵-۰۰۱	۲۵۸.۸	۳۷-۲۱-۰۰	۴۵-۰۹-۰۰	۱۸۳۲۵
۲۹	بی بکران	باراندوز چای	۳۵-۰۰۳	۲۶۰.۴	۳۷-۱۷-۰۰	۴۴-۵۴-۰۰	۲۰۲۳۶
۳۰	کلهور	روضه چای	۳۵-۰۳۹	۸۳.۷	۳۷-۳۶-۰۰	۴۴-۵۳-۰۰	۵۹۱۲

دبی-رسوب به صورت صعودی مرتب شده و پس از آن به دسته‌های مشخص تقسیم می‌شوند. در گام بعدی به صورت متناظر به ازای متوسط دبی هر دسته، متوسط

۳- برآورد متوسط رسوب معلق ۳۰ ساله ایستگاه‌های منتخب با توجه به روش حدوسط دسته‌ها؛ در این روش که اولین بار توسط [۸] ارائه شد، ابتدا مجموعه متناظر

استفاده شده است.

$$NSE = 1 - [\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 / \sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2] \quad (2)$$

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 / \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i} \quad (3)$$

که در آن‌ها، NSE شاخص ارزیابی و کارایی مدل (این ضریب هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، کارایی مدل بهتر خواهد بود)، O_i مقادیر مربوط به اندازه‌گیری رسوب، O_m میانگین مقادیر مربوط به اندازه‌گیری رسوب و P_i داده مربوط به برآورد رسوب و $RRMSE$ میانگین نسبی مربعات خطا است. دامنه تغییرات $RRMSE$ از صفر تا بی‌نهایت بوده و هرچه مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد، کارایی مدل بیشتر است.

شایان ذکر است برای استخراج عوامل فیزیوگرافی و ژئومورفومتری در حوضه‌های مورد مطالعه از نرم افزار Arc GIS و نسخه الحاقی Arc Hydro استفاده شد. برای استخراج عوامل زمین شناسی و وزندهی به سازندهای منطقه تحقیق از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور و روش تعیین حساسیت به فرسایش واحدها دکتر فیض نیا (۱۳۷۴) استفاده شد. همچنین جهت استخراج پارامترهای خاک نیز از اطلاعات جهانی خاک^۲ با تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر استفاده شد. پس از دانلود داده‌های جهانی بافت خاک از سایت (www.isric.org) میانگین درصد شن خاک، میانگین درصد سیلت و میانگین درصد رس خاک با استفاده از GIS برای حوضه‌های مورد مطالعه استخراج شد [۶].

برای استخراج (عوامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی) از نقشه‌های پوشش گیاهی تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور استفاده شد. در این پژوهش، تعدادی از طبقات پوشش گیاهی با یکدیگر ادغام و نقشه کاربری اراضی منطقه تحقیق تهیه گردیده و

غلظت رسوب آن دسته تعیین و یک سری جدید از زوج داده‌های دبی-رسوب تهیه می‌شود. پس از آن، سری مذکور به یک دستگاه مختصات لگاریتمی منتقل شده و یک رابطه رگرسیونی توانی^۱ با فرم رابطه (۱) به آن برازش داده می‌شود و مطابق با آن از روی دبی روزانه، مقادیر رسوب روزانه و در نهایت سری‌های سالانه رسوب برای هر ایستگاه برآورد می‌شود.

$$Q_s = aQ_w^b \quad (1)$$

که در این رابطه، Q_s دبی رسوب به ازای مقادیر دبی جریان، Q_w دبی جریان، a و b ضرایب معادله هستند. ۴- انتخاب و محاسبه ۳۰ ویژگی هیدرولوژیکی، فیزیوگرافی، ژئومورفولوژیکی، اقلیمی، زمین‌شناسی و خاک، کاربری و پوشش گیاهی زیرحوضه‌های انتخابی به عنوان متغیرهای مستقل (جدول ۲)

۵- محاسبه مقادیر لگاریتمی متغیرهای مستقل (ویژگی‌های هیدرولوژیکی، فیزیوگرافی، ژئومورفولوژیکی، اقلیمی، زمین‌شناسی و خاک، کاربری و پوشش گیاهی زیرحوضه‌های انتخابی) و متغیر وابسته (مقدار رسوبدهی زیرحوضه‌ها)

۶- تعیین عوامل تأثیر گذار بر میزان رسوب زیرحوضه‌ها از بین متغیرهای مستقل موجود، با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل عاملی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل خوشه‌ای و انجام تجزیه و تحلیل چند متغیره در محیط نرم افزار SPSS ورژن ۲۶

۷- استفاده از رگرسیون چندمتغیره به روش گام به گام و بدست آوردن رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته

۸- انجام واسنجی معادله رگرسیونی، برای ارزیابی کارایی مدل، از روش [۱۳] استفاده شد (رابطه ۲). از رابطه (۳) نیز برای تعیین میانگین نسبی مربعات خطا

¹ Power regression

² World Soil Information (ISRIC)

تهیه شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی استفاده شد.

سپس با استفاده از GIS درصد مساحت هر یک از طبقات در هر حوضه استخراج شد. برای استخراج (عوامل اقلیمی) از نقشه‌های هم‌باران و هم‌دمای حوضه‌های مورد مطالعه،

جدول ۲. عوامل موثر بر رسوبدهی در زیرحوضه‌های انتخابی در منطقه مورد پژوهش

گروه اصلی	طبقه	نوع پارامتر
عوامل فیزیوگرافی و ژئومرفومتری	پارامترهای خطی	مساحت حوضه، محیط حوضه، طول حوضه، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی، تراکم زهکشی
	ارتفاع	ارتفاع متوسط حوضه، شیب متوسط حوضه، ضریب شکل حوضه
عوامل زمین شناسی و خاک	پارامترهای ژئومرفومتری	پستی و بلندی حوضه
	عوامل زمین شناسی و خاک	درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش، درصد مساحت سازندهای نسبتاً حساس به فرسایش، درصد مساحت سازندهای با حساسیت متوسط به فرسایش، درصد مساحت سازندهای نسبتاً مقاوم و مقاوم به فرسایش، میانگین حساسیت به فرسایش سازندهای حوضه درصد شن خاک، درصد سیلت خاک، درصد رس خاک
عوامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی	پارامترهای ژئومرفومتری	درصد مساحت زراعت آبی و باغات، درصد مساحت زراعت دیم، درصد مساحت مراتع با تراکم کمتر از ۲۵٪، درصد مساحت مراتع با تراکم بیشتر از ۲۵٪، درصد مساحت جنگل‌های با تراکم کمتر از ۲۵٪، درصد مساحت جنگل‌های با تراکم بیشتر از ۲۵٪، درصد مساحت اراضی بدون پوشش و بیرون زدگی سنگی، درصد مساحت سطوح آبی، باتلاق، نیزار و بستر رودخانه، درصد مساحت مناطق مسکونی
	عوامل اقلیمی و هیدرولوژی	میانگین بارندگی سالیانه، میانگین دمای سالیانه، میانگین دبی سالیانه

۳. نتایج

جدول ۳ مقادیر ویژه یا ریشه پنهان ماتریسی و درصد واریانس (تغییر در داده‌های اصلی) که توسط هر عامل توضیح داده می‌شود، برای زیرحوضه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. باتوجه به این جدول، سه عامل دارای ریشه پنهان ماتریسی بیشتر از یک هستند که در کل ۹۳/۸۵ درصد تغییر در داده‌های اصلی را شرح می‌دهند. در نهایت با بررسی روی مقادیر ریشه پنهان ماتریسی،

درصد واریانس و متغیرهایی که در هر عامل اصلی بیشترین بار وزنی را دارند، برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، سه عامل انتخاب شد که همان‌گونه که گفته شد ۹۳/۸۵ درصد تغییر در داده‌های اصلی را توضیح می‌دهند.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، عامل اول ۶۶/۱۸ درصد از واریانس را بیان می‌کند و با چرخش انجام شده، برخی متغیرها بار وزنی بیشتری بر روی این

عامل داشته و در حقیقت عامل به‌گونه‌ای چرخیده که بیشترین تاثیر را پدید آورده است و این بدان معنی است که توزیع وزن‌های منفرد هر متغیر تاحد ممکن ساده است. در نتیجه هر یک از متغیرهای مورد بررسی در زیرحوضه‌های حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، حداقل و به طور نزدیک با یکی از سه عامل در ارتباط است. در جدول ۴، ماتریس وزنی عاملی و دَوَران یافته برای هریک متغیرها ارائه شده است. جدول ۴ نشان می‌دهد که عامل اول به طور مثبت با متغیرهایی مانند درصد اراضی کشاورزی (دیم و آبی)، درصد سازندهای حساس به فرسایش، ارتفاع متوسط، شیب، دبی متوسط سالانه و وضعیت مراتع ارتباط دارد. بنابراین این عامل بیان‌کننده کاربری اراضی است. در عامل دوم که ۲۱/۴۴ درصد واریانس را بیان می‌کند، متغیرهایی مانند درصد مساحت سازندهای نسبتاً

حساس به فرسایش، مساحت زیرحوضه‌ها، ضریب فرم حوضه‌ها، محیط زیرحوضه‌ها، ارتفاع متوسط زیرحوضه‌ها و طول رودخانه اصلی، بار وزنی بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. در عامل دوم متغیر ضریب فرم زیرحوضه‌ها وزن بیشتری (۰/۹۸۵) را نسبت به سایر متغیرها به خود اختصاص داده است و این طور به نظر می‌رسد که این عامل بیان‌کننده شکل و اندازه حوضه است. در عامل سوم که ۶/۲۳ درصد تغییر داده‌های اصلی را شرح می‌دهد، متغیرهای زمین‌شناسی (درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش) بار وزنی بیشتری (۰/۸۵۵) را به خود اختصاص داده است، از این رو این عامل بیان‌کننده وضعیت زمین‌شناسی در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۳. مقایسه ریشه پنهان ماتریسی و درصد واریانس عوامل برای زیرحوضه‌های انتخابی

عوامل	ریشه پنهان ماتریسی	درصد واریانس	مقادیر تجمعی درصد واریانس
۱	۱۶/۱۵۴	۶۶/۱۸	۶۶/۱۸
۲	۵/۳۰۲	۲۱/۴۴	۸۷/۶۲
۳	۲/۲۵۴	۶/۲۳	۹۳/۸۵
۴	۰/۶۱۵	۳/۲۹	۹۷/۱۴
۵	۰/۵۰۲	۱/۰۰۲	۹۸/۴۰۲
۶	۰/۴۹۵	۰/۲۵۵	۹۸/۶۵۷
۷	۰/۳۰۳	۰/۱۲۱	۹۸/۷۷۸
۸	۰/۲۹۵	۰/۱۱۳	۹۸/۸۹۱
۹	۰/۲۴۵	۰/۱۰۸	۹۸/۹۹۹
۱۰	۰/۲۱۲	۰/۱۰۴	۹۹/۱۰۳
۱۱	۰/۰۹۹	۰/۱۰۱	۹۹/۲۰۴
۱۲	۰/۰۵۴	۰/۰۹۸	۹۹/۳۰۲
۱۳	۰/۰۳۲	۰/۰۹۷	۹۹/۳۹۹
۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۹۶	۹۹/۴۹۵
۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۹۴	۹۹/۵۸۹
۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۷۱	۹۹/۶۶۰
۱۷	۰/۰۱۰	۰/۰۵۲	۹۹/۷۱۲
۱۸	۰/۰۰۹	۰/۰۲۷	۹۹/۷۳۹
۱۹	۰/۰۰۸	۰/۰۱۸	۹۹/۷۵۷
۲۰	۰/۰۰۶	۰/۰۱۲	۹۹/۷۶۹
۲۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۹۹/۷۷۸
۲۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۹۹/۷۸۹
۲۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۹۹/۷۹۵

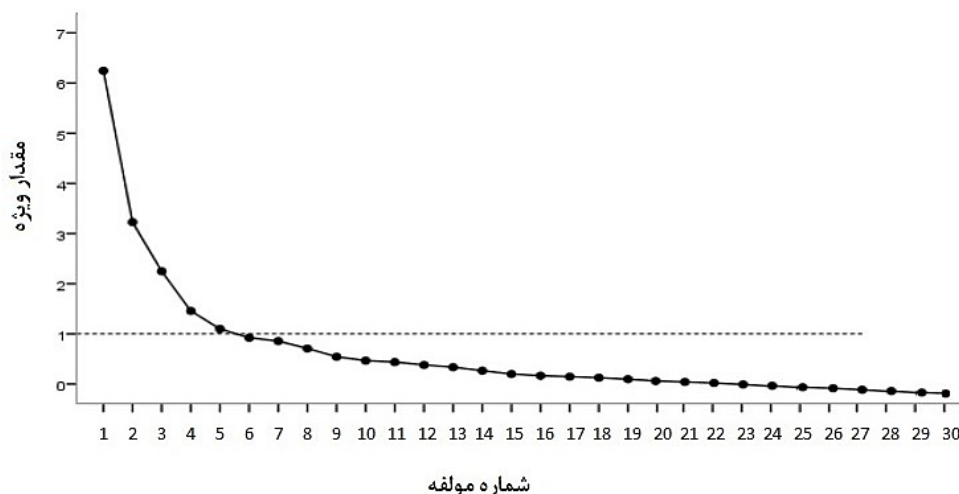
۹۹/۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۲۴
۹۹/۸۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۲۵
۹۹/۸۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۶
۹۹/۸۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۷
۹۹/۸۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۸
۹۹/۸۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۹
۹۹/۸۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۳۰

جدول ۴. ماتریس وزنی عاملی دوران یافته برای هریک از متغیرها در زیرحوضه‌های مورد بررسی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

عامل سوم	عامل دوم	عامل اول	عوامل	متغیرها
۰/۳۳۵	۰/۳۸۹	۰/۹۶۱	درصد مساحت اراضی کشاورزی (باغات+ کشاورزی آبی)	
۰/۳۶۱	۰/۳۵۲	۰/۹۵۲	درصد مساحت اراضی کشاورزی دیم	
۰/۲۹۸	۰/۲۱۲	۰/۹۱۸	درصد مساحت اراضی با کاربری مرتع	
۰/۲۱۲	۰/۲۰۵	۰/۹۴۱	درصد مساحت اراضی تخریب شده و دارای کاربری مرتع ضعیف	
۰/۱۸۵۵	۰/۳۰۷	۰/۹۱۲	درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش و کوتاه‌تر	
۰/۱۸۰۴	۰/۱۹۸	۰/۶۲۵	درصد مساحت سازندهای نسبتاً حساس به فرسایش	
۰/۶۶۵	۰/۱۰۷	۰/۴۲۱	درصد مساحت سازندهای با حساسیت متوسط به فرسایش	
۰/۰۵۴	-۰/۲۲۲	-۰/۰۸۵	درصد مساحت سازندهای نسبتاً مقاوم و مقاوم به فرسایش	
۰/۱۱۹	۰/۹۸۵	۰/۱۳۵	ضریب شکل حوضه	
۰/۱۵۱	۰/۴۶۵	۰/۱۲۱	مساحت حوضه	
۰/۲۲۵	۰/۵۱۲	۰/۱۰۵	محیط حوضه	
۰/۱۰۶	۰/۹۵۳	۰/۱۴۷	طول حوضه	
-۰/۰۹۹	۰/۴۳۶	۰/۷۷۸	ارتفاع متوسط حوضه	
۰/۲۰۶	۰/۶۱۴	۰/۱۰۳	مجموع طول آبراهه‌ها	
۰/۱۱۶	۰/۹۱۹	۰/۱۱۳	طول رودخانه اصلی	
۰/۲۰۲	۰/۱۹۴	۰/۷۵۴	شیب متوسط حوضه	
۰/۱۰۱	۰/۱۰۸	۰/۶۱۲	شیب متوسط رودخانه اصلی	
۰/۳۲۷	-۰/۱۰۳	۰/۴۸۲	متوسط بارش سالیانه	
۰/۰۹۳	-۰/۲۴۹	۰/۳۳۶	متوسط دمای سالیانه	
۰/۲۱۷	۰/۲۱۵	۰/۷۸۶	متوسط دبی سالیانه	
۰/۱۰۷	۰/۵۰۵	۰/۱۱۷	ضریب فشردگی حوضه	
۰/۱۰۲	۰/۵۱۸	۰/۱۱۵	ضریب گردی حوضه	
۰/۱۴۹	۰/۳۰۳	-۰/۲۴۱	تراکم آبراهه‌ای	
-۰/۱۰۵	۰/۱۰۴	-۰/۲۰۵	پستی و بلندی حوضه	
۰/۱۰۶	۰/۱۱۴	۰/۱۰۳	NDVI مرطوب‌ترین سال	
۰/۱۱۱	۰/۱۵۷	۰/۰۸۵	NDVI سال نرمال	
۰/۱۳۱	۰/۲۱۶	۰/۱۵۶	NDVI خشک‌ترین سال	
۰/۱۰۶	۰/۱۱۸	۰/۱۷۳	درصد ذرات رس خاک	
۰/۱۱۶	۰/۲۱۳	۰/۲۱۴	درصد ذرات سیلت خاک	
۰/۱۸۵	۰/۲۲۲	۰/۲۵۳	درصد ذرات شن خاک	

پنج مولفه یا عامل اول ۹۰ درصد تغییرات را در بر گرفته (شکل ۲) و مقدار واریانس تبیین شده کل براساس پنج عامل مذکور، ۸۵ درصد است. از بین بردارهای ویژه پنج مولفه اول، ویژگی‌هایی (مقادیر چرخش یافته) که دارای قدر مطلق ضرایب بیشتر از ۰/۵ بودند به عنوان ویژگی‌های اثرگذار زیرحوضه‌ها در فرآیند رسوب‌دهی انتخاب و جهت مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۵).

همچنین در مطالعه حاضر پس از تکمیل و آماده نمودن داده‌های رسوب و ماتریس ویژگی‌های هر یک از زیرحوضه‌ها و به منظور کاهش ابعاد ویژگی‌ها و انجام مدل‌سازی بهینه، آنالیز مولفه اصلی^۱ یا PCA نیز بر روی ویژگی‌های زیرحوضه‌های مطالعاتی انجام شد. نمودار سنگریزه‌ای^۲ مولفه‌های اصلی نشان داد که بعد از عامل پنجم شیب نمودار افقی بوده و افزودن عامل ششم تاثیر چندانی در افزایش واریانس نداشته است و



شکل ۲. نمودار سنگریزه‌ای برای شناسایی تعداد عوامل اثرگذار بر اساس تحلیل عاملی

جدول ۵. ویژگی‌های انتخاب شده و اثرگذار زیرحوضه‌ها در تولید رسوب در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

نام ویژگی	واحد	کد متغیر	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅
رسوب سالانه	Ton/Year	Y	۰/۸۵				
درصد مساحت اراضی کشاورزی (دیم، آبی + باغات)	ha	X ₁		۰/۸۲			
مجموع درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش	ha	X ₂		۰/۷۸			
دبی متوسط سالیانه	m ³ /s	X ₃		-۰/۶۲			
مساحت حوضه	ha	X ₄					-۰/۷۴
ضریب شکل حوضه	-	X ₅			۰/۵۸	۰/۶۳	

مورد مطالعه، از رگرسیون چندمتغیره گام به گام استفاده شد. این روش، اثر چندین متغیر مستقل را بر یک متغیر

در این پژوهش به منظور کاهش تعداد متغیرهای مستقل و تعیین عوامل موثر در رسوب زیرحوضه‌های

¹ Principal Component Analysis

² Screen Plot

زیرحوضه‌های مورد مطالعه در دو گروه همگن قرار گرفتند. در هریک از گروه‌ها، به صورت جداگانه اقدام به برقراری روابط رگرسیونی چندمتغیره گام به گام شد که در سطح اعتماد پنج درصد معنی‌دار می‌باشند. جدول ۶، مدل‌های رگرسیونی ساخته شده جهت برآورد رسوب ویژه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.

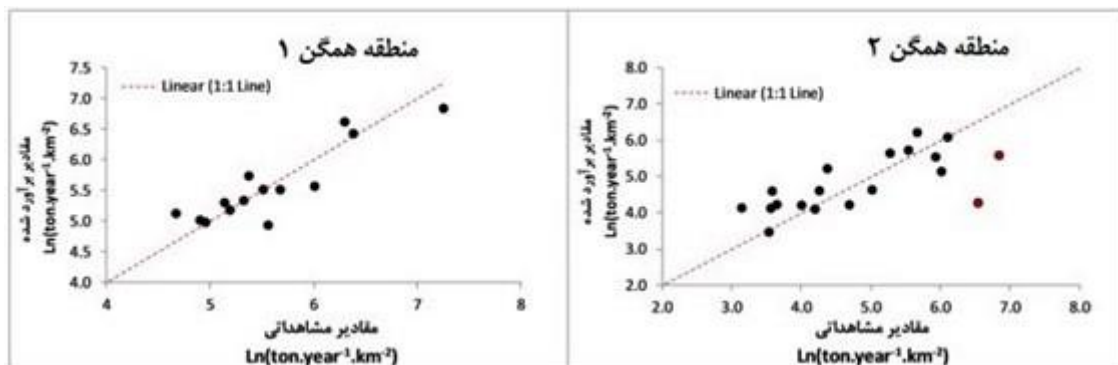
وابسته بررسی می‌کند. در رگرسیون چند متغیره گام به گام، متغیر مستقلی که تاثیر محسوسی بر متغیر وابسته ندارد، از تحلیل حذف و از معادله خارج می‌شود. با توجه به ویژگی‌های موثر تعیین شده (جدول ۵) اقدام به گروه‌بندی زیرحوضه‌ها به روش تحلیل خوشه‌ای شد. براساس نتایج حاصل از خوشه‌بندی سلسله مراتبی،

جدول ۶. مدل‌های رگرسیونی ساخته شده جهت برآورد رسوب ویژه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

مدل	معادله رگرسیونی	NS	R ²	RRMSE
معادله‌های رگرسیونی برای زیرحوضه‌های گروه همگن ۱				
۱	$\text{Log SSy} = 0/409\text{logx}_1 + 0/909\text{logx}_3 + 0/365\text{logx}_6 - 0/554\text{logx}_5 - 3/009$	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۴۱
۲	$\text{Log SSy} = 0/058\text{logx}_2 + 0/402\text{logx}_3 + 1/156\text{logx}_4 - 0/057\text{logx}_5 + 1/066$	۰/۸۱	۰/۷۵	۰/۲۸
۳	$\text{Log SSy} = -1/054\text{logx}_1 + 0/882\text{logx}_2 + 0/092\text{logx}_3 + 0/64\text{logx}_6 - 0/753$	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۱۹
معادله‌های رگرسیونی برای زیرحوضه‌های گروه همگن ۲				
۴	$\text{Log SSy} = 0/354\text{logx}_1 + 0/602\text{logx}_2 + 0/108\text{logx}_3 - 0/97\text{logx}_5 + 2/53$	۰/۷۹	۰/۷۲	۰/۳۷
۵	$\text{Log SSy} = 0/455\text{logx}_1 + 0/705\text{logx}_6 + 0/2\text{logx}_3 - 0/802\text{logx}_5 + 2/033$	۰/۸۵	۰/۷۹	۰/۲۸
۶	$\text{Log SSy} = 0/418\text{logx}_1 + 0/731\text{logx}_6 + 0/259\text{logx}_3 - 0/876\text{logx}_5 + 2/858$	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۱۷

در روابط ارائه شده در جدول ۵، SSy: رسوبدهی ویژه زیر حوضه‌ها بر حسب تن در هکتار در سال، X₁: درصد مساحت اراضی کشاورزی (دیم، آبی + باغات)، X₂: مجموع درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش و کوآترنر، X₃: دبی متوسط سالیانه، X₄: مساحت حوضه، X₅: ضریب شکل حوضه، X₆: مساحت حوضه بر حسب هکتار × دبی متوسط سالیانه (مترمکعب بر ثانیه).

از بین روابط مختلفی که با استفاده از ترکیبات مستقل متغیرها حاصل شد و در جدول ۶ ارائه گردید، مدل شماره ۶ به دلیل داشتن وضعیت بهتر نسبت به بقیه روابط (ضریب نش-ساتکلیف (NS) و ضریب تعیین (R²) بالا و میانگین نسبی مربعات خطا (RRMSE) کمتر) به عنوان بهترین رابطه رگرسیونی انتخاب شد. شکل ۳ نیز مقادیر برآورد شده را نسبت به مقادیر واقعی، با استفاده از بهترین مدل رگرسیونی برای هر منطقه همگن نشان می‌دهد.



شکل ۳- مقادیر واقعی در مقابل مقادیر برآورد شده در هریک از مناطق همگن

۴. بحث و نتیجه گیری

با توجه به مدل رگرسیونی انتخابی (مدل ۶)، مشخص می‌شود که مقدار رسوب‌دهی در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه به پنج عامل مساحت اراضی کشاورزی (دیم، آبی و باغات)، مساحت زیرحوضه‌ها، مجموع مساحت سازندهای حساس به فرسایش و کواترنر، دبی متوسط سالیانه و ضریب فرم حوضه بستگی دارد که این پنج عامل ۸۹ درصد تغییرات تولید رسوب زیرحوضه‌های انتخابی را کنترل می‌کنند که در سطح اعتماد پنج درصد معنی‌دار است.

نتایج حاصل از انتخاب مدل ۶، نشان می‌دهد که بین مقدار رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها و مساحت اراضی کشاورزی، همبستگی مثبتی وجود دارد، به طوری که با افزایش و یا کاهش مساحت اراضی کشاورزی، مقدار رسوب نیز افزایش یا کاهش می‌یابد. همچنین الگوی به‌دست آمده نشان می‌دهد که مقدار رسوب‌دهی با مساحت زیرحوضه‌ها نیز همبستگی مثبت دارد.

به منظور بررسی رابطه بین بار رسوبی و مساحت حوضه در منطقه تحقیق، نمودار پراکندگی بین مساحت حوضه و رسوب‌دهی ویژه حوضه‌های مورد مطالعه ترسیم شد و مشاهده گردید که عمدتاً با افزایش مساحت، میزان رسوب تولید شده و رسوب‌دهی حوضه‌ها افزایش می‌یابد و در منطقه مطالعاتی روند افزایشی میان مساحت و رسوب ویژه حوضه‌ها وجود دارد، اما ذکر این نکته ضروری است که چنانچه مساحت زیرحوضه‌ها از یک حدی زیادتر شود، عامل مساحت تاثیر چندانی بر رسوب‌دهی زیرحوضه نخواهد داشت، زیرا در حوضه‌های بزرگ، رسوب تولید شده، افزایش یافته اما این مقدار رسوب تولید شده ممکن است به نقطه خروجی حوضه نرسد و عملاً داده واقعی از حجم رسوب تولید شده در ایستگاه رسوب‌سنجی ثبت نشود و این یافته با نتایج پژوهش‌های [۷] و [۳] مطابقت دارد.

پژوهش حاضر تاثیرپذیری مثبت رسوب‌دهی

زیرحوضه‌ها از درصد سازندهای حساس و سازندهای کواترنر را نیز نشان می‌دهد و واحدهای کواترنری و سنگ‌های حساس به‌علت فرسایش‌پذیر بودن تاثیر مثبت در تولید رسوب دارند که این نتیجه هم‌راستا با یافته‌های [۵] و [۲۰] است.

استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی جهت کاهش ابعاد ماتریس ویژگی‌ها و گروه‌بندی زیرحوضه‌ها به گروه‌های همگن براساس این ویژگی‌ها، تاثیر مثبتی در تحلیل بهتر رگرسیونی بین ویژگی‌های زیرحوضه‌ها و رسوب تولیدی آن‌ها داشت که این یافته با نتایج تحقیقات [۱۲]، [۷]، [۳] و [۲۱] مطابقت دارد.

جهت ارتقای نتایج این طرح و دقت بیشتر در نتایج، همان‌گونه که در پژوهش‌های [۱۶] و [۱۷] نیز بر آن تاکید شده است، ضروری است که شبکه ایستگاه‌های رسوب‌سنجی کشور سامان داده شود. وجود داده‌های بار کف مناسب بر دقت نتایج می‌افزاید. ضریب تحویل رسوب^۱ نیز عامل بسیار مهمی در محاسبه میزان فرسایش است، از این رو لازم است تا طرح‌هایی در خصوص محاسبه این ضریب تعریف و در حوضه‌های مختلف به‌مورد اجرا گذاشته شود.

معمولاً در برآوردهای بار رسوبی، از معادلات رگرسیونی منحنی‌های سنجه رسوب استفاده می‌شود که مهم‌ترین دلیل آن سهولت کاربرد این معادلات است. با توجه به نتایج قابل قبول پژوهش حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده توأم از روش‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون چند متغیره گام به گام کارآیی مناسب و قابل قبولی در برآورد رسوبات حوزه‌های آبخیز دارد. کاربرد و واسنجی مدل‌های رگرسیونی در رابطه با رژیم‌های متفاوت اقلیمی و هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز کشور جهت رسیدن به الگوی کارآمد استفاده از این معادلات در برآورد بار رسوبی مناطق گوناگون، می‌تواند ثمر بخش واقع شود.

^۱ Sediment Delivery Ratio (SDR)

References

- [1] Arabkhedri, M. (2005). A Study on the Suspended Sediment Yield in River Basins of Iran. *Iran-Water Resources Research*. 1(2): 51-60 (in Persian).
- [2] Arabkhedri, M., Hakimkhani, S., Vali Khojini, A. (1999). The need to revise the conventional method of estimating the suspended load of rivers. Fifth River Engineering Seminar, Shahid Chamran University of Ahvaz.
- [3] Chitsaz, V., Nazari Samani, A.A., Soltani, S. and Feyznia, S. (2020). Modeling of suspended sediment and determining the factors affecting it in Karun Bozorg and Karkheh watersheds. *Rangeland and Watershed Management*, 73 (2): 293-303 (in Persian).
- [4] Dehzad, B., Shakiba, A., Hosseini, A. and Meshgin, Kh. (2009). Erosion zoning using EPM model in Golestan Province. *Quarterly Journal of the Studies of Human Settlements Planning (JSHSP)*, 3(7): 61-72 (in Persian).
- [5] Hakimkhani, S. and Arabkhedri, M. (2006). Regression analysis between suspended sediment and hydrogeomorphological characteristics of Urmia Lake Basin. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 37(4): 223-231 (in Persian).
- [6] Hengl, T., de Jesus, J. M., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B., Ribeiro, E., ... & Gonzalez, M. R. (2014). SoilGrids1km—global soil information based on automated mapping. *PLoS one*, 9(8), e105992.
- [7] Honarbakhsh, A., Niazi, A., Soltani, S. and Tahmasebi, P. (2019). Modeling the relationship between suspended sediments and hydrological and environmental characteristics of a basin (case study: basin of Dez Dam). *Journal of Quantitative Geomorphological Research*. 8(1): 105-117.
- [8] Jansson, M.B. (1996). Estimating a sediment rating curve of the Reventazon River at Palomo using logged mean loads within discharge classes." *Journal of Hydrology*, ol.183, No.4, PP. 227-241.
- [9] Kumar A. and Das, G. (2010). Dynamic model of daily rainfall, runoff and sediment yield for a Himalayan watershed, *Journal of Agricultural Research*, 75(2): 189-193.
- [10] Lamb, E. and Toniolo, H. (2016). Initial Quantification of Suspended Sediment Loads for Three Alaska North Slope Rivers, *Water* 419 (8): 2-11.
- [11] Lufafa, A., Tenywa, M., Isabirye, M., Majaliwa, M. and Woomer, P.L. (2003). Prediction of soil erosion in a Lake Victoria Basin using a GIS based Universal Soil Loss Model. *Agricultural Systems*, 76: 883-894.
- [12] Moazemi, M. and Feyznia, S. (2007). Regional Analysis of Suspended Sediment yield (Case Study: Jarahi River). 4th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran. Tehran, Iran. pp. 13-26 (in Persian).
- [13] Nash, J.E. and Sutcliffe, J.E. (1970). River flow forecasting through conceptual models, part 1, a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
- [14] Nazari Samani, A. A. and Salavati, A. (2021). Ability of Loadest Regression Methods to Estimate Annual Suspended Sediment. *Journal of Range and Watershed Management*, 74 (3): 597-609.
- [15] Nearing, M.A., Govers, G. and Nirton, L.D. (1999). Variability in soil erosion data from replicated plots. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 1829-1835.
- [16] Nikkami, D. (2009). Soil conservation strategic plan. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 277 pages.
- [17] Nikkami, D. and Shadfar, S. (2021). Soil erosion mapping in sediment gauged watersheds of Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 13(2): 479-496 (in Persian).
- [18] Saghafian, B., Ghermezcheshmeh, B., Samiei, M. and Asheghi, R. (2009). Effective factors on suspended sediment load in southwestern basins of Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 1(3): 140-152 (in Persian).
- [19] Sarangi, A. and Bhattacharya, A.K. (2005). Comparison of artificial neural network and regression models for sediment loss prediction from Banha watershed in India, *Agricultural Water Management*, 78(3): 195–208.

-
- [20] Shaabani, M., Feyznia, S., Ahmadi, H. and Ghodousi, J. (2007). Investigation and Determination of Effective Factors on Sediment Production and Yield of Drainage Basins (Case Study: Taleghan basin). *Iranian Journal of Natural Resources*, 60(3): 759-771 (in Persian).
- [21] Zanganeh, M.A. and Naemi Tabar, M. (2021). Relationship between hydrogeomorphic features and suspended sediment load under Kashfarud basins. *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards*, jsaeh 8(1): 111-128 (in Persian).