Archive of SID

مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

ص ۳۰۳-۲۹۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹
تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۱٤

مدل‌سازی رسوب معلق و تعیین عوامل مؤثر بر آن در حوزه‌های آبخیز کارون بزرگ و کرخه

❖ **وحید چیت ساز*؛** دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **علی اکبر نظری سامانی؛** دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **سادات فیض نیا؛** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **سعید سلطانی؛** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

چکیده

پدیده‌های فرسایش و رسوب دو پدیدهٔ اجتناب‌ناپذیر حوزه‌های آبخیز هستند. به علت نامنظم بودن نمونه‌برداری در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، داده‌های مناسبی از رسوب معلق در دسترس نیست. بنابراین مدیران و محققان ناگزیرند با استفاده از روش‌های درون‌یابی، رسوب تولیدی را در دیگر حوضه‌های فاقد آمار برآورد کنند. در این پژوهش به منظور مدل‌سازی تعیین بار معلق رسوب ۶۹ حو ضهٔ موجود در حوزه‌های آبخیز کارون بزرگ و کرخه ابتدا اطلاعات ۳۰ نوع ویژگی فیزیوگرافیکی، ژئومرفولوژیکی، پو شش گیاهی و اقلیمی برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد. با استفاده از تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی، ماتریس خصوصیات به ۸ ویژگی عامل مبنا شامل: ر سوب سالانه، م ساحت، محیط، طول آبراههٔ ا صلی، رلیف حو ضه، متو سط ارتفاع در ۸۵٪ بالایی آبراههٔ ا صلی، ارتفاع موقعیت ۱۵٪ پایینی طول آبراههٔ اصلی و تعداد زمین لغزش در هر حوزه تقلیل یافت. در مرحلهٔ بعد حوضه‌های موجود بر اساس ویژگی‌های منتخب به ۶ گروه همگن تق سیم و با ا ستفاده از رگر سیون چند متغیره گام به گام اقدام به مدل سازی ر سوب‌دهی حو ضه‌های مورد مطالعه شد. به دلیل وجود سدها در بالادست حو ضه‌های مطالعاتی، د سترسی به داده‌های معتبر، یکی از چالش‌های مطالعات ر سوب ا ست. بر ا ساس منحنی‌های جرم م ضاعف بین داده‌های ر سوب-بارش، از بین ۳۵ ایستگاه که در بالا د ست خود دارای انواع سدهای مخزنی بودند، رسوب‌دهی ۲۹ ایستگاه تحت تأثیر سدهای بالا دست خود قرار داشتند. نتایج نشان داد که سدهای بزرگ می‌توانند بر عملکرد ر سوب پایین د ست خود تا طول ۹۸ کیلومتری رودخانه تأثیر بگذارد. همچنین نتایج نشان داد که در هر گروه ترکیب خاصی از ویژگی‌ها بر روی رسوب‌دهی حوضه‌ها تأثیر گذار هستند. بر اساس شاخص های اعتبارسنجی، مدل‌های به دست آمده دارای کارایی بالایی هستند (ضریب نش ساتکلیف ۰/۷۲ و ضریب تبیین ۰/۷۱). به‌طور کلی، ویژگی‌های فیزیوگرافی حو ضه مانند محیط، مساحت، طول آبراهه اصلی و رلیف حوضه نسبت به سایر عوامل اقلیمی، پوشش‌گیاهی و زمین‌شناسی منطقه از درجهٔ اهمیت بیشتری برخوردارند و کل واریانس تبیین شده توسط ویژگی‌های ذکر شده ۸۷/۳ درصد است.

کلید واژگان: مدل‌سازی، تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی، خوشه‌بندی، حوزه‌های آبخیز کارون بزرگ و کرخه.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۰۹۸۹۱۳۳۲۶۱۴۵۳۹+

Email: vchitsaz@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

ماهیت پیچیده و ویژگی بار رسوب رودخانه‌ها باعث شده است که برآورد میزان رسوب وارده به مخازن و تولید رسوب در دراز مدت برای تعیین عمر مفید سازه‌ها با مشکل روبه‌رو شود. یکی از پرکاربردترین روش‌های برآورد بار رسوبی معلق رودخانه‌ها استفاده از منحنی‌های سنجهٔ رسوب می‌باشد که با استفاده از آمار دبی ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی و برقراری رابطه بین دبی آب و دبی رسوب تهیه می‌شود. تاکنون روش‌های متداولی برای محاسبهٔ منحنی‌های سنجه ارائه شده است اما در اغلب روش‌ها رسوب برآورد شده کمتر از مقدار واقعی رسوب مشاهده شده است. [۱۰] از بین مدل‌های USBR[1]، USBR چند خطی، منحنی حد وسط دسته‌ها، منحنی سنجهٔ فصلی و روش FAO[2] برای تهیهٔ منحنی سنجهٔ دبی-رسوب، روش منحنی حد وسط دسته‌ها را کارآمدترین روش دانسته و استفاده از این روش را نسبت به سایر روش‌های مذکور توصیه می‌کنند. همچنین [۹] و [۱] عنوان می‌کنند که روش منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها نتایج مطلوب‌تری را در برآورد دبی رسوب به همراه داشته است. از سوی دیگر عدم وجود ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی در بسیاری از زیرحوضه‌های کشور باعث شده تا استفاده از روش‌های تحلیل منطقه‌ای رسوب بیشتر مدنظر قرار گیرد.

استفاده از برخی از ویژگی‌های سهل‌الوصول حوضه و برقراری ارتباط بین این خصوصیات و دبی رسوب، باعث شده تا روش‌های تحلیل منطقه‌ای در حوضه‌های فاقد آمار یک ابزار قدرتمند جهت برآورد دبی رسوب تلقی شود. [۱] با بررسی ۲۰۹ ایستگاه رسوب‌سنجی کشور و با استفاده از رگرسیون چند متغیره اظهار داشت که مساحت، دبی سالانه و دبی ویژه از عوامل مؤثر در رسوب‌دهی حوضه‌ها می‌باشند. [۷] با استفاده از روش‌های رگرسیون چند متغیره اقدام به مدلسازی میزان رسوب رودخانه جراحی استان خوزستان کردند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که ۹۸ درصد تغییرات رسوب رودخانهٔ جراحی توسط متغیرهای طول آبراههٔ اصلی و دبی متوسط سالانه قابل توجیه است. [۱۳] با استفاده از روش تجزیهٔ عاملی و رگرسیون چند متغیره، عوامل مؤثر بر رسوب حوضهٔ طالقان را مساحت اراضی کشاورزی، مساحت زیرحوضه‌ها، مجموع مساحت سازندهای حساس و نیمه‌حساس و پستی و بلندی حوضه معرفی کردند و اظهار داشتند که ۸۸ درصد تغییرات رسوب‌دهی این حوضه تحت تأثیر این متغیرها می‌باشد. [۱۱] نیز با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی حوزه‌های آبخیز جنوب غرب ایران عوامل مساحت حوضه، درصد تحدب و درصد اراضی با جهت شمال غربی را به ترتیب موثرترین عوامل بر تولید رسوب این حوضه‌ها معرفی کردند. همچنین در خارج از کشور [۶] از مدل رگرسیونی چند متغیره برای برآورد رسوب‌دهی روزانهٔ حوزهٔ آبخیز رودخانهٔ راماجانا 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 فرسایش روز قبل با ضریب تبیین ۸۲/۳ درصد در سطح اعتماد ۹۵ درصد به عنوان ویژگی‌های مؤثر بر تولید رسوب شناخته شدند. [۱۲] در حوضه‌های کبک کانادا از روابط رگرسیونی جهت برآورد رسوب‌دهی استفاده کردند و اظهار داشتند که متغیرهای فیزیکی حوضه دقت مدل‌ها را بالا خواهد برد.

نکتهٔ مشترک در مدلسازی رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز، شناسایی و استفاده از ویژگی‌های تأثیر گذار بر روی تولید رسوب در هر حوضه می‌باشد که ممکن در حوضه‌های مختلف این ویژگی‌ها متفاوت باشد. در این مطالعه سعی شده تا پس از تهیهٔ ماتریس ۳۰ ویژگی تأثیر گذار بر رسوب‌دهی حوضه‌ها (ستون) بر اساس سایر

[1] United State Bureau of Reclamation

[2] Food and Agricultural Organization

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعات شامل ویژگی‌های فیزیوگرافی، پوشش گیاهی، فرسایش‌پذیری و اقلیمی، برای ۶۹ حوضه و زیر حوضه‌های (ردیف) منطقه کارون و کرخه با استفاده از تجزیه مؤلفه های اصلی، اولاً ویژگی های تأثیر گذار شناسایی و ثانیاً با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی، حوضه‌های مشابه و نزدیک به هم از لحاظ این ویژگی‌ها تفکیک شوند. در نهایت سعی شده با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره گام به گام اقدام به مدلسازی رسوب‌دهی در هر یک از گروه‌های همگن شود. این مطالعه بدین لحاظ حائز اهمیت می‌باشد که تأثیر سد بر رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری پایین دست بررسی شد و سعی شد با استفاده از منحنی‌های جرم مضاعف این تأثیرات کاهش یا حذف شوند.

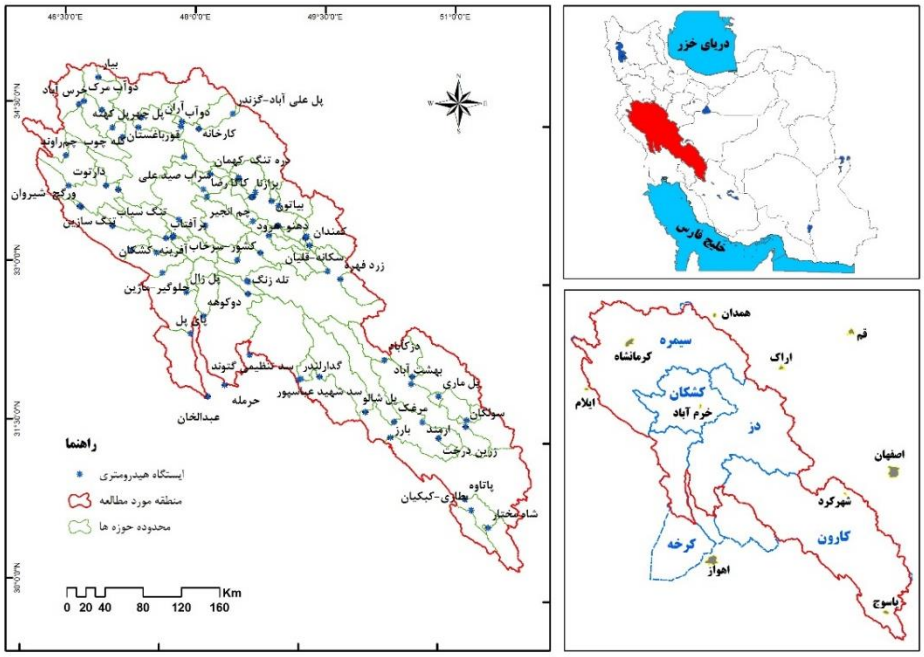
۲. روش شناسی

۲.۱. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه شامل بخش‌های از حوضه‌های کارون بزرگ و کرخه است و در محدودهٔ جغرافیایی "۰ '۶ °۴۶ تا "۵۰ '۵۸ °۵۱ طول شرقی و "۴۰ '۱۶ °۳۰ تا "۰ '۵۵ °۳۴ عرض شمالی قرار دارد. این منطقه بخش عمده‌ای از سطح استان‌های کرمانشاه، همدان، ایلام، لرستان، خوزستان، چهار محال و بختیاری، کهکیلویه و بویر احمد و استان اصفهان را در برگرفته است. مساحت منطقهٔ مورد مطالعه ۹۸۶۸۶ کیلومتر مربع است که در حدود ۸۳ درصد از سطح حوضه های کارون بزرگ و کرخه را شامل می‌شود. شکل (۱) موقعیت حوضه‌ها و زیر حوضه‌های مورد مطالعه و ایستگاه‌های هیدرومتری را نشان می‌دهد.

۲.۲. روش کار تحقیق و داده‌های مورد نیاز

داده‌های مورد نیاز در این مطالعه شامل دبی جریان و دبی رسوب مربوط به ایستگاه های آب‌سنجی و رسوب‌سنجی و همچنین اطلاعات و مشخصات مربوط به سدهای موجود در منطقه، شامل نوع سد، سال شروع و سال پایان پروژهٔ سدسازی و سال آبگیری سدها، از سازمان تحقیقات منابع آب (تماب) وابسته به وزارت نیرو جمع‌آوری شد. با برقراری ارتباط بین داده‌های دبی جریان و دبی رسوب (منحنی سنجه) داده‌های رسوب برای ایستگاه‌های مورد مطالعه تهیه شد.



www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱. منطقهٔ مورد مطالعه و موقعیت حوضه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری

در این مطالعه به منظور تهیهٔ روابط منحنی‌های سنجه ایستگاه‌های مورد مطالعه از روش حد وسط دسته‌ها استفاده شد؛ در این روش که اولین بار توسط [۵] ارائه شد، ابتدا مجموعهٔ متناظر 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 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 رابطهٔ رگرسیونی توانی[۱] با فرم معادلهٔ (۱) به آن برازش داده می‌شود و مطابق با آن از روی دبی روزانه مقادیر رسوب روزانه و در نهایت سری‌های سالانهٔ رسوب برای هر ایستگاه برآورد می‌شود.

$$Q_S = aQ_w^b \qquad (۱)$$

در این رابطه:

Q_s: دبی رسوب به ازای مقادیر دبی جریان

Q_w: دبی جریان

a و b: ضرایب معادله هستند.

به دلیل وجود سدها در بالادست حوضه‌های مطالعاتی، دسترسی به داده‌های معتبر، یکی از چالش‌های مطالعات رسوب است. به عبارت دیگر، احداث سد بر روی آبراهه‌های اصلی باعث تحت تأثیر قرار گرفتن ماهیت تصادفی داده‌های دبی و رسوب می‌شود؛ لذا به منظور حذف اثر سد بر روی داده‌های دبی و رسوب ایستگاه‌های پایین دست خود، مقادیر تجمعی رسوب در مقابل مقادیر تجمعی بارش به عنوان یک ویژگی مستقل رسم شد و منحنی جرم مضاعف برای تمامی ایستگاه‌های پایین دست سدها تهیه شد. سپس اثر تغییرات دبی و رسوب در اثر احداث سد در محدودهٔ زمانی سال‌های شروع پروژه احداث سد مورد بررسی قرار گرفت. چنانچه احداث سد تأثیری بر روی رفتار دبی و رسوب‌دهی زیر حوضه‌ها داشته باشد، به صورت شکستکی در امتداد منحنی جرم مضاعف ظاهر می‌شود. بنابراین از آمار ایستگاه تا سال قبل از شروع پروژه سدسازی استفاده شده و منحنی‌های سنجه مجدداً تعدیل شد.

همچنین علاوه بر داده‌های دبی و رسوب، ۳۰ ویژگی فیزیوگرافی، ژئومورفولوژیکی، پوشش گیاهی و اقلیمی برای هر حوضه مطابق جدول (۱) تهیه شد؛ اما به منظور مدلسازی بهینه و دقیق‌تر با استفاده از تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی[۲] تعداد ویژگی‌های فوق بر اساس قدر مطلق ضرایب بیش از ۰/۵ هر کدام یک از ویژگی‌ها در ۵ مؤلفهٔ اول تقلیل داده شد (رابطهٔ ۲).

$$PC_i = E_i^T X \qquad (۲)$$

در این رابطه: E_i^T، i امین بردار ویژه و X بردار خصوصیات افراد است.

در مرحلهٔ بعد بر اساس ویژگی‌های منتخب در مرحلهٔ قبلی از خوشه‌بندی به روش وارد[۳] (به دلیل کاهش تلفات ناشی از داده‌های پرت) و فاصلهٔ اقلیدسی[۴] انجام و حوضه‌های مشابه با استفاده از پکیج NbClust در محیط برنامهٔ R گروه‌بندی شدند [۲ و ۳]. در نهایت جهت مدلسازی رسوب معلق و ویژگی‌های حوضه‌های مورد مطالعه از رگرسیون چند متغیرهٔ گام به گام (رابطهٔ ۳) بر روی ویژگی‌های منتخب در داخل هر گروه استفاده شد.

[۱] Power regression

[۲] Principal Component Analysis

[۳] Ward

[۴] Euclidian

www.SID.ir

Archive of SID

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_nx_n \quad (۳)$$

در این رابطه: X_1 تا X_n متغیرهای ورودی (مستقل)، Y متغیر وابسته، a_0 عرض از مبدأ خط و a_1 تا a_n ضرایب رگرسیون متغیرهای مستقل هستند.

جدول ۱. ماتریس ویژگی‌های مورد بررسی

ردیف	نام ویژگی	ردیف	نام ویژگی
۱	محیط حوضه	۱۶	رلیف حوضه
۲	مساحت حوضه	۱۷	شاخص ضریب زبری
۳	طول حوضه	۱۸	فرسایش‌پذیری سازندها
۴	ضریب فشردگی	۱۹	درصد اراضی مارنی
۵	ضریب شکل	۲۰	متوسط فرسایش‌پذیری مارنی
۶	نسبت دایره‌ای	۲۱	درصد ذرات شن خاک
۷	طول رودخانه	۲۲	درصد ذرات سیلت خاک
۸	تراکم آبراهه‌ای	۲۳	درصد ذرات رس خاک
۹	طول بلندترین آبراهه	۲۴	NDVI_۲۰۰۶ (مرطوب‌ترین سال)
۱۰	شیب متوسط بلندترین آبراهه	۲۵	NDVI_۲۰۰۷ (سال نرمال)
۱۱	متوسط بارندگی سالانه	۲۶	NDVI_۲۰۰۸ (خشک‌ترین سال)
۱۲	متوسط ارتفاع در ۸۵٪ طول بالایی آبراهه اصلی	۲۷	درصد اراضی جنگلی
۱۳	متوسط ارتفاع در ۱۵٪ طول پایینی آبراهه اصلی	۲۸	درصد اراضی مرتعی
۱۴	ارتفاع نقطه در ۱۵٪ طول بالایی آبراهه اصلی	۲۹	درصد اراضی مرتعی فقیر
۱۵	ارتفاع نقطه در ۸۵٪ طول بالایی آبراهه اصلی	۳۰	تعداد زمین لغزش

همچنین به منظور ارزیابی مدل‌ها از شاخص‌های ضریب نش ساتکلیف (NS) و ریشهٔ دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) برای هر مدل استفاده شد. باید اشاره کرد که به علت مقادیر زیاد ویژگی‌های رسوب، مقادیر RMSE برای مقادیر حقیقی و برآورد شده ممکن است اعداد بزرگی باشد که شاید برای ارزیابی کارایی مدل مناسب نباشد؛ لذا در این مطالعه مقادیر RMSE برای مقادیر استاندارد شدهٔ رسوب برآورد شده و واقعی محاسبه شد.

۳. نتایج

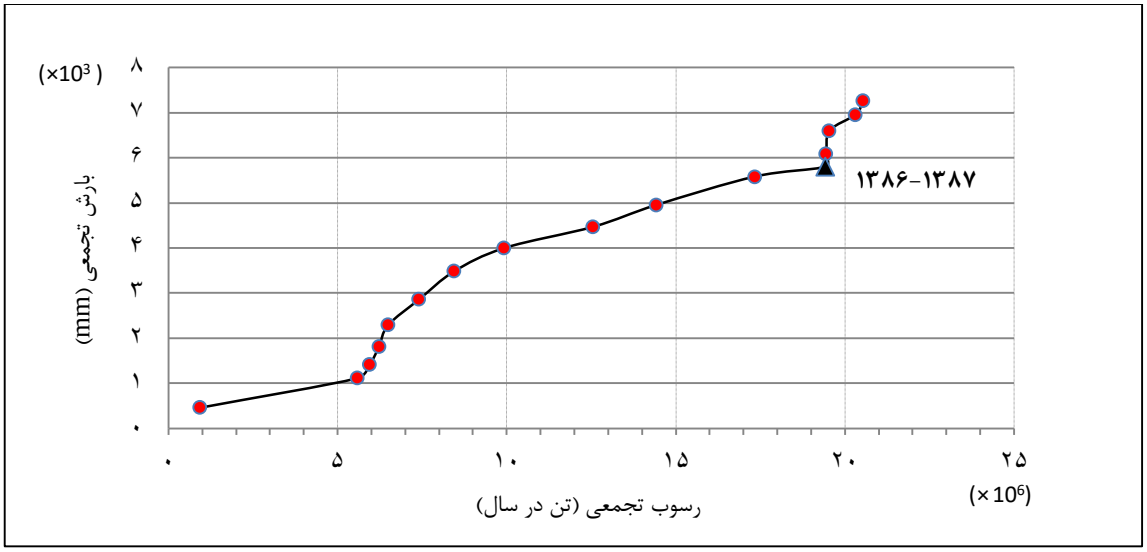
۳.۱. منحنی جرم مضاعف

تحلیل و مدلسازی مناسب برای یک ویژگی طبیعی زمانی با بیشترین صحت همراه است که تمامی رویدادهای ویژگی مورد مطالعه به صورت تصادفی اتفاق افتاده باشد. نتایج بررسی اثر سدهای مورد بهره‌برداری بر روی رسوب‌دهی حوضه‌ها با استفاده از منحنی‌های جرم مضاعف رسوب-بارش نشان داد که از بین ۶۹ ایستگاه مورد مطالعه، ۳۵ ایستگاه در بالا دست خود دارای انواع سدهای مخزنی بودند که از این بین، رسوب‌دهی ۲۹ ایستگاه تحت تأثیر سدهای بالا دست خود بوده و از دورهٔ آماری آن‌ها تا سال پیش از احداث سد بالا دست آن‌ها استفاده شد. شکل (۲) منحنی جرم مضاعف را برای ایستگاه هلیلان (۱۴۷-۲۱) بر روی رودخانهٔ سیمره نشان می‌دهد که به صورت هم‌زمان با سال احداث سد کلان ملایر (سال شروع عملیات اجرایی ۱۳۸۲ و سال خاتمه و آبگیری سد ۱۳۹۰) منحنی جرم مضاعف دچار شکستگی در محدودهٔ سال ۸۷-۱۳۸۶ شده که نشان دهندهٔ تأثیر

www.SID.ir

Archive of SID

عملیات اجرایی سد و پس از آن تأثیر آبگیری این سد است. همچنین نتایج نشان داد که سدهای بزرگ می‌توانند بر عملکرد رسوب پایین دست خود تا طول ۹۸ کیلومتری رودخانه تأثیر بگذارند.



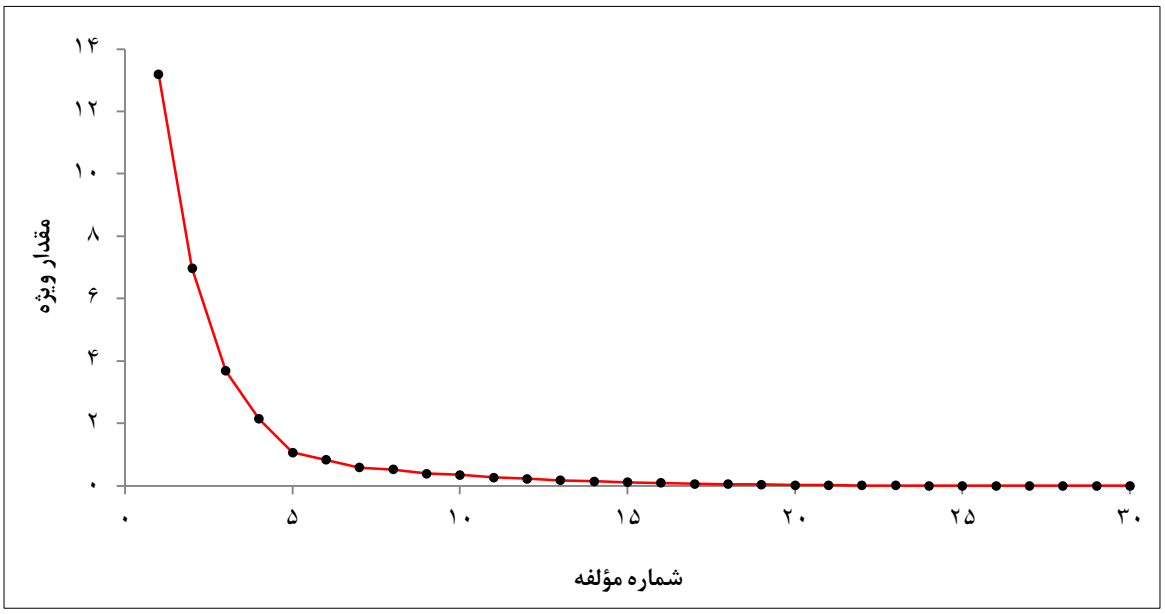
شکل ۲. منحنی جرم مضاعف بارش-رسوب ایستگاه هلیلان (۱۴۷-۲۱) بر روی رودخانهٔ سیمره

۳.۲. تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی

با تکمیل و آماده شدن داده‌های رسوب و ماتریس ویژگی‌های هر زیر حوضه به منظور کاهش ابعاد ویژگی‌ها و مدلسازی بهینه، عمل PCA بر روی ویژگی‌ها انجام شد. نمودار سنگریزه‌ای مؤلفه‌های اصلی نشان داد که ۵ مؤلفهٔ اول ۹۰ درصد تغییرات را در بر می‌گیرند (شکل ۳) و کل واریانس تبیین شده توسط ویژگی‌های ذکر شده ۸۷/۳ درصد است. بنابراین از بین بردارهای ویژه ۶ مؤلفهٔ اول ویژگی‌هایی (مقادیر چرخش یافته) که دارای قدر مطلق ضرایب بیشتر از ۰/۵ بودند به عنوان ویژگی‌های تأثیر گذار انتخاب و در فرآیند خوشه‌بندی و مدلسازی مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. نمودار سنگریزه‌ای مؤلفه‌های اصلی

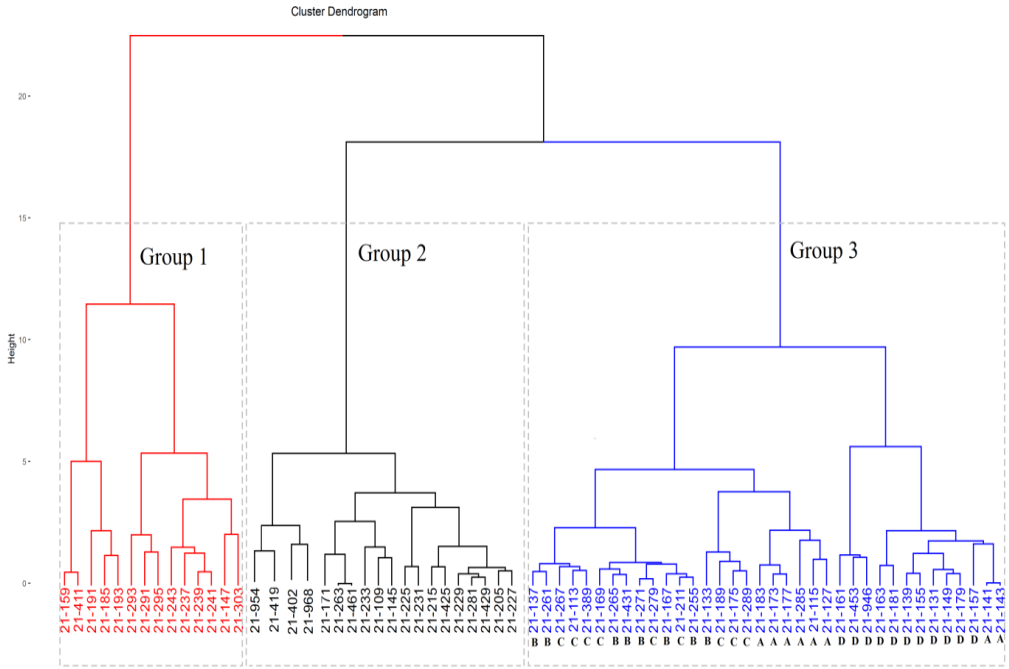
جدول ۲. ضرایب ویژگی‌های انتخاب شده

نام ویژگی	واحد	کد متغیر	PC_1	PC_2	PC_3	PC_4	PC_5
متوسط رسوب سالانه	Ton/Year	Y	۰/۸۷				
محیط حوضه	Km	X_1		۰/۷۶			
مساحت حوضه	Km^2	X_2		-۰/۸۱			
طول رودخانه اصلی	Km	X_3		-۰/۵۸			
متوسط ارتفاع در ۸۵٪ بالایی آبراهه اصلی	m	X_4					-۰/۶۰
ارتفاع نقطه در ۸۵٪ طول بالایی آبراهه اصلی	m	X_5					-۰/۶۸
رلیف حوضه	m	X_6					۰/۵۴
تعداد زمین لغزش	-	X_7			۰/۷۵	۰/۶۱	

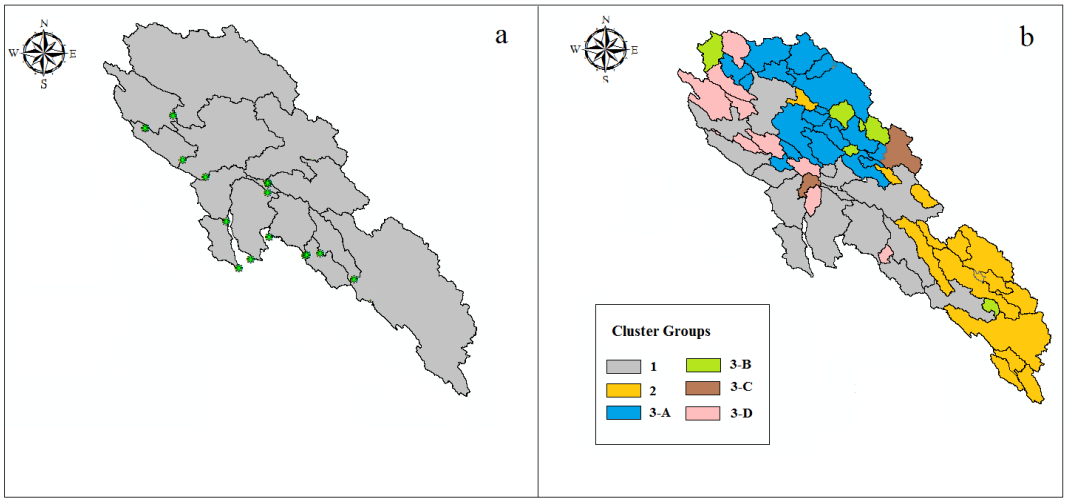
نتایج حاصل از خوشه‌بندی سلسله مراتبی حوضه‌ها و زیر حوضه‌های مورد مطالعه بر اساس ۸ ویژگی فوق ۳ گروه اصلی را نشان داد (شکل ۴). در هریک از گروه‌ها، جداگانه اقدام به بر قراری رگرسیون چندمتغیره گام به گام شد. نتایج نشان داد که مدل اولیهٔ ساخته شده برای گروه سوم از ضریب تبیین کمی برخوردار بود (٪۳۴/۷ =R^2). همچنین به خاطر تنوع زیاد حوضه‌ها در این گروه و تغییرپذیری درون‌گروهی حوضه‌ها مدل برآورد شده در برخی از حوضه‌های کوچک، مقادیر رسوب را صفر و یا منفی نشان می‌داد. برای غلبه بر این مشکل مجدداً با استفاده از تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی، حوضه‌های گروه سوم به ۴ زیر گروه بر اساس ویژگی‌های مساحت، طول رودخانه اصلی و محیط حوضه‌ها تقسیم شدند. شکل (۵) موقعیت افراد هر گروه را در حوضه‌های اصلی و زیر حوضه‌های کوچکتر نشان می‌دهد. همچنین شکل (۶) نمودار جعبه‌ای هر یک از ویژگی های مورد بررسی را در هر گروه نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



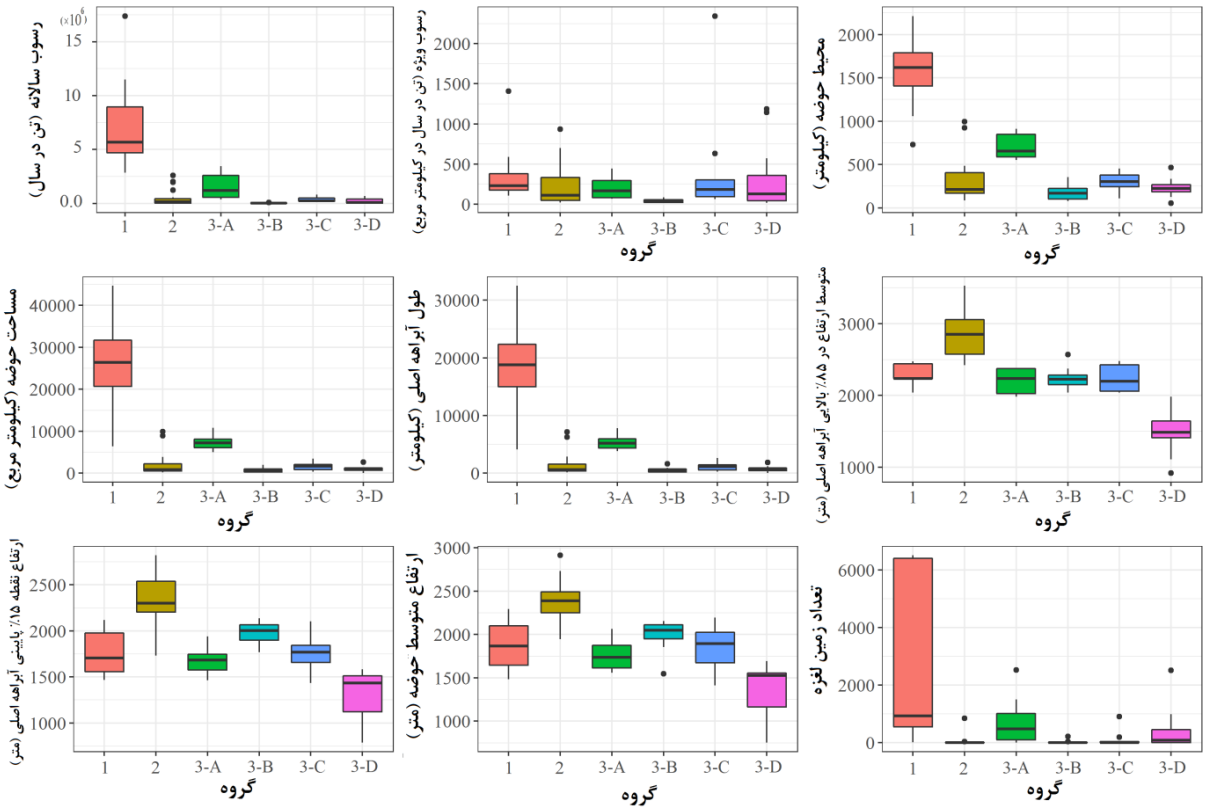
شکل ۴. خوشه‌بندی سلسله مراتبی حوضه‌های مورد مطالعه، حروف A، B، C و D زیرگروه‌های گروه سوم هستند.



شکل ۵. a: حوضه‌های بزرگ گروه اول، b: زیر حوضه‌های گروه اول و سایر گروه‌ها.
برخی از زیر حوضه‌ها به علت هم پوشانی نمایش داده نشده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. نمودار جعبه ای ویژگی‌های مورد مطالعه در هر یک از گروه‌های همگن

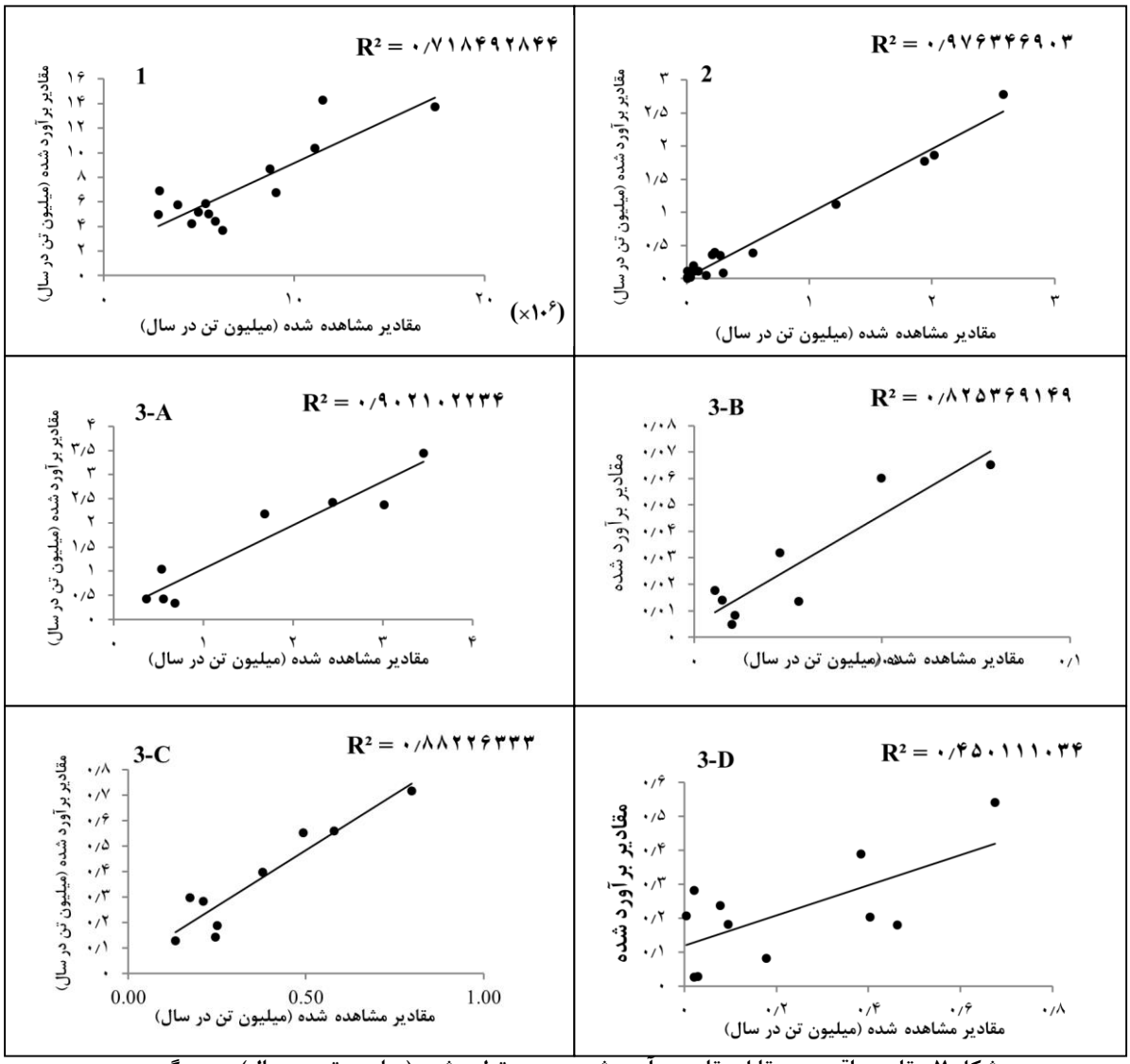
نتایج حاصل از رگرسیون گام به گام در هر یک از گروه‌های فوق نشـــان داد که در هر گروه ترکیب خاصـــی از ویژگی‌ها بر روی رسوب‌دهی حوضه‌ها تأثیر گذار هستند. جدول (۳) مدل ساخته شده برای هر گروه و نتایج ارزیابی کارایی این مدل‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۷) نیز مقادیر برآورد شده را نسبت به مقادیر واقعی برای هر گروه نشان می‌دهد.

جدول ۳. مدل‌های ساخته شده رسوب معلق سالانه برای هر گروه بر حسب هزار تن در سال

گروه	مدل	RMSEs	NS
۱	$Y = [-20.3(X_1) +1.12(X_3) -4.87 (X_5) +26339.63]$	۰/۵۳	۰/۷۲
۲	$Y = [3.3(X_1) + 3.16 (X_2) – 4.46 (X_3) + 0.480 (X_4) – 1921.42]$	۰/۱۵	۰/۹۸
۳-A	$Y = [4.58(X_2) -5.94(X_3) – 2.821 (X_6) + 4591.08]$	۰/۳۰	۰/۹۰
۳-B	$Y = [0.46(X_2) - 0.55(X_3) -5.83]$	۰/۴۰	۰/۸۳
۳-C	$Y = [-4.648(X_1) + 0.563(X_2) + 0.778(X_4) -887.5]$	۰/۳۳	۰/۸۸
۳-D	$Y = [- 4.983 (X_1) + 0.824 (X_2) + 2.057 (X_5) – 1.739 (X_6) + 232.11]$	۰/۷۷	۰/۴۵

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷. مقادیر واقعی در مقابل مقادیر برآورد شده رسوب تولید شده (میلیون تن در سال) در هر گروه

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشـــان داد که تقریباً در همه گروه‌ها به جز گروه 3-D مدل‌های ساخته شده کارایی خوبی دا شته و به‌طور کلی ویژگی‌های مســـاحت، محیط و طول رودخانهٔ اصـــلی حوزهٔ آبخیز از مهم‌ترین ویژگی های مؤثر بر رســـوب‌دهی حوضـــه‌های مورد مطالعه هســـتند. با توجه به جدول (۳) عامل مساحت (X_2) در تمامی مدل‌ها به جز مدل گروه اول به عنوان یک عامل مؤثر بر ر سوب‌دهی حو ضه‌ها شناخته شده ا ست. عمدتاً با افزایش م ساحت میزان ر سوب تولید شده و رسوب‌دهی حوضه‌ها افزایش می‌یابد [۱]. اما با توجه به نتایج به‌دســـت آمده به نظر می‌رســـد چنانچه مســـاحت حوضـــه‌ها از یک حدی زیادتر شـــود عامل مســـاحت تأثیر چندانی بر رسوب‌دهی حوضه نخواهد داشت. در حوضه‌های بسیار بزرگ، ر سوب تولید شده افزایش یافته اما این مقدار ر سوب تولید شده ممکن ا ست به نقطهٔ خروجی حو ضه در این گونه حوضـــه‌ها نرســـد و عملاً داده‌ای از حجم رســـوب تولید شده ثبت نشود. به همین دلیل با افزایش بیش از حد م ساحت حو ضه‌ها، عامل م ساحت به عنوان یک عامل مؤثر بر روی رســـوب‌دهی حوضـــه‌های مورد بررســـی در گروه اول

www.SID.ir

Archive of SID

شناخته نشد. همچنین ویژگی تعداد لغزش‌ها (X_7) علی‌رغم ضریب نسبتاً بالا در مؤلفه‌های سوم و چهارم در هیچ کدامیک از مدل‌های برآورد شده دارای اثر معنی‌داری بر روی رسوب سالانه نبود. علت این امر یکی دامنهٔ بسیار گستردهٔ وقایع (صفر تا بیش از ۶۰۰۰ رویداد) و دیگری یکسان بودن اعداد برای حوضه‌هایی که دارای همپوشانی بودند، است. از این جهت ویژگی تعداد لغزش‌ها به عنوان یک ویژگی مناسب جهت مدلسازی رسوب معلق در منطقهٔ مورد مطالعه شناخته نشد. به منظور بررسی اثر لغزش‌ها بر روی رسوب تولید شده شاید بهتر باشد به‌جای تعداد لغزش‌ها از داده‌های وسعت لغزش‌های افتاده در هر حوضه استفاده کرد. از طرف دیگر مدل‌های برآورد شده برای گروه دوم و A-۳ به ترتیب دارای بیشترین مقادیر ضریب نشاتکلیف در بین سایر گروه‌ها هستند. علت این امر تا حدودی می‌تواند مرتبط با مساحت و طول آبراهه‌های زیر حوضه‌های این گروه باشد که نه شامل حوضه‌های خیلی بزرگ مانند گروه اول است و نه حوضه‌های خیلی کوچک مانند گروه‌های B-۳، C-۳ و D-۳؛ در حوضه‌های خیلی کوچک، اثر مساحت و طول آبراهه‌ها کمتر شده و کاهش چشمگیر ضرایب ویژگیهای مساحت و طول آبراهه اصلی گروه‌های B-۳، C-۳ و D-۳ نسبت به گروه اول، دوم و A-۳ و رسوب‌دهی در این حوضه‌ها ممکن است بیشتر تابعی از خصوصیات سنگ‌شناسی و حساسیت واحدها به فرسایش باشد. در ارتباط با گروه D-۳ به نظر می‌رسد که رسوب‌دهی در این حوضه‌ها ارتباط چندانی با ویژگی‌های مستقل مورد بررسی ندارد یا حداقل از یک مدل خطی پیروی نمی‌کند و نیازمند بررسی سایر ویژگی‌ها و آزمون مدل‌های دیگر است.

در این مطالعه سعی شد با استفاده از مدلسازی خطی ارتباط بین پارامتر های فیزیوگرافی، پوشش گیاهی و اقلیمی با رسوب‌دهی سالانهٔ حوضه‌های کارون بزرگ و کرخه مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان داد که رسوب‌دهی در این حوضه‌ها بیشتر تحت تأثیر عوامل فیزیوگرافی است که با نتایج [۱۴ و ۱۵] که در این ارتباط نتایج مشابهی ارائه کرده‌اند مطابقت دارد. در این مطالعه حوضهٔ سد کمال صالح استان مرکزی در گروه B-۳ قرار گرفت و در مدل ساخته شده برای این حوضه دو ویژگی مساحت (X_2) و طول رودخانه (X_3) بر روی رسوب‌دهی سالانهٔ آن مؤثر هستند با این حال ضریب ویژگی طول رودخانه حدود ۲۵٪ بیش از ضریب مساحت در مدل ساخته شده بود که هم راستا با نتایج [۸] که اظهار داشتند عامل طول رودخانه به صورت معنی‌دار بر روی رسوب‌دهی حوضهٔ سد کمال صالح استان مرکزی اثر دارد، مطابقت دارد. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده نشان داد که در محدودهٔ حوضه های جنوب غرب کشور متغیر های فیزیوگرافی مانند محیط، مساحت و رلیف حوضه نسبت به سایر عوامل از درجهٔ اهمیت بیشتری برخوردار هستند و با یافته‌های مشابه [۴ و ۱۱] مطابقت دارد. نکتهٔ دیگر در ارتباط با این تحقیق استفاده از روش تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی جهت کاهش ابعاد ماتریس ویژگی‌ها و گروه‌بندی زیر حوضه‌ها به گروه‌های همگن بر اساس این ویژگی‌هاست که با نتایج [۴] مطابقت دارد. استفاده از این روش برای مناطق وسیع و ناهمگن بسیار کارآمد است به‌طوری‌که در منطقهٔ مورد مطالعه نتایج مدل‌های ساخته شده بر اساس گروه‌بندی تمامی ویژگی‌های ماتریس، از دقت بسیار پایینی برخوردار بود. بنابراین با توجه به نتایج قابل قبول این مطالعه می‌توان اظهار داشت که استفاده از روش‌های خوشه‌بندی مناسب و رگرسیون چند متغیره گام به گام کارایی مناسبی در مدلسازی رسوب معلق و تحلیل منطقه‌ای رسوب معلق دارند.

References

www.SID.ir

Archive of SID

[1] Arabkhedri, M. (2005). A Study on the Suspended Sediment Yield in River Basins of Iran. Iran-Water Resources Research. 1(2): 51-60

[2] Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., & Niknafs, A. (2015). Determining the Best Number of Clusters in a Data Set. *Recuperado de: https://cran. rproject.org/web/packages/NbClust/NbClust.pdf*.

[3] He, Q., 1999. A review of clustering algorithms as applied in IR. Graduate School of Library and İnformation Science University of İllinois at Urbana-Compaign, 6, pp.1-33.

[4] 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

[5] Jansson,M.B. (1996) "Estimating a sediment rating curves of the Reventazon river at Palomo using logged mean loads within discharge classes ." Journal of Hydrology, ol.183, No.4, PP. 227-241

[6] Kumar A., Das G., 2000: Dynamic model of daily rainfall, runoff and sediment yield for a Himalayan watershed, Journal of Agricultural Research, 75(2): 189-193

[7] Moazemi, M., 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

[8] Moradian, M., Najafinejad, A., Moradi, M. and Varvani, J. (2010). Application of Regional Analysis in Estimation of Annual Suspended Sediment (Case Study: Kamal Saleh Dam Watershed). 6th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran. Tehran, Iran.

[9] Najafinejad, A., Moradian, M., Varvani, J. and Bordisheykh, V. (2010). Performance Evaluation of Correction Factors in Optimization of Sediment Rating Curve (Case Study: Kamal Saleh Dam Watershed, MARKAZI Province, Iran). Journal of Water and Soil Conversion. 18(2): 105-122

[10] Rooshan, H., Vahabzadeh, Q. and Khaledi, A. (2017). Determination of the Best Model to Estimate Suspended Sediment Load in Zaremrood River, Mazandaran, Iran. Quarterly journal of Environmental Erosion Research, 7(3), 39-54.

[11] 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

[12] Sarangi A., 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

[13] 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 DRAINAGE BASIN). Iranian Journal of Natural Resources, 60(3): 759-771

[14] Shi, Z. H.; Huang, X. D.; Ai, L.; Fang, N. F.; & G. L. Wu, 2014. Quantitative analysis of factors controlling sediment yield in mountainous watersheds, Geomorphology, 226, 193-201.

[15] Zhang, H. Y.; Shi, Z. H.; Fang, N. F.; & M. H. Guo, 2015. Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China, Geomorphology, 234, 19-27.

www.SID.ir