Archive of SID

پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هشتم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۸
صص. ۱۱۷-۱۰۵

مدل‌سازی رابطه میزان رسوب و ویژگی‌های هیدرولوژیکی و محیطی حوضه (مطالعه موردی حوضه سد دز)

افشین هنربخش*- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد.
علی نیازی- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد.
سعید سلطانی کوپایی- استاد گروه مرتع وآبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
پژمان طهماسبی- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۲۱ تائید نهایی: ۱۳۹۸/۰۲/۰۶

چکیده

تجزیه و تحلیل منطقه‌ای بار رسوب رودخانه‌ها بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک و ارتباط آن به خصوصیات حوضه‌های آبخیز در برآورد میزان فرسایش و رسوب از اهمیت بسزایی برخوردار است. لذا هدف از مطالعه حاضر مدل‌سازی رابطه‌ی بین میزان بار رسوب معلق با ویژگی‌های هیدرولوژیکی و محیط حوضه سد دز است. برای این منظور از اطلاعات ۱۶ ایستگاه رسوب‌سنجی برای توسعه مدل‌های برآورد رسوبات معلق استفاده شد. سپس مدل‌های توسعه یافته با اطلاعات ۶ ایستگاه رسوب‌سنجی دیگر اعتبارسنجی شد. پانزده ویژگی مختلف فیزیوگرافی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی به عنوان پارامترهای ورودی در مدل‌سازی برآورد رسوبات معلق استفاده شد. از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) برای انتخاب مهمترین پارامترها استفاده شد. سپس ایستگاه‌ها بر اساس پارامترهای انتخاب شده و با استفاده از روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به دو گروه همگن تقسیم شدند. در نهایت مدل‌ها با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره گام به گام توسعه یافتند. از معیارهایR^2، درصد خطا (RE) و میانگین خطا (ME) برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد چهار عامل دبی سالانه، متوسط بارندگی سالانه، ضریب هورتون و ارتفاع متوسط حوضه مهمترین پارامترها در برآورد رسوبات معلق بودند و مدل‌های رگرسیونی بر اساس این عوامل ایجاد شدند. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل توسعه یافته با استفاده از همه چهار عامل با RE = ۸٪، t ya-1 ME= ۲۵۳۷۵ و R2 = ۰/۹۳ بهترین کارآیی و کمترین درصد خطای برآورد را داشت. نتایج همچنین نشان داد که دبی سالانه تاثیرگذارترین پارامتر در مدل‌های برآورد رسوبات معلق بود.

واژگان کلیدی: بار معلق، رگرسیون، ضریب هورتون، فرسایش خاک.

* نویسنده مسئول: E-mail: afshin.honarbakhsh@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

فرسایش خاک فرآیندی است که طی آن ذرات خاک از بستر خود جدا شده و توسط یک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۵). به مواد منتقل شده توسط عوامل فرساینده مانند آب، باد و یخ که بصورت لایه‌هایی در سطح پوسته زمین ته‌نشین می‌شوند رسوب اطلاق می‌شود (طالب بیدختی و همکاران، ۱۳۸۲). به مجموع رسوباتی که توسط آب درون جریان به صورت معلق، لغزش و یا غلتیدن در حرکتند بار رسوب نامیده می‌شود. اصولاً بار رسوب کل[۱] حوضه آبخیز در سه شکل کلّی بار شسته[۲]، بار معلق[۳] و بار بستر[۴] انتقال می‌یابد.

خصوصیات فیزیوگرافی حوضه به مجموعه ویژگی‌هایی گفته می‌شود که مقادیر آن‌ها برای هر حوضه در طول زمان نسبتاً ثابت بوده و نشان دهنده وضع ظاهری و مرفولوژیک حوضه آبخیز است. آگاهی از خصوصیات فیزیوگرافی یک حوضه همراه با داشتن اطلاعاتی از شرایط آب و هوائی منطقه می‌تواند تصویر نسبتاً دقیقی از عملکرد کمی و کیفی سیستم هیدرولوژی آن حوضه ارائه دهد. مهمترین خصوصیات فیزیوگرافی یک حوضه عبارتند از مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی، شیب، شکل، ارتفاع، پستی و بلندی، مستطیل معادل و زمان(زینگلر و همکاران[۵]، ۲۰۱۴).

برآورد میزان رسوب در یک حوضه آبریز بسیار پر اهمیت است با این حال اندازه‌گیری مستقیم میزان رسوب بسیار وقت‌گیر و پر هزینه است لذا از این رو یافتن رابطه‌ی بین خصوصیات فیزیوگرافی و محیطی حوضه اندازه‌گیری و بدست آوردن آنها آسانتیر است با میزان رسوب تولید شده و در نهایت ارائه یک مدل کمی می‌تواند در ارزیابی میزان رسوب تولید شده و زیان‌های ناشی از آن در آینده بسیار حائز اهمیت باشد. روش‌های رگرسیون چند متغیره[۶]، تجزیه تحلیل خوشه‌ای[۷] و تجزیه تحلیل عاملی[۸] از جمله روش‌های رایج در مدل‌سازی رابطه میزان رسوب و ویژگی‌های حوضه هستند. روش رگرسیون چند متغیره روش رایجی است که هدف از آن بیان متغیر وابسته به شکل تابعی ریاضی از متغیر(های) مستقل است (رابطه ۱).

$$Y = a_0+a_1X_1+a_2X_2+a_3X_3+a_4X_4+a_5X_5+ \cdots+a_n X_n \qquad \text{(رابطه۱)}$$

که در این معادله X_1 تا X_n متغیرهای ورودی (مستقل)، Y متغیر وابسته و a_0 عرض از مبدأ خط و a_1 تا a_n ضرایب رگرسیون متغیرهای مستقل متناظر می‌باشند. تجزیه به مولفه‌های اصلی[۹] یکی از روش های رایج برای کاهش تعداد متغیرهای ورودی مدل به تعداد کمی متغیر مهم است. در این روش تعداد زیادی از متغیرها را می‌توان به چند عامل کاهش داد و به این طریق خلاصه‌ای از داده‌های اصلی را تهیه نمود. از آنجا که در رگرسیون چند متغیره با افزایش تعداد متغیرها علاوه بر افزایش میزان خطا، معادله رگرسیون چندگانه به طور فزاینده‌ای بزرگ می شود لذا استفاده از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی بسیار کارآمد خواهد بود. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای تکنیکی است برای گروه‌بندی افراد یا موضوعات به طوری که در این گروه‌بندی موضوعات درون گروه شباهت زیادی به یکدیگر دارند، اما دارای تفاوت قابل توجهی با گروه‌های دیگر هستند. از جمله کاربردهای تجزیه و تحلیل خوشه‌ای دست‌یابی به مناطق همگن از نظر خصوصیات هیدرولوژیکی، زمین شناسی، توپوگرافی و پوشش گیاهی است (نجفی، ۱۳۸۲ ؛ آرس و همکاران، ۲۰۱۶).

۱.Total Sediment Load

۲. Wash Load

۳. Suspended Load

۴. Bed Load

۵. Ziegler et al

۶. Multiple Regression

۷. Cluster Analysis

۸. Factor Analysis

۹. Principal Component Analysis

www.SID.ir

Archive of SID

طی سال‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه مطالعه و مدل‌سازی رابطه بین ویژگی‌های حوضه و میزان رسوبات معلق در حوضه‌های آبخیز کشور انجام شده است از جمله معظمی و فیض‌نیا (۱۳۸۶) در مطالعه رودخانه جراحی استان خوزستان به مدلسازی میزان رسوب این رودخانه با استفاده روش رگرسیونی چند متغیره پرداختند. نتایج این پژوهش کاریی مطلوب و مناسب روش رگرسیونی چندمتغیر را نشان داد. غلامی و همکاران (۱۳۸۷) در مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبارها با استفاده از متغیّرهای باران و روان‌آب در حوضه آبخیز چهل‌گزی استان کردستان مشاهده کردند که مدل‌های رگرسیونی دو متغیره در مقایسه با چند متغیره از کارایی بالاتری برخوردار است.

کومار و داس (۲۰۰۰)[۱] از مدل رگرسیونی چندمتغیره برای برآورد رسوب‌دهی روزانه حوضه آبخیز رودخانه راماجانا در هندوستان استفاده کردند. در پژوهش آن‌ها مشاهده شد از میان ۱۷ متغیری که در رگرسیون گام به گام وارد شده بودند 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 در مدل باقی ماندند و مدل رگرسیونی بر اساس این پارامترها توسعه یافت. سرانجی و همکاران (۲۰۰۵)[۲] از یک سری روابط رگرسیونی جهت برآورد میزان بار رسوبی حوضه‌ای در ایالت کبک کانادا استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از پارامترهای فیزیکی حوضه دقت مدل را بالا برده به طوری که R^2 مدل را از ۷۸٪ به ۸۸٪ افزایش داد. ژو و همکاران (۲۰۰۷)[۳] در چین به مدل‌سازی رسوب معلق با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره پرداختند. در این مطالعه از ویژگی‌های بارندگی، دما، شدت بارش و دبی برای برآورد میزان رسوب استفاده شد. نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی–مصنوعی کارآیی نسبتاً بهتری نسبت به روش رگرسیونی چندگانه دارد. آرس و همکاران (۲۰۱۶)[۴] فاکتورهای کنترل غلظت رسوب را برای منطقه پامپاس آرژانتین مورد تجریه و تحلیل قرار دادند. در این مطالعه ۲۵ رخداد بارندگی طی ۴ سال در منطقه‌ای به وسعت ۵۶۰ هکتار بررسی شد. در این پژوهش روش رگرسیونی چندگانه برای مدلسازی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل توسعه یافته خطی قادر به توضیح ۸۵٪ از تغییرات غلظت رسوب است. لامب و تونیلو (۲۰۱۶)[۵] به کمی سازی بار معلق ۳ رودخانه در منطقه شمالی آلاسکا پرداختند. پایش منطقه مورد مطالعه برای ۳ سال به طول انجامید و نمونه برداری بار معلق در اعماق مختلف رودخانه انجام شد و بین میزان بار معلق و پارامترهای حوضه مدلسازی به روش رگرسیونی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که در هر سه رودخانه پارمترهای بارندگی و شکل حوضه تاثیر زیادی در میزان بارر معلق حوضه داشتند. با توجه به مطالعات صورت گرفته اهمیت برآورد میزان رسوب با استفاده از ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه بر هیچکس پوشیده نیست با این حال تاکنون مطالعه جامع و کاملی در این خصوص در استان چهارمحال و بختیاری صورت نگرفته است تا از این طریق پارامترهای مهم و تاثیر گذار بر میزان رسوب حوضه مشخص شود. حوضه سد دز از حوضه‌های مهم غرب کشور از نظر تولید آب، انرژی و محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. این رودخانه رواناب‌های مناطق وسیعی از استان‌های لرستان، اصفهان، خوزستان، چهارمحال بختیاری و مرکزی را جمع آوری نموده و پس از آبرسانی به دشت‌های مسیر خود به رودخانه کارون می‌پیوندد. عدم تعداد کافی ایستگاه‌های رسوب‌سنجی و محدودیت تعداد سال‌های آماری و نیز همچنین تعداد کم نمونه‌برداری سیلاب در زمان طغیان رودخانه دز اهمیت مطالعه حاضر در مدل سازی برآورد رسوب معلق در حوضه سد دز را نشان می‌دهد زیرا که در آینده می‌توان با استفاده از مدل‌های ایجاد شده برآوردی از میزان رسوبات معلق داشت.

---

[۱] - Kumar and Das

[۲] - Sarangi et al.

[۳] - Zh u et al.

[4] - Ares et al.

[5] - Lamb et al.

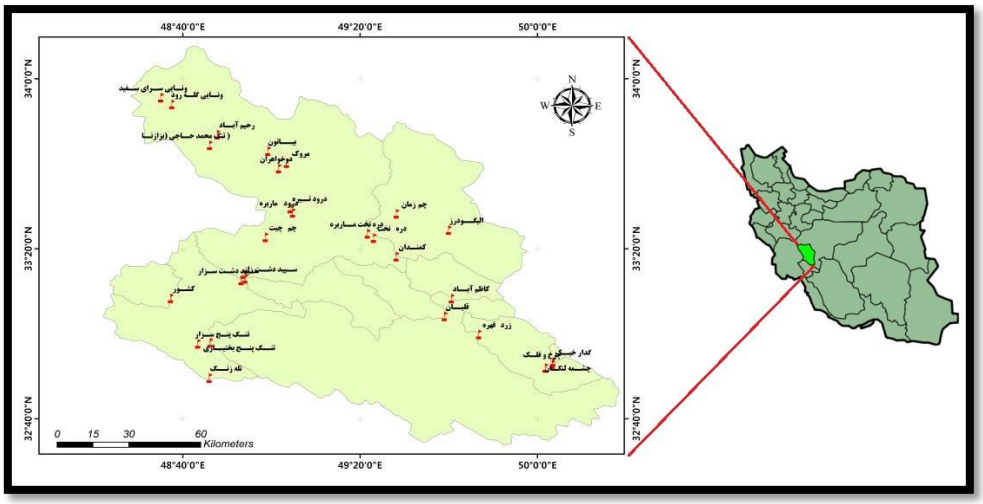
www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش کار

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه دز در ارتفاعات زاگرس میانی و بین مختصات جغرافیائی″۱۷°۳۱ و ″۱۵°۳۴ عرض شمالی ″۱۷°۴۸ و ″۲۰°۵۰ طول شرقی است. حوضه آبخیز رودخانه دز از نظر تقسیم‌بندی کلی حوضه‌های آبخیز ایران، جزئی از حوضه آبخیز خلیج فارس محسوب می‌گردد که از شمال به حوضه آبخیز رودخانه‌های قره‌چای ساوه، گلپایگان و زاینده رود، از مغرب به حوضه آبخیز رودخانه کرخه و از شرق در بخش‌های جنوبی به حوضه آبخیز رودخانه کارون محدود می‌شود. شکل۱ موقعیّت حوضه آبریز دز در استان چهارمحال و بختیاری و خوزستان را نشان می‌دهد (تلوری، ۱۳۸۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

اقلیم غالب در منطقه مورد مطالعه نیمه–خشک‌گرم است (شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ۱۳۸۹). متوسط بارندگی سالانه حوضه ۶۷۰/۵ میلیمتر است. ۳۳/۴ درصد مساحت حوضه تحت بارشی کمتر از ۵۰۰ میلیمتر و ۱۵/۴ درصد مساحت آن بارشی حدود ۱۰۰۰ میلیمتر و یا بیشتر را دارد. ایستگاه تنگ پنج با بارش سالانه ۱۱۷۵/۵ میلیمتر بیشترین بارش نقطه‌ای حوضه را داراست. دمای سالانه از ۷/۶ تا ۲۴/۴ درجه سانتیگراد متغیر است. مطالعات نشان می‌دهد که ۲۱/۴ درصد نزولات جوی به شکل برف است که مناطق شرق و شمال شرق حوضه متأثر از آن هستند. رودخانه دز با طولی بیش از ۵۰۰ کیلومتر زهکش اصلی حوضه آبخیز دز محسوب می‌شود. رودخانه دز از پیوند رودخانه‌های بختیاری و سزار تشکیل شده و با حرکت به طرف جنوب (در ادامه مسیر) از سمت راست خود رودهای دره‌دم، مازو، بالارود و شاوور را دریافت می‌کند. همچنین از سمت چپ رودخانه‌های شیوین، تهلاب، لیوس و گلال تنگ‌دره به رودخانه دز می‌پیوندند (تلوری، ۱۳۸۱؛ پورعلی و همکاران، ۱۳۸۷).

روش تحقیق

ویژگی‌های حوضه

به منظور برآورد میزان رسوب معلق سالانه؛ در ابتدا ۲۲ ایستگاه رسوب‌سنجی واقع در استان چهارمحال و بختیاری انتخاب شدند. ایستگاه‌های انتخاب شده قبل از سد دز و دارای اطلاعات مناسبی از جمله آمار بارندگی، رسوب و دبی بودند. با ترسیم بارگراف دوره آماری داده‌ها، دوره مشترک آماری ۴۰ ساله (سال‌های۱۳۵۰–۱۳۸۹) انتخاب گردید. سپس اطلاعات و نقشه‌های مربوط به فیزیوگرافی، هیدرولوژیکی، کاربری اراضی و اقلیمی مربوط به زیرحوضه‌ها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، شبکه آبراهه، کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 مربوط به سال ۲۰۱۵، عکس‌های هوایی و داده‌های اقلیمی فراهم گردید. ارتفاع، مساحت و محیط حوضه‌ها از روی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و با

www.SID.ir

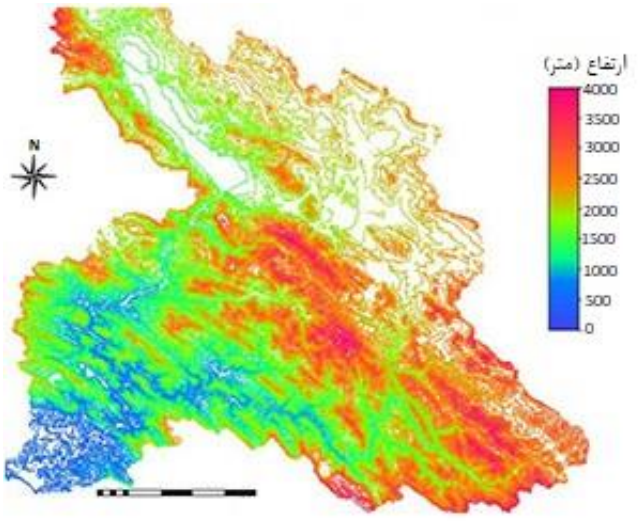
Archive of SID

استفاده از نرم افزار ArcGis9.3 بدست آمد. شکل حوضه با استفاده از روابط گراویلیوس (رابطه۲) و هورتون (ذابطه۳) محاسبه شد.

$$C = ۰/۲۸\frac{P}{\sqrt{A}}$$ (رابطه ۲)

$$R = \frac{A}{L^۲}$$ (رابطه۳)

که در در این معادلات C ضریب گردی یا گراویلیوس، P محیط حوضه- بر حسب کیلومتر، A مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع، R ضریب شکل حوضه و L طول حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر است. شیب متوسط آبراهه‌ها و حوضه‌ها با استفاده از نقشه DEM در محیط ArcGis 9.3 استخراج و سپس در محیط Excel پروفیل طولی ترسیم و شیب وزنی آبراهه اصلی محاسبه گردید. از بین پارامترهای اقلیمی بارندگی متوسط سالیانه و بارندگی متوسط ماه‌های پر باران و سیلابی سال شامل آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت در نظر گرفته شد. ابتدا داده‌های بارندگی متوسط ماهانه و ارتفاع هر یک از ایستگاه‌ها جمع‌آوری و بر اساس روش کوکریجینگ به‌عنوان مناسب‌ترین روش زمین‌آماری توزیع مکانی بارندگی منحنی‌های هم باران استخراج گردید (جدول ۱). سپس برای هر یک از زیر حوضه‌ها متوسط بارندگی سالانه و ماهیانه ۴۰ ساله استخراج گردید. کاربری‌های اراضی مختلف و درصد پوشش‌های گیاهی حوضه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat 8.0 تعیین شدند. تغییرات ویژگی‌های زمین‌شناسی از نقشه‌های زمین‌شناسی رقومی شده با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ در محیط ArcGis 9.3 استخراج شدند. ارتفاع در منطقه مورد مطالعه از صفر تا ۴۰۰۰ متر متغیر بود (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

ساخت مدل رگرسیونی

در این تحقیق با استفاده از اطلاعات ۱۶ ایستگاه (زیر حوضه) مدل‌سازی برآورد رسوب با استفاده از خصوصیات فیزیوگرافی حوضه انجام شد. با استفاده از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی مهم‌ترین متغیرهای موثر بر میزان رسوب شناسایی شد. سپس با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، حوضه آبخیز دز به مناطق همگن تقسیم شد. در نهایت بر اساس مطالعات صورت پذیرفته (معظمی و فیض‌نیا (۱۳۸۶؛ لامی و همکاران، ۱۳۸۷؛Ziegler et al. 2014) با استفاده از رگرسیون چند

www.SID.ir

Archive of SID

متغیره گام به گام در مناطق همگن مدلسازی رسوب صورت پذیرفت. روش رگرسیونی گام به گام بدلیل سادگی در اجرا و تفسیر در مدلسازی فرایندهای هیدرولوژیکی بخصوص برآورد میزان رسوب با استفاده از خصوصیات فیزیوگرافی حوضه بسیار مورد استفاده قرار گرفته است (Gellis 2013 Ziegler et al. 2014). در انتها با استفاده از آمار ۶ ایستگاه باقی‌مانده کارایی مدل‌ها ارزیابی شد. برای انجام تجزیه به مولفه‌های اصلی در ابتدا داده‌ها از نظر فرضیات کلی شامل نرمال بودن، تست KMO و کرویت بارتلت ارزیابی شدند. در مرحله بعد همگنی حوضه آبخیز با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای ارزیابی شد. در تحلیل خوشه‌ای پس از استاندارد کردن داده‌ها به روش Z-SCORE، گروه‌بندی با روش طبقاتی تجمعی و محاسبه فاصله اقلیدسی به روش ward انجام شد. به تدریج زیر حوضه‌های مشابه طی فرآیند جمع‌آوری در یک گروه با هم ادغام شدند. در نهایت با روش گرافیکی و بصری، حوضه‌های همگن تعیین شدند و در آن‌ها با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره مدل‌های برآورد رسوبات معلق توسعه یافتند. در تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره فرضیات خطی بودن، ثابت بودن واریانس خطا، مستقل بودن اشتباهات، عدم همبستگی بین متغیرهای مستقل و عدم وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل نیز مورد بررسی قرار گرفتند. تحلیل چند متغیره، تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون چند متغیره با استفاده از نرم افزار SPSS Statistics 17.0 انجام شدند.

بررسی کارایی مدل

در این مطالعه کارآیی مدل‌های توسعه یافته حاصل از ۱۶ زیر حوضه، با داده‌های ۶ زیر حوضه دیگر ارزیابی شد. بهترین مدل‌ها بر اساس معیارهای خطای نسبی کم‌تر از ۴۰ درصد (رابطه ۴) ، میانگین خطا (رابطه ۵)، ضریب تبیین بالاتر و سطح معنی داری کم‌تر از ۵ درصد مشخص شدند (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴؛ Liu et al., 2008).

$$RE = \frac{Y_e - Y_o}{Y_o} \quad \text{(رابطه۴)}$$

$$ME = \sum \frac{Y_O - Y_e}{n} \quad \text{(رابطه۵)}$$

که در آن Y_O و Ye به ترتیب مقادیر مشاهده شده و برآورد شده متغیر و n تعداد داده‌هاست (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴).

نتایج و بحث

جدول ۱ اطلاعات مربوط به ۱۶ ایستگاه رسوب‌سنجی و زیرحوضه‌های مرتبط به آن‌ها را نشان می‌دهد. در حوضه رودخانه دز وسیعترین زیرحوضه تله‌زنگ و کوچک‌ترین آن‌ها کمندان است (جدول ۱). زیر حوضه تله زنگ با طول ۱۴۲ کیلومتر طولانی‌ترین و کمندان با ۶/۹ کیلومتر کوتاهترین حوضه‌ها هستند (جدول ۱). از لحاظ شیب آبراهه زیرحوضه دره تخت- دره تخت با ۱۲/۵ درصد پرشیب‌ترین زیرحوضه است. حوضه دره تخت-دره تخت با داشتن میانگین ۱۲۵۶ تن در سال کمترین و حوضه تله زنگ-دز با ۸۸۰۰۹۱۹ تن در سال بیشترین میزان رسوب معلق را دارد. اگرچه حوضه دره تخت-دره تخت با داشتن میانگین بارندگی ۷۰۶/۷ میلیمتر در سال جزء حوضه‌ها پر باران محسوب می شود (جدول ۱) با این حال کمترین میزان رسوبات معلق در بین همه زیرحوضه‌ها را دارد. با توجه به گزارش طرح تحقیقاتی مطالعات آبخیزداری حوضه‌های غرب کشور(۱۳۸۶) بیش از ۷۵٪ مساحت زیر حوضه دره تخت- دره تخت تحت پوشش گیاهی (شاخص NDVI بین ۰/۳۰ تا ۰/۴) و کابردی مرتع است لذا میزان فرسایش و شستشوی خاک در این حوضه بدلیل حضور پوشش گیاهی مناسب کمتر از سایر زیر حوضه‌هاست. بعلاوه ۵۷٪ از مساحت زیر حوضه دره تخت- دره تخت در کلاس s3 نسبت به فرسایش خاک (حساسیت متوسط) و حدود ۱۲٪ از مساحت این حوضه در کلاس s4 به فرسایش خاک (مقاوم) قرار دارند (گزارش طرح تحقیقاتی مطالعات آبخیزداری حوضه‌های غرب کشور، ۱۳۸۶).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- اطلاعات مربوط به ۱۶ ایستگاه رسوب‌سنجی و زیرحوضه‌های مرتبط به آن‌ها

زیر حوضه و ایستگاه مورد مطالعه	مساحت زیر حوضه کیلومتر مربع	محیط زیر حوضه کیلومتر	بارندگی متوسط سالانه	میانگین رسوب معلق	میانگین آبدهی سالانه	ارتفاع متوسط متر	درصد شیب متوسط زیر حوضه	زمان تمرکز ساعت	ضریب هورتن	ضریب گراولیوس
ونایی- سراب سفید	36.6	22	657.2	1976	1.71	2785	11.78	2.7	0.607	1.220
ونایی - گله رود	44.7	20	694.0	2173	2.23	2191	21.2	2.8	0.413	1.150
رحیم آباد - سیلاخور	1007.1	128	518.2	19494	5.35	1848	3.97	11.3	0.657	1.220
بیاتون	119.9	50	483.1	3468	0.42	1901	4.83	3.5	0.340	1.280
درود- تیره	902.5	191	519.3	64722	3.25	2216	1.81	27.1	0.934	1.200
کمندان	27	24	633.9	1963	1.47	2454	20.41	2.2	0.575	1.160
دره تخت - دره تخت	42.8	29	706.7	1256	6.7	2865	18.33	0.6	0.407	1.360
دره تخت - ماربره	2200	252	459.4	149275	1.3	2111	2.43	11.7	0.690	1.510
درود- ماربره	2574.9	241	475.8	297980	8.8	2077	3.18	15.2	0.384	1.310
چم چیت- سبزه	321.3	101	507.9	26010	7.22	2374	5.8	10.7	0.219	1.520
سپیددشت - سزار	7821.8	129	527.6	1272090	43	1990	2.61	33.9	1.060	1.220
کشور - سرخاب	344.9	78	801.4	671040	5.9	1669	8.28	5.1	0.734	1.180
تنگ پنج - سزار	9353.4	716	576.5	4029965	97.771	2040	1.18	59.3	1.622	1.850
تنگ پنج - پختیاری	6307.2	502	654.4	4888375	141.595	2192	1.69	43.5	0.310	1.760
تله زنگ - دز	16064.5	766	616.6	8800919	252.114	2102	1.17	75.6	1.240	1.680
کاظم آباد - کاکلستان	438.3	428	532.3	67010	3.9	2273	3.94	6.8	1.140	1.370

مدل‌سازی میزان رسوب

در ابتدا ۱۵ متغیر مستقل اعم از فیزیوگرافی، اقلیمی و هیدرولوژیکی موثر در تولید رسوب در زیر حوضه‌های مورد مطالعه شناسایی و داده‌های آن‌ها استخراج گردید. تاکنون مطالعات معدودی در زمینه مدلسازی رسوب صورت گرفته است، از جمله عرب‌خدری و زرگرا (۱۳۷۴) ۱۱ ویژگی، حکیم‌خانی (۱۳۷۷) ۱۹ ویژگی و رستمی و همکاران (۱۳۸۱) ۲۰ ویژگی و وفاخواه (۱۳۸۱) ۱۴ ویژگی را به عنوان متغیرهای مستقل در برآورد میزان رسوب مدنظر گرفتند. مقداره آماره KMO برابر با ۰/۶۷ نشان می‌دهد که داده‌های استخراج شده برای انجام تحلیل عاملی تجزیه به مولفه‌های اصلی مناسب‌اند. همچنین معنی‌دار بودن آزمون کرویت بارتلت در سطح ۰/۰۰۱ و کای اسکوار ۳۴۸/۶ بیانگر تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار مناسب است.

در جدول۲ مقادیر عامل‌های استخراج شده بعد از انجام تحلیل عاملی تجزیه به مولفه‌های اصلی آمده است. چنانچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود چهار عامل دبی سالانه، متوسط بارندگی سالانه، ضریب هورتون و ارتفاع متوسط حوضه قابلیت تبیین واریانس‌ها را دارند. در جدول ۳ می‌توان دید که عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب هر کدام ۵۳/۷۸، ۷۱/۲۹۹، ۸۳/۲۴ و ۹۲/۲۳ درصد و در مجموع ۹۲/۲۳ درصد از واریانس را در بردارند.

جدول ۲: سهم متغیرها یا بار عاملی در هر عامل قبل از عمل چرخش

	مولفه			
متغیر	1	2	3	4
مساحت حوضه کیلومتر مربع	0.954	0.180	0.121	-0.005
محیط حوضه کیلومتر مربع	0.920	-0.003	0.008	0.197
ارتفاع متوسط متر	-0.338	0.544	-0.287	0.681
درصد شیب متوسط حوضه	-0.678	0.678	0.069	-0.024
طول حوزه کیلومتر	0.839	-0.045	-0.448	-0.136
طول آبراهه اصلی کیلومتر	0.985	0.120	0.015	-0.011
شیب آبراهه درصد	-0.657	0.735	0.026	0.035
دبی سالانه متر مکعب بر ثانیه (آب)	0.901	0.328	-0.061	-0.043
بارش سالانه میلی متر	-0.148	0.791	0.198	-0.340
ضریب هورتن	0.603	-0.068	0.696	0.308

www.SID.ir

Archive of SID

ضریب گراولیوس	0.790	0.084	-0.379	0.219
ارتفاع حداکثر– حداقل متر	0.762	0.326	-0.191	-0.326
مساحت جهت جنوب(کیلومتر مربع)	0.958	0.179	0.146	0.007
زمان تمرکز ساعت	0.976	0.098	0.069	0.039
مساحت جهت شمال (کیلومتر مربع)	0.961	0.164	0.112	0.020

روش استخراج: تجزیه و تحلیل به مولفه‌های اصلی

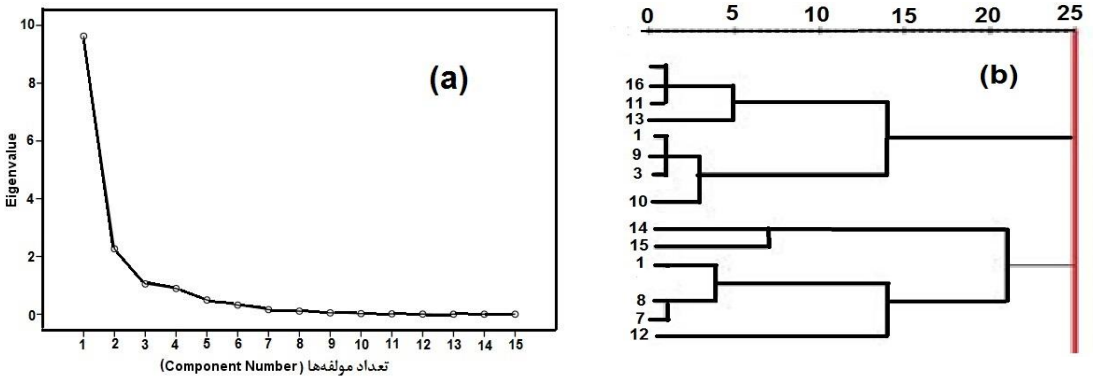
نمودار سنگریزه‌ای تعیین عامل‌های موثر در برآورد رسوب معلق در شکل (a)۳ آمده است. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که از عامل چهارم (ارتفاع متوسط حوضه) به بعد تغییرات مقادیر ویژه کم می‌شود، در نتیجه می‌توان چهار عامل انتخاب شده (دبی سالانه، متوسط بارندگی سالانه، ضریب هورتون و ارتفاع متوسط حوضه) را به عنوان عوامل تاثیرگذار که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند (جدول ۳) معرفی کرد.

جدول۳: درصد واریانس تجمعی و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف

مولفه	کلی	درصد واریانس	درصد تجمعی
دبی سالانه (آب)	8.06	53.78	53.78
متوسط بارندگی سالانه	2.62	17.51	71.29
ضریب هورتون	1.79	11.94	83.24
ارتفاع متوسط حوضه	1.34	8.99	92.23

روش استخراج: تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی

متوسط دبی سالانه بیشترین بار وزنی (۰/۹۴) را روی عامل اول دارد و ۵۳/۷۸ درصد تغییر در داده‌های اصلی را تبیین می‌کند. عامل دوم متوسط بارندگی سالانه است که بیشترین بار وزنی (۰/۸۸) را دارد و ۱۷/۵۱ درصد تغییر در داده‌های اصلی را توضیح می‌دهد. عامل سوم که ۱۱/۹۴ تغییر در داده‌های اصلی را توضیح می‌دهد، ضریب هورتون است که بار وزنی (۰/۹۰) بیشتری دارد. عامل چهارم ارتفاع متوسط حوضه است که بار وزنی (۰/۹۳) را داشته و ۸/۹۹ درصد تغییر در داده‌های اصلی را توضیح می‌دهد. لذا این چهار عامل مجموعاً ۹۲/۲۳ درصد واریانس یا تغییر در داده‌های اصلی را در بر دارند و برای تحلیل خوشه‌ای انتخاب می شوند (جدول ۲). با توجه به عامل‌های موثر تعیین شده (جدول ۳) اقدام به گروه‌بندی زیر حوضه‌ها به روش تحلیل خوشه‌ای شد. با توجه به ترکیب خوشه‌ای در فاصله ۲۵، زیر حوضه‌ها در دو گروه همگن قرار گرفتند (شکل ۳b).



شکل۳: نمودار سنگریزه‌ای تعیین عوامل موثر در برآورد رسوب معلق (a) و دندروگرام زیر حوضه‌های همگن در فاصله۲۵ (b)

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌های رگرسیونی

زیر حوضه‌های ونایی–سراب سفید، ونایی–گله‌رود، کمندان، دره تخت–دره تخت، تنگ پنج–بختیاری، تله زنگ–دز و کشور– سرخاب در منطقه همگن ۱ قرار گرفتند. منطقه همگن ۲ شامل زیر حوضه‌های چم‌چیت–سبزه، کاظم آباد–کاکلستان، رحیم‌آباد–سیلاخور، بیاتون، درود–تیره، دره‌تخت–ماربره، درود–ماربره، سپیددشت–سزار و تنگ‌پنج– سزار است. مدل‌های برآورد رسوب معلق مناطق همگن۱ و ۲ در مقیاس سالانه با استفاده از چهار عامل دبی سالانه، ارتفاع متوسط حوضه، ضریب هورتون و متوسط بارندگی و به کمک روش رگرسیونی چندگانه گام به گام در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول۳: نتایج حاصل از مدل سازی رگرسیونی تحلیل منطقه‌ای رسوب معلق مناطق همگن ۱ و ۲

رابطه	متغیر مستقل	معادله	R^2
	منطقه همگن ۱		
(۶)	دبی سالانه، ارتفاع متوسط حوضه، ضریب هورتون و متوسط بارندگی	Yt = 1054.4 (P) + 253596 (F) - 346.3 (H) + 34219.1(Q)-28546.1	۰/۹۸**
(۷)	دبی سالانه، ارتفاع متوسط حوضه،	Yt = - 481.1 (H) + 34202.1(Q) +1158409.8	۰/۹۸**
(۸)	دبی سالانه	Yt = 34797.1(Q) +106880.2	۰/۹۹**
(۹)	دبی سالانه، ارتفاع متوسط حوضه، ضریب هورتون	Yt = 255355.2 (F) -446.1.3 (H) + 33754.8 (Q) +947007.4	۰/۹۸**
	منطقه همگن ۲		
(۱۰)	دبی سالانه، ارتفاع متوسط حوضه، ضریب هورتون و متوسط بارندگی	Yt = 13834.6 (P) + 1351247.1 (F)- 1324.7 (H) -1361.1 (Q) -4686902.4	۰/۶۳**
(۱۱)	ضریب هورتون	Yt = 2220067.4 (F) -1079175.6	۰/۵۷**
(۱۲)	دبی سالانه، ارتفاع متوسط حوضه،	Yt = 13751.9 (P) + 1349534.8 (F) -1307.2 (H) -4691464.5	۰/۶۳**
(۱۳)	ضریب هورتون و متوسط بارندگی	Yt = 12400.2 (P) +1455365.2(F) - 6818613.5	۰/۶۱**

*، ** به ترتیب در سطح پنج در صد و در سطح یک در صد معنی دار ا ست. در کلیه روابط ارائه شده Yt ر سوب معلق بر حسب تن در سال ، Q دبی متوسط سالانه بر حسب متر مکعب بر ثانیه، H ارتفاع متوسط حوضه بر حسب متر، F ضریب هورتون و P متوسط بارندگی (میلی متر در سال) می باشد.

همه مدل‌های توسعه یافته در منطقه همگن ۱ مقدار ضریب R^2 بیشتری نسبت به مدل‌های توسعه یافته در منطقه همگن ۲ دارند. با توجه به اینکه در مدل‌های توسعه یافته در منطقه همگن یک تعداد پارامترهای بیشتری معنی‌دار و به مدل وارد شده اند لذا مقدار ضریب تبیین درمدل های منطقه همگن ۱ بیشتر می‌شود زیرا با افزایش تعداد پارامترهای ورودی مدل مقدار ضریب تبیین افزایش می‌یابد اگرچه ممکن است مقدار خطای مدل نیز تا حدی افزایش یابد. چنانچه در جدول ۳ مشخص است مدل توسعه یافته بر اساس عامل دبی سالانه در منطقه همگن ۱ در مقایسه با سایر مدل‌ها با تعداد بیشتر پارامتر ورودی مقدار ضریب تعیین بالاتری (R^2 =۰/۹۹) دارد که اهمیت عامل دبی سالانه در برآورد میزان رسوب معلق را نشان می‌دهد. در منطقه همگن ۲ مدل توسعه یافته با هر عامل دبی سالانه، ارتفاع متوسط حوضه، ضریب هورتون و متوسط بارندگی بیشترین کارآیی را در مقایسه با سایر مدل‌ها توسعه یافته داشت (جدول ۳).

www.SID.ir

Archive of SID

اعتبارسنجی مدل‌ها

برای ارزیابی کارآیی مدل‌های توسعه یافته در مناطق همگن ۱ و ۲ از اطلاعات ۶ ایستگاه رسوب سنجی چم‌زمان، سپید دشت، مروک، زردفهره، تنگ محمد حاجی و قلیان استفاده شد (جدول ۴). مقدار رسوبات معلق از ۳۶۲۷ تن در سال در ایستگاه تنگ محمد حاجی تا ۴۶۳۶۲۰ تن در سال در ایستگاه چم‌زمان متغیر است. جدول ۴ خلاصه آماری ارزیابی مدل‌های توسعه یافته با استفاده از معیار RE را نشان می‌دهد. برای ایستگاه‌های قلیان و حوضه چم‌زمان رابطه (۵) با خطای تخمین به ترتیب ۸ و ۹ درصد به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. در این مدل ضریب هورتن مهمترین عامل موثر در مدل‌سازی بود و پس از این عامل به ترتیب عوامل متوسط دبی سالانه، متوسط بارش سالانه و ارتفاع متوسط زیرحوضه قرار گرفتند. حکیم‌خانی و همکاران (۱۳۷۷) نیز متغیرهای دبی متوسط سالانه، درصد سنگ‌های حساس به فرسایش، بارش متوسط سالانه و درصد اراضی رو به شمال را بعنوان عوامل موثر در تولید رسوب دریاچه ارومیه معرفی کردند. اما تحقیقات وروانی (۱۳۸۰) در آنالیز ناحیه‌ای رسوب معلق را برای حوضه آبخیز گرگانرود نشان داد که خصوصیات سنگ‌شناسی و حساسیت واحدها به فرسایش از مهمترین عوامل کنترل‌کننده تولید رسوب بوده و می‌توانند سایر عوامل را نیز تحت تاثیر قرار دهند. همچنین مردیان و همکاران (۱۳۸۹) در آنالیز ناحیه‌ای برآورد رسوب معلق سالانه (حوضه سد کمال‌صالح استان مرکزی) دریافتند که عامل طول رودخانه رابطه معنی‌داری با متوسط رسوبدهی معلق سالانه دارد. ثقفیان و همکاران (۱۳۸۵) نیز نتیجه گرفتند که مقدار رسوبدهی در بیشتر مدل‌های منطقه‌ای تحت تأثیر مساحت حوضه است با افزایش مساحت حوضه، مقدار رسوب نیز افزایش می‌یابد که با نتایج این تحقیق هم راستا می‌باشد. در مطالعه Lamb and Toniolo (2016) پارمترهای بارندگی و شکل حوضه تاثیر زیادی در مزان بارر معلق حوضه داشتند.

جدول ۴: ارزیابی دل‌های توسعه یافته با استفاده از معیار RE

رابطه	RE (%)					
	زرد فهره	تنگ محمد حاجی	قلیان	چم زمان	سپیددشت	مروک
(۶)	۲۶	۵۴۷	۸	۹	۸۸	۱۰۳
(۷)	۱۵	۱۴۴۹	۹۴	۵۶	۱۴۸	۳۳۲
(۸)	۶۴	۱۳۴۷	۲۱۰	۴۰	۱۶۵	۲۸۹
(۹)	۱۵	۲۴۴۱	۹۴	۵۵	۱۱۸	۴۷۳
رابطه	RE (%)					
	چم زمان	سپیددشت	مروک	زرد فهره	تنگ محمد حاجی	قلیان
(۱۰)	۱۹۷	۳۳۰	۹۴۴	۴۲۸	۲۴۷۲	۴۹۶
(۱۱)	۶۵	۳۱۷	۱۳۳۵	۲۷۹	۱۴۴۹	۵۲۶
(۱۲)	۶۵	۳۱۷	۱۳۳۵	۴۲۳	۲۴۴۱	۴۹۸
(۱۳)	۱۹۴	۳۳۳	۹۳۶	۱۸۷	۲۳۴۸	۷۳۸

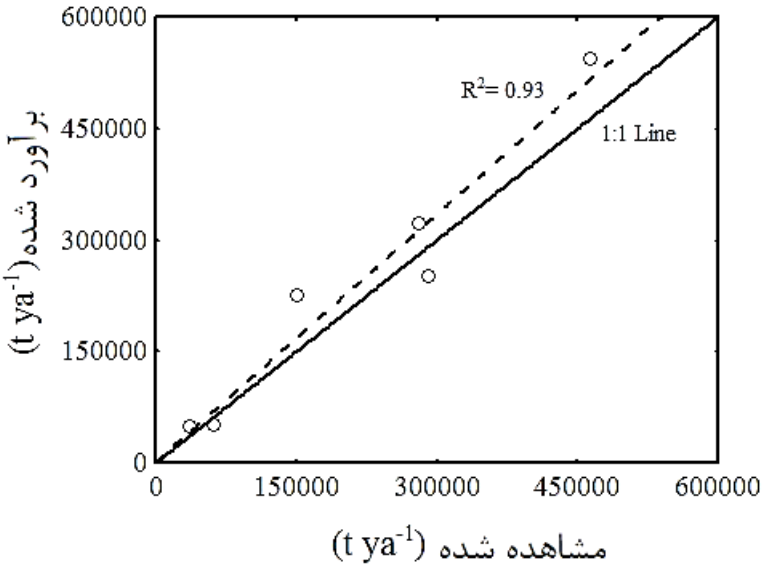
در ایستگاه‌های مروک، سپید دشت و تنگ محمد حاجی هیچ یک از مدل‌ها کارآیی مناسبی در برآورد میزان رسوبات معلق خروجی از این زیر حوضه را نداشتند (جدول ۴). تلوری (۱۳۸۱) نیز در بررسی رسوبدهی سرشاخه‌های کرخه در استان لرستان با استفاده از برخی از ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه گزارش نمود که عدم دستیابی به رابطه معنی‌دار در برخی

www.SID.ir

Archive of SID

مناطق به این دلیل است که یا آمار اندازه‌گیری رسوب از دقت خوبی برخوردار نیست و یا به دلیل کوتاه بودن طول دوره آماری تلاش در برقراری این‌گونه روابط جایز نمی‌باشد. برای ایستگاه زردفهره رابطه (۶) با داشتن کمترین ضریب خطای نسبی ۱۵٪ بهترین مدل در برآورد مقدار رسوبات معلق بود. در این مدل متوسط دبی سالانه مهمترین عامل موثر در مدل‌سازی بود و پس از این عامل ارتفاع متوسط زیرحوضه قرار گرفت. تحقیقات مردیان و همکاران (۱۳۸۹) در (حوضه سد کمال‌صالح استان مرکزی) نشان داد که عامل طول رودخانه رابطه معنی‌دار با متوسط رسوبدهی معلق سالانه دارد.

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۴ رابطه‌ی ۶ به عنوان بهترین مدل در برآورد رسوبات معلق در نظر گرفته شد. شکل ۴ نمودار یک به یک مقدار اندازه‌گیری شده در برابر برآورد شده رسوبات معلق ایستگاه‌های اعتبارسنجی مدل‌ها را با استفاده از معادله ۵ نشان می‌دهد. به طور کلی معادله ۵ کارآیی بسیار خوبی (R^2 = ۰/۹۳) در برآورد رسوبات معلق داشت. اگرچه بر اساس آماره ME این مدل تاحدی دارای بیش‌برآوردی (ME= ۲۵۳۷۵ t ya^{-1}) است.



شکل ۴ -نمودار یک به یک مقدار اندازه‌گیری شده در برابر برآورد شده رسوبات معلق ایستگاه‌های اعتبارسنجی

نتیجه‌گیری کلی

با مطالعه و مدلسازی رابطه‌ی بین ویژگی‌های فیزیوگرافی و محیطی حوضه با میزان رسوبات معلق این امکان فراهم می شود که بتوان تخمین درستی از میزان رسوبات در اثر سیلاب‌ها داشت. هدف از مطالعه حاضر مدلسازی رابطه بین ویژگی‌های محیطی حوضه سد دز با میزان رسوبات معلق رودخانه‌های این حوضه در استان چهارمحال بختیاری با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره گام به گام بود. نتایج پژوهش نشان داد چهار عامل دبی سالانه، ارتفاع متوسط حوضه، ضریب هورتون و متوسط بارندگی مهمترین عوامل در برآورد میزان رسوبات معلق بر اساس روش تجزیه به مولفه‌های اصلی بودند. نتایج همچنین نشان داد که مدل رگرسیونی حاصل از هر چهار عامل دبی سالانه، ارتفاع متوسط حوضه، ضریب هورتون و متوسط بارندگی با داشتن بیشترین ضریب تعیین (R^2 = ۰/۹۳) ، کمترین درصد خطا (۸ ٪ =RE) و کمترین میانگین خطا (ME= ۲۵۳۷۵ t ya^{-1}) کارآیی بسیار خوبی در برآورد رسوبات معلق را داشت. با توجه به نتایج قابل قبول این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که استفاده توام از روش‌های تجزیه به مولفه‌های اصلی، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون چندمتغیر گام به گام کارآیی مناسب و قابل قبولی در برآورد رسوبات معلق دارد و توصیه می‌شود در مطالعات بعدی از ویژگی‌های بیشتری از حوضه مورد بررسی قرار گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

- پورعلی ح، متکان ع ا، و حسینی‌اصل ا. ۱۳۸۷. تهیه نقشه خطر فرسایش و تولید رسوب حوضه آبخیز سد دز با استفاده از سنجش از دور و *GIS* . علوم محیطی. ۶ (۱): ۸۳-۱۰۰.
- تلوری ع. ۱۳۸۱ . رابطه رسوبدهی معلق با برخی از ویژگی های آبخیز در سرشا خه های کرخه و دز در استان لرستان . مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۵۶ .
- تلوری ع، بیرودیان ن، و منوچهری ا. ۱۳۸۶. مدل‌سازی تغییرات زمانی رسوب، مطالعه موردی حوزه آبخیز گاران در استان کردستان. مجله پژوهش و سازندگی. ۷۵: صص ۶۴-۷۰.
- -ثقفیان ب، قرمزچشمه ب، و سمیعی م. ۱۳۸۵ . آنالیز منطقه‌ای رسوب در حوزه‌های منطقه جنوب غرب کشور، نتیجه گزارش طرح تحقیقاتی شرکت سهامی مدیریت منابع آب، ۹ ص.
- حکیم خانی ش .۱۳۷۷. ارائه مدل رگرسیونی چندمتغیره بر اساس عوامل موثر بر رسوبدهی معلق حوزه آبخیز دریاچه ارومیه .پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران .۲۰۰ صفحه.
- رستمی م، اردشیر ع، ابریشم چی ا، مرادی م ح و عرب‌خدری م. ۱۳۸۱. پیش‌بینی رسوب معلق حوزه‌های فاقد آمار با مقایسه روشهای خوشه‌بندی اماری و فازی، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ج اول، صفحات ۹ تا ۱۷، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۸ الی ۱۰ بهمن.
- رفاهی ح ق. ۱۳۸۵. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، ۶۷۱ص.
- صادقی س ح ر، نجفی د، وفاخواه. ۱۳۸۵. تحلیل منطقه ای برآورد رسوب معلق در حوضه اصفهان و سیرجان. تحقیقات منابع آب ایران زمستان ۱۳۸۵ .
- طالب بیدختی ن، شاهویی ص، بهنیا ع، بهبودی ف، صادقی س ح ر، ملک ع، شریفی ف.۱۳۸۲. فرهنگ تخصصی فرسایش و رسوب. انتشارات یونسکو، ۳۸۸ ص.عرب‌خدری م و زرگرا ا . ۱۳۷۴. برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدلهای رگرسیونی، مجله پژوهش و سازندگی. شماره ۲۹ ص ۲۲.
- غلامی ل، صادقی س ح ر، خالدی درویشان ع، تلوری ع. ۱۳۸۷. مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبارها با استفاده از متغیّرهای باران و روان‌آب. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۲۲(۲)، صص ۲۶۳-۲۷۱.
- مردیان م، نجفی‌نژاد ع، مرادی م ، وروانی ج. ۱۳۸۹. کاربرد روش آنالیز ناحیه‌ای در برآورد رسوب معلق سالانه (مطالعه موردی: حوضه سد کمال‌صالح استان مرکزی). ششمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرّس.
- معظمی م، و فیض‌نیا س. ۱۳۸۶. آنالیز ناحیه‌ای رسوب معلق (مطالعه موردی رودخانه جراحی)، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران- مدیریت حوزه‌های آبخیز. ۱۳ ص.
- وروانی ج.۱۳۸۰. آنالیز ناحیه ای رسوب معلق در حوزه آبخیز گرگانرود و بررسی وضعیت رسوبدهی سرشاخه های اصلی سد وشمگیر . پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۲۰۳ صفحه.
- وفاخواه . ۱۳۸۱. ارائه مدل ریاضی جهت برآورد رسوب در منطقه شمال، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ج اول، صفحات ۹ تا ۱۷، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۸ الی ۱۰ بهمن.
- *Ares M.G., Varni M., Chagas C., 2016: Suspended sediment concentration controlling factors: an analysis for the Argentine Pampas region. Hydrological Science Journal 61 (12): 2237-2248.*

www.SID.ir

Archive of SID

- *Gellis A.C., 2013: Factors influencing storm-generated suspended-sediment concentrations and loads in four basins of contrasting land use, humid-tropical Puerto Rico. Catena 104:39–57.*
- *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.*
- *Lamb E., Toniolo H., 2016: Initial Quantification of Suspended Sediment Loads for Three Alaska North Slope Rivers. Water 419 (8): 2-11.*
- *Liu, X., Li, J., 2008: Application of SCS model in estimation of runoff from small watershed in loess plateau of China, Chinese Geographical Sciences, 18(3): 235–241*
- *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.*
- *Zhu X X., Zhou. L Y., 2007: Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the Longchuanjiang River in the Upper Yangtze Catchment, China. Geomorphology 84: 111–125*
- *Ziegler AD., Benner G., Tantasirin C., 2014: Turbidity-based sediment monitoring in northern Thailand: hysteresis, variability, and uncertainty. Journal of Hydrology 519: 2020–2039.*

www.SID.ir