

تجزیه و تحلیل ناحیه ای رسوب در بخشی از حوزه‌های آبخیز ساحلی دریای خزر

* مهدی وفاخواه

عضو هیات علمی گروه آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۸۳/۲/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۲/۱۹

چکیده

یکی از روش‌های قابل اعتماد برای برآورد رسوب در حوضه‌های فاقد آمار استفاده از تجزیه و تحلیل منطقه‌ای است. در این تحقیق با بررسی کلیه ایستگاه‌های موجود در حوضه مورد مطالعه با توجه به طول دوره آماری و حداقل بودن فعالیت‌های انسانی در بالادست ایستگاه‌ها، ۲۳ ایستگاه رسوب‌سنجی انتخاب شد و منحنی سنج رسوب با استفاده از دو روش رگرسیون یک خطی و منحنی S شکل برای هر یک از ایستگاه‌ها ترسیم گردید. سپس با استفاده از آمار دبی روزانه و منحنی سنج رسوب و برنامه رایانه‌ای **Rosoob 1&2** میزان متوسط رسوب سالانه و ویژه برآورد شد و یازده پارامتر فیزیوگرافی، یک پارامتر اقلیمی و دو پارامتر هیدرولوژیکی برای هر یک از حوضه‌های منتخب محاسبه شد. از روش تجزیه و تحلیل عاملی برای انتخاب متغیرهای مستقل استفاده شد. با استفاده از این روش متغیرهای ضریب گراولوس، قطر دایره همسطح، شیب متوسط حوضه و دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت دو ساله انتخاب شدند که در حدود ۸۱ درصد واریانس را توضیح می‌دهند. برای تعیین مناطق همگن از روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای در حوزه آبخیز مورد مطالعه استفاده شد که دو منطقه همگن تشخیص داده شد که روش تجزیه و تحلیل تفکیکی نشان داد که این دو منطقه همگن کاملاً متمایز از یکدیگر می‌باشند. میزان متوسط رسوب سالانه و ویژه با استفاده از دو روش رگرسیون یک خطی و منحنی S شکل محاسبه شد و با چهار فاکتور ضریب گراولوس، قطر دایره همسطح، شیب متوسط حوضه و دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت دو ساله در هر یک از مناطق همگن از طریق رگرسیون گام به گام ارتباط داده شد و مدل‌ها برای هر یک از مناطق همگن ارائه گردید. مدل‌های به دست آمده بیشتر در سطح اعتماد پنج درصد معنی دار می‌باشند. در نهایت، صحت و اعتبار مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفت، بر این اساس مدل‌های رسوب معلق متوسط سالانه با استفاده از روش منحنی S شکل در هر دو منطقه همگن با دارا بودن متوسط درصد خطای نسبی ۳۲ و ۳۸ درصد به عنوان مدل‌های نهایی برای منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیدند.

واژه‌های کلیدی: رسوب، تجزیه و تحلیل منطقه‌ای، روش‌های آماری چند متغیره، حوزه‌های آبخیز ساحلی دریای خزر

مقدمه

امروزه فرسایش خاک به عنوان خطری برای رفاه انسان و حتی برای حیات او به شمار می آید. در مناطقی که فرسایش کنترل نمی شود خاکها به تدریج فرسایش یافته، حاصلخیزی خود را از دست می دهند (نجفی نژاد، ۱۳۷۳). مسئله فرسایش خاک در کشور ما همواره معضلات و مشکلات اساسی در راه توسعه طرح های منابع آب و آبخیزداری محسوب شده است. در تمامی این طرح ها آگاهی از چگونگی وضعیت فرسایش خاک و میزان رسوبدهی حوضه مورد نظر از اهمیت به سزایی برخوردار است. طرح هایی که بدون توجه به این موضوع به مرحله اجراء در آمده اند پس از مدتی کارایی و قابلیت خود را از دست داده و از نظر اقتصادی خسارات فراوانی به سرمایه های کشور وارد کرده اند.

به لحاظ گستره وسیع آبخیزهای کشور از سویی و محدودیت زمان و منابع مالی و نیروی انسانی بویژه نیروی متخصص، اولویت بندی آبخیزها برای طراحی و اجرای برنامه های حفاظت و اداره بهینه منابع خاک آنها ضروری است. مقدار تولید رسوب آبخیز به عنوان معیاری سهل الوصول و قابل قبول برای درجه بندی آبخیزها از نقطه نظر فوق ارزیابی می شود (عرب خدری و زرگر، ۱۳۷۴).

برآورد رسوبدهی در آبخیزهای دارای ایستگاه رسوب سنجی به سادگی امکان پذیر است و از طرف دیگر مطالعات انجام شده حاکی از آن است که با افزایش بده آب میزان انتقال رسوب با شدت بیشتری فزونی می یابد به طوریکه بررسی آمار رسوب با طول دوره آماری ۳۳ ساله رودخانه زهره با مساحت ۱۲۶۰۰ کیلومتر مربع در ایستگاه آبسنجی ده ملا نشان داد که با ازدیاد دبی جریان به میزان ۵۰ برابر، غلظت مواد معلق آن گاهی تا ۱۰۰ برابر افزایش می یابد (شفیعی علویجه، ۱۳۷۲). به این ترتیب انتظار می رود که میزان رسوبدهی در سال های بسیار مرطوب که چندین سیل شدید رخ می دهد، چند برابر کمتر از مقدار تولید رسوب در سال های معمولی باشد.

همچنین به گزارش گرگوری و والینگ (۱۹۷۳) در رودخانه مندیاف^۱ بر روی نه سال آمار رسوب در ۸ سال اول میزان رسوب حدود ۲۵۸۳۰۰۰ تن در سال و با احتساب سال نهم ۳۵۶۴۰۰۰ تن در سال یعنی ۱/۴ برابر آن بوده است (عرب خدری و زرگر، ۱۳۷۴). از این رو می توان گفت که ترسیم منحنی سنجه رسوب معتبر برای برآورد میانگین سالانه رسوبدهی تنها با آمار طولانی مدت مشتمل بر دوره های ترسالی، معمولی و خشکسالی مقدور است. به این ترتیب تخمین میزان رسوب نه تنها در آبخیزهای فاقد ایستگاه رسوب سنجی بلکه در حوضه های دارای داده های رسوبدهی کوتاه مدت و ناکافی نیز روش های خاصی را می طلبد. تحقیقات متعددی در زمینه تجزیه و تحلیل منطقه ای رسوب انجام شده است که از آن جمله می توان به شاه قاسمی (۱۹۸۰) به نقل از بارنز و مانر (۱۹۵۳) در رابطه با ارائه معادله ای در چمنزارهای ایالت تگزاس با استفاده از متغیرهای مستقل فرسایش ورقه ای و مساحت حوضه اشاره کرد. برانسون و اون (۱۹۷۰) ارائه معادله ای در حوضه های نزدیک گرند گونکشن^۲ کلرادو با استفاده از متغیرهای هندسی حوضه و متغیرهای هیدرولوژی پرداختند. فلاکسمن (۱۹۷۴) با استفاده از چهار متغیر مستقل نسبت بارش به دما، شیب وزنی حوضه و دو ویژگی مربوط به بافت و ساختمان خاک مدلی را ارائه داد. همچنین، پندی و بولتون (۱۹۷۶) به ارائه دو معادله جداگانه برای پهنه وسیعی از ایالات متحده آمریکا پرداختند. فرارسی (۱۹۹۰) در رابطه با ارائه مدلی برای ۲۰ حوضه آبخیز واقع در شمال ایتالیا از حجم بارش متوسط سالانه، مساحت حوضه و عامل مربوط به حساسیت به فرسایش و حمل رسوب استفاده کرد. تاکاهاشی و ناکاگارا (۱۹۸۹) معادله ای را با استفاده از داده های ۵۱ سد مخزنی واقع در ژاپن با استفاده از متغیرهای مستقل ضریب فرساینده گی باران، شرایط توپوگرافی حوضه از جمله ارتفاع دورترین نقطه حوضه نسبت به نقطه اندازه گیری، شیب و مساحت حوضه، ارائه

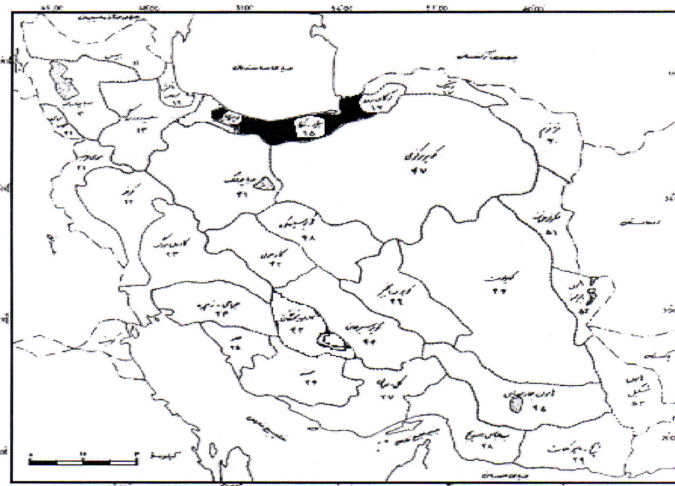
1- Mandeoff

2- Grand Gunction

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه: حوزه‌های آبخیز ساحلی دریای خزر شامل رودخانه‌های لاهیجان - نور، هراز - نکاء و گرگانرود به ترتیب با کدهای ۱۴، ۱۵ و ۱۶ برای انجام این طرح پژوهشی انتخاب شدند (شکل ۱) (وفاخواه و مهدوی، ۱۳۷۹). رودخانه‌های لاهیجان - نور و هراز - نکاء در طول جغرافیایی ۴۸° و ۴۹° تا ۴۱° و ۵۴° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶° و ۳۵° تا ۱۹° و ۳۷° شمالی واقع شده‌اند. وسعت حوزه‌های مورد تحقیق ۲۸۴۶۳ کیلومتر مربع برآورد شد. اقلیم حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه براساس روش آمبرژه نیمه مرطوب معتدل و براساس روش گوسن مدیترانه‌ای گرم می‌باشد و حوزه آبخیز گرگانرود در بخش جنوب شرقی دریای خزر قرار داشته است. حوزه مورد مطالعه در طول جغرافیایی ۰۲° و ۵۴° تا ۱۶° و ۵۶° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴° و ۳۶° تا ۴۷° و ۳۷° شمالی واقع شده است و وسعت آن ۱۳۱۷۰ کیلومتر مربع می‌باشد. اقلیم حوزه آبخیز مذکور براساس روش آمبرژه نیمه خشک معتدل تا نیمه مرطوب و براساس روش گوسن مدیترانه‌ای گرم می‌باشد (معاونت بهره‌برداری و مدیریت منابع آب، ۱۳۶۹).

دادند. حکیم خانی (۱۳۷۷) به نقل از چاکابوری (۱۹۹۲) با استفاده از داده‌های ۳۰ مخزن کوچک و متوسط در بخش مرکزی هندوستان یک مدل رگرسیونی ارائه داد و متغیرهای بارش سالانه، سطح حوضه، تراکم زهکش، شیب متوسط وزنی حوضه و فاکتور پوشش گیاهی در آن به کار برد. بری و گزی (۱۹۹۳) با استفاده از متغیرهای هیدرولوژیکی، هندسی و اقلیمی در چهار حوضه فاقد آمار اتلانتيک کانادا، مدل ناحیه‌ای رسوب را ارائه داد. همچنین، در ایران نیز عرب خدري و زرگر (۱۳۷۴)، مهرسرشت (۱۳۷۶)، بدیعی (۱۳۷۷)، حکیم‌خانی (۱۳۷۷) و قدیمی عروس‌محلّه و امین سبحانی (۱۳۷۸) معادلاتی را برای البرز شمالی، رودخانه کرخه، رودخانه اترک، حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و حوزه آبخیز دریاچه نمک ارائه نموده‌اند. در این مقاله ضمن تعیین مهمترین عوامل مؤثر بر رسوبزایی و تعیین مناطق همگن با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره در بخشی از حوزه‌های آبخیز ساحلی دریای خزر، مدل‌های مناسبی برای محاسبه رسوب معلق متوسط سالانه در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران.

انتخاب ایستگاه‌های مناسب: برای انتخاب ایستگاه‌های

رسوب‌سنجی مناسب آمار دبی رسوب معلق کلیه ایستگاه‌های رسوب‌سنجی منطقه مورد تحقیق از سازمان تحقیقات منابع آب (تماب) وابسته به وزارت نیرو تهیه شد. سپس طول دوره آماری دبی رسوب معلق و تعداد نمونه‌های برداشت شده در مواقع سیلابی کلیه ایستگاه‌های رسوب‌سنجی استخراج و برای انتخاب ایستگاه‌های مناسب موارد زیر در نظر گرفته شد:

۱- ایستگاه مورد نظر در مناطق دشتی واقع نشده باشد و در کوهستان و یا دارای فاصله کمی از کوه باشد.

۲- در بالادست ایستگاه مورد نظر اراضی زراعی کمتری قرار داشته باشد.

۳- بند انحرافی و سد در بالادست ایستگاه وجود نداشته باشد.

۴- دارای طول دوره آماری مناسب (بیشتر از ۲۰ سال) و آمار دقیق و صحیح باشد و دارای جدیدترین داده‌ها در سال‌های اخیر باشد تا آخرین تغییرات حاضر در آنالیز در نظر گرفته شود.

محاسبه متوسط رسوب معلق سالیانه: به‌منظور محاسبه

رسوب معلق سالانه از دو روش یک خط رگرسیون و خط رگرسیون S شکل استفاده شد، به‌طوری که ابتدا منحنی سنجه رسوب در مقیاس لگاریتمی ترسیم شد، سپس از دو روش برای به دست آوردن معادله منحنی سنجه رسوب استفاده شد. در روش اول برای کلیه داده‌ها یک خط رگرسیون عبور داده شد و بر این اساس مدل همبستگی توانی که معادله آن به صورت $Q_s = aQ_{11}^b$ است، به دست آمد. در روش دوم با توجه به پراکندگی اعداد خط رگرسیون S مانند (سه قسمتی) تهیه، و در هر قسمت بهترین خط رگرسیون عبور داده شد که بتواند کلیه نقاط را در برگیرد، سپس معادله یا معادلات در این روش به دست آمد. آنگاه با استفاده از نرم‌افزار رسوب^۱ و ضرایب معادلات به دست آمده و همچنین داده‌های دبی

روزانه، میزان رسوب معلق سالیانه برای هر یک از زیر حوضه‌های منتخب با استفاده از دو روش برآورد گردید.

تعیین عوامل مؤثر در رسوب معلق سالانه: در هر یک از حوضه‌های منتخب چهارده عامل مؤثر در رسوب معلق سالانه شامل: مساحت، محیط، ارتفاع متوسط وزنی حوضه، شیب متوسط وزنی حوضه، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی، تراکم زهکش، قطر دایره همسطح، ضریب شکل هورتن، ضریب گراولیوس و زمان تمرکز با روش کریچ با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و روش‌های متداول ذکر شده در منابع (مهدوی، ۱۳۷۸)، متوسط بارندگی سالیانه، دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت دو ساله (متوسط دبی حداکثر لحظه‌ای) و دبی حداکثر روزانه با دوره برگشت دو ساله (متوسط دبی حداکثر روزانه) تعیین و محاسبه شدند.

روش‌های آماری مورد استفاده: در این تحقیق از روش‌های آماری چند متغیره (تجزیه و تحلیل عاملی، خوشه‌ای و تفکیکی) و تجزیه و تحلیل رگرسیون گام به گام با استفاده از نرم‌افزارهای Spss و Statistica استفاده شد. با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی تعداد زیادی از متغیرها را می‌توان به چند عامل کاهش داد و به این طریق خلاصه‌ای از داده‌های اصلی را تهیه نمود (مقدم و همکاران، ۱۳۷۳). هر چه مقدار همبستگی داخلی بین متغیرها بیشتر باشد، تعداد عامل‌های پدید آمده کمتر خواهد بود. برای انجام تجزیه و تحلیل عاملی داده‌ها در دو حالت معمولی و لگاریتمی استاندارد شدن سپس ماتریس وزنی عاملی با استفاده از دو روش درست‌نمایی ماکزیمم و تحلیل عامل اصلی در دو حالت با دوران با روش‌های واریماکس، کواریماکس و اکواماکس و بدون دوران صورت گرفت. برای انتخاب تعداد عامل‌ها از یک قاعده سرانگشتی که در اغلب نرم‌افزارهای آماری کاربرد دارد، استفاده گردید، به این صورت که در مرحله اول تعداد عامل‌ها با توجه به میزان ریشه پنهان ماتریس همبستگی که از یک بزرگ‌ترند انتخاب شد و سپس با

استفاده میزان درصد واریانس آزمون گردید (ارقامی و بزرگ‌نیا، ۱۳۷۰).

دیگر روش آماری تجزیه و تحلیل خوشه‌ای بود، که برای تشخیص مناطق همگن هیدرولوژیکی از خصوصیات حوضه استفاده می‌شود، به طوری که با مشخص بودن نمونه‌ای از n فرد و اندازه‌گیری p متغیر بر روی هر فرد، می‌توان افراد را در کلاس‌ها گروه‌بندی نمود به صورتی که افراد مشابه در یک کلاس قرار می‌گیرند (مقدم و همکاران، ۱۳۷۳). از مسائل مهم خوشه‌بندی انتخاب خصوصیات به عنوان معیار تمایز است. این خصوصیات متمایز کننده در تشکیل کلاس‌ها می‌بایست دارای بیشترین اطلاعات ممکن باشند، به عبارت دیگر، باید به گونه‌ای باشد که خواص فرعی و متعدد دیگری از آنها ناشی گردد. بنابراین آن خصوصیات که با دیگر خصوصیات وابسته هستند نباید توأم با عنوان خصوصیات متمایز کننده مورد استفاده قرار گیرند زیرا خصوصیات وابسته ممکن است موجب یک تأکید دو گانه روی یک خصوصیت معین گردند و تأثیر سوء بر روی رتبه‌بندی گذارند (فریفته، ۱۳۷۰). برای انجام آنالیز خوشه‌ای به ترتیب مراحل استاندارد کردن داده‌ها، تعیین فواصل بین افراد جامعه و تعیین گروه‌ها انجام شد.

یک روش آماری دیگر روش تجزیه و تحلیل تفکیکی (چند گانه متمایز کننده) می‌باشد. نقطه شروع تجزیه و تحلیل چند گانه متمایز کننده طبقه‌بندی انجام شده حوضه‌ها به وسیله تجزیه و تحلیل خوشه‌ای است. آزمون آماری این روش آزمون ویلکس لامبادا^۱ می‌باشد. بدین منظور با استفاده از این روش، مجزا بودن گروه‌ها از هم مورد آزمون قرار می‌گیرد و نسبت F حاصل از این روش با مقادیر F جدول مقایسه می‌شود. چنانچه F حاصل از این روش بزرگ‌تر از F جدول باشد در این صورت گروه‌ها کاملاً از هم مجزا بوده و تجزیه و تحلیل ادامه می‌یابد در غیر این صورت بایستی در طبقه‌بندی انجام شده به وسیله تجزیه و تحلیل خوشه‌ای تغییراتی داد

(فریفته، ۱۳۷۰). در تجزیه چندگانه متمایز کننده نیازی به استانداردها کردن داده‌ها وجود ندارد (مقدم و همکاران، ۱۳۷۳).

روش آماری دیگر در این تحقیق روش رگرسیون گام به گام بود که عموماً برای به دست آوردن روابط بین پارامترهای هیدرولوژیکی (در اینجا رسوب) و خصوصیات حوضه استفاده می‌شود. برای انجام رگرسیون گام به گام از سه روش پیشرو، پسر و ترکیب دو روش در دو حالت با داده‌های معمولی و لگاریتمی و برای آزمون مدل‌ها از روش تجزیه واریانس استفاده شد. به منظور بررسی صحت و اعتبار مدل‌ها^۲ و در هر منطقه همگن از بین حوضه‌های دارای ایستگاه رسوب‌سنجی، حوضه‌های دارای آمار صحیح و طولانی مدت انتخاب شدند سپس با استفاده از آماره درصد خطای نسبی^۳ (رابطه ۱) (گرین و استفنسون، ۱۹۸۶) صحت و اعتبار مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. پذیرفتن مدل مشروط بر این است که درصد خطای نسبی کمتر از ۴۰ درصد باشد (داس^۴، ۲۰۰۰).

$$RE = \left| \frac{Y_o - Y_e}{Y_o} \right| \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه: RE درصد خطای نسبی، Y_o مقدار مشاهده ای متغیر وابسته و Y_e مقدار تخمینی متغیر وابسته می‌باشند.

نتایج

با در نظر گرفتن موارد اشاره شده در انتخاب ایستگاه‌ها، ۲۴ ایستگاه رسوب‌سنجی انتخاب شد. در این مرحله از آنجا که طول دوره آماری دبی روزانه ایستگاه سفید چاه تنها چهار سال بود و این طول دوره آماری ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها را پوشش نمی‌دهد در این مرحله حذف شد و برای انجام بقیه تحقیق از ۲۳ ایستگاه رسوب‌سنجی استفاده گردید (شکل ۲) و رسوب معلق متوسط سالانه و ویژه از دو روش یک خطی و روش

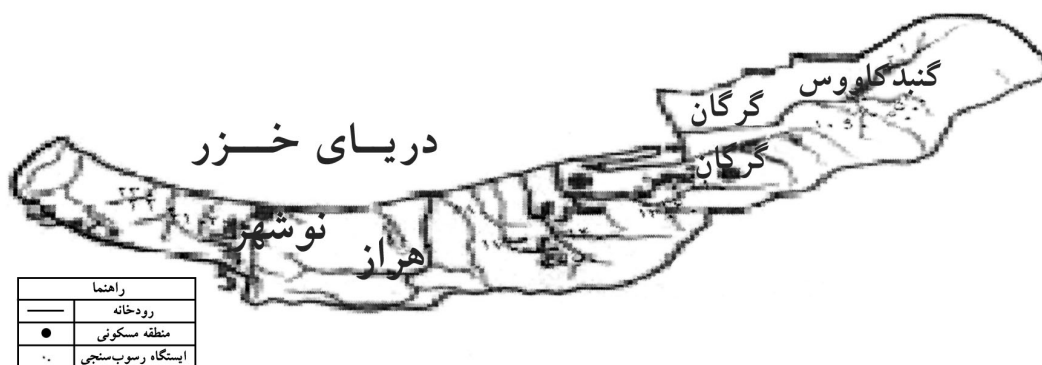
منحنی S شکل محاسبه گردید. سپس با توجه به مساحت بالادست هر یک از ایستگاه‌های منتخب میزان رسوب معلق متوسط و ویژه برای هر یک از ایستگاه‌های منتخب محاسبه شد. در ضمن، یازده پارامتر فیزیوگرافی، یک پارامتر اقلیمی و دو پارامتر هیدرولوژیکی که بر روی رسوب تأثیر دارند، انتخاب و محاسبه شدند.

(توضیح: در این شکل ایستگاه‌های رسوب‌سنجی تنگراه، تمر، گالیکش، لزوره، پس پشته، نوده، ارازکوسه، رامیان، زرینگل، سیاه آب، آبلو، سلیمان تنگه، ریگ چشمه، شیرگاه (طالار)، شیرگاه (کسیلیان)، کیا کلا، قران طالار، بابل، کره سنگ، پل ذغال، هرات بر، درازلات و شلمان به ترتیب با شماره‌های ۱ تا ۲۳ نشان داده شده‌اند.)

برای تجزیه و تحلیل عاملی ۱۴ متغیر اندازه‌گیری شده در ۲۳ حوضه منتخب ساحلی دریای خزر از نرم‌افزار رایانه‌ای Statistica استفاده شد. با مقایسه روش‌های مختلف، روش تحلیل عامل اصلی با دوران با داده‌های لگاریتمی استاندارد شده انتخاب شد. لازم به ذکر است که دوران با روش‌های مختلف نتایج مشابهی را در برداشت. با استفاده از این روش مشخص شد که مشاهدات منفرد را می‌توان به کمک اختصاص دادن اطلاعات حول چهار محور به‌طور وسیعی خلاصه نمود (جدول ۱). تمام این محورها ۸۰/۵۴ درصد از تغییر در داده‌های اصلی را تعیین می‌کنند، مشارکت جداگانه هر عامل چرخیده شده در

جدول ۱ فهرست شده است که عامل یک، ۳۶/۴۶ درصد از تغییر در داده‌ها را توضیح می‌دهد.

جدول ۲ نشان می‌دهد که عامل یک به‌طور مثبت با مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی، قطر دایره همسطح و زمان تمرکز و به‌طور منفی با شیب آبراهه اصلی ارتباط دارد. فاکتور یک اساساً شامل متغیرهایی است که با تغییر مساحت رابطه دارد که به آن عامل تغییر مساحت می‌گویند و از آنجایی که در عامل یک قطر دایره همسطح وزن بیشتری نسبت به سایر متغیرها به خود اختصاص داده است می‌تواند توضیح دهنده بقیه متغیرهای در ارتباط با آن فاکتور باشد و به همین علت انتخاب می‌گردد. از طرف دیگر، عامل دو در رابطه با متغیرهای دبی بوده و از آنجایی که دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت دو ساله وزن بیشتری نسبت به سایر متغیرها دارد، انتخاب می‌شود. فاکتور سه و چهار به ترتیب با متغیرهای شیب متوسط حوضه و ضریب گراولوس در ارتباط می‌باشد و به این ترتیب تجزیه و تحلیل عاملی بر اهمیت نسبی متغیرها در تعیین رفتار داده‌ها دلالت دارد. متغیرهای تغییر مساحت با قطر دایره همسطح از مهمترین آنها می‌باشد اما اضافه شدن متغیرهای مربوط به شیب متوسط حوضه و ضریب گراولوس حوضه دارای اهمیت است زیرا سطح توضیح را تقریباً تا ۸۰/۵۴ درصد افزایش می‌دهد.



شکل ۲- محل استقرار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی منتخب در منطقه مورد مطالعه.

جدول ۱- مقادیر ویژه اولین چهار ریشه پنهان ماتریس همبستگی.

عامل	۱	۲	۳	۴
ریشه پنهان ماتریس همبستگی	۵/۱	۲/۵۴	۲/۱۳	۱/۵
درصد توضیح کل	۳۶/۴۶	۱۸/۱۱	۱۵/۲	۱۰/۷۶
درصد تجمعی توضیح کل	۳۶/۴۶	۵۴/۵۸	۶۹/۷۲	۸۰/۵۴

جدول ۲- ماتریس وزنی عاملی دوران یافته برای داده‌های لگاریتمی استاندارد شده.

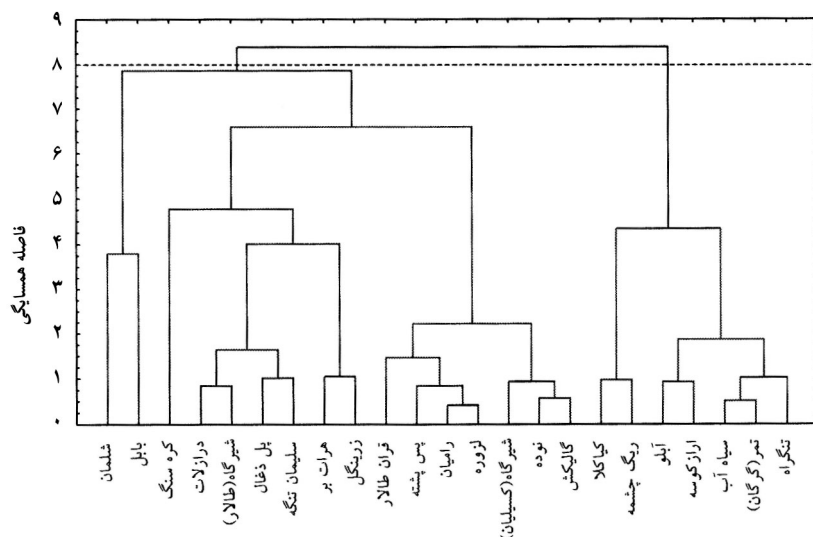
متغیر	عامل یک	عامل دو	عامل سه	عامل چهار
مساحت	*۰/۹۵	۰/۱۴	۰/۱۳	۲۵
محیط	*۰/۷۵	۰/۰۶	۰/۳۷	-۰/۳۴
ارتفاع متوسط حوضه	۰/۲۷	-۰/۲۷	*۰/۸۵	-۰/۱۳
شیب متوسط حوضه	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۸۶	۰/۰۳
طول آبراهه اصلی	۰/۸۴	۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۰۳
شیب آبراهه اصلی	*-۰/۷۶	۰/۲۵	۰/۴۹	۰/۰۵
تراکم زهکش	۰/۳۴	۰/۱۵	۰/۵۷	۰/۴۲
قطر دایره همسطح	*۰/۹۶	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۰۲
زمان تمرکز	*۰/۷۴	۰/۱۵	-۰/۲۳	۰/۱۱
ضریب شکل هورتن	-۰/۲۱	-۰/۱	۰/۱۶	۰/۷۳
ضریب گراولوس	-۰/۴۱	۰/۲	۰/۲۵	*-۰/۷۳
بارندگی متوسط سالانه	-۰/۵	۰/۵۴	۰/۰۴	-۰/۵۱
دبی حداکثر لحظه ای با دوره برگشت دوساله	-۰/۵	*۰/۹۵	-۰/۴	-۰/۱۹
دبی حداکثر روزانه با دوره برگشت دوساله	۰/۴۶	*۰/۷۷	۰/۲	۰/۲

* اعداد بزرگتر از ۰/۷

منطقه همگن یک شامل حوضه‌های با مساحت زیاد، دبی حداکثر لحظه‌ای کم و شیب متوسط حوضه کم و منطقه همگن دو شامل حوضه‌های با مساحت کم، دبی حداکثر لحظه‌ای زیاد و شیب متوسط حوضه زیاد می‌باشد. تجزیه و تحلیل چندگانه متمایز کننده حوضه‌های منتخب حوزه آبخیز ساحلی دریای خزر وجود تفاوت معنی دار را در سطح ۹۹ درصد بین دو گروه همگن نشان داد (جدول ۳).

تجزیه و تحلیل رگرسیون گام به گام به منظور ارائه مدل ریاضی برای دو منطقه همگن در حوزه آبخیز ساحلی دریای خزر بود تا با استفاده از متغیرهای انتخاب شده توسط تجزیه و تحلیل عاملی (قطر دایره همسطح،

شکل ۳ دیاگرام چند شاخه‌ای ۲۳ حوزه آبخیز را با استفاده از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای براساس فاکتورهای انتخاب شده به وسیله تجزیه و تحلیل عاملی نشان می‌دهد. برای ترسیم این دیاگرام از روش‌های مختلفی استفاده شد که روش واردز^۱ نتیجه بهتری را ارائه نمود. با توجه به شکل، حوضه‌های تنگراه، تمر (گرگان)، سیاه آب، ارازکوسه، آبلو، ریگ چشمه و کیاکلا در منطقه همگن یک و حوضه‌های گالیکش، نوده، شیرگاه (کسیلیان)، لزوره، رامیان، پس پشته، قران طالار، زرینگل، هرات بر، سلیمان تنگه پل ذغال، شیرگاه (طالار)، درازلات، کره سنگ، بابل و شلمان در منطقه همگن دو قرار می‌گیرند.



شکل ۳- دیاگرام چند شاخه‌ای برای ۲۳ حوضه منتخب.

جدول ۳- آنالیز تابع متمایز کننده برای حوضه‌های منتخب منطقه مورد مطالعه.

تابع متمایز کننده	ریشه پنهان ماتریس همبستگی	همبستگی کانونیک	ویلکس لامبادا	کی دو	درجه آزادی	سطح اعتماد
۰	۱/۶۶	۰/۷۹	۰/۳۸	۱۸/۵۶	۴	۰/۰۰۰۹۶۱

ورن، کردخیل و رزن و در منطقه همگن دو ایستگاه‌های قلی‌تپه، نهارخوران، پل اردوگاه، تنگه لایبج، کورکورسر، سرداب رود، گانکسر، هرتبر و دینارسرا در نظر گرفته شدند. بعد از استخراج متغیرهای مدل‌ها، نتایج کاربرد مدل‌ها نشان داد که درصد خطای نسبی به‌طور متوسط برای مدل‌های رسوب معلق متوسط سالانه و ویژه با استفاده از روش رگرسیون یک خطی در منطقه همگن یک به ترتیب ۴۹ و ۴۱ درصد و در منطقه همگن دو ۵۴ درصد و برای مدل‌های روش منحنی S شکل برای منطقه همگن یک به ترتیب ۳۲ و ۵۸ درصد و برای منطقه همگن دو به ترتیب ۳۸ و ۵۰ درصد به‌دست آمد.

دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت دو ساله، شیب متوسط حوضه و ضرایب گراولیوس (امکان ورود به مدل حاصل شود. نتایج استفاده از این روش در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده است. آزمون تجزیه واریانس نشان داد که به جزء مدل رسوب معلق متوسط ویژه مربوط به منطقه همگن یک بقیه مدل‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشند. جدول‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهند که پارامترهای دبی حداکثر لحظه‌ای، قطر دایره همسطح و ضریب گراولیوس اهمیت بیشتری نسبت به بقیه متغیرها دارند. به‌منظور بررسی اعتبار مدل‌ها در منطقه همگن یک ایستگاه‌های

جدول ۴- مدل‌های رسوب معلق متوسط سالانه و ویژه با استفاده از روش رگرسیون یک خطی.

منطقه همگن	مدل	ضریب تعیین	انحراف از معیار
۱	$\log QS_1 = 34.18 - 6.28 \log Sw + 0.017 \log Qp - 13.81 \log Ds - 8.16 \log CC$	۰/۹۷	۰/۲۵
	$\log QS_2 = 19.34 - 4.37 \log Sw + 0.012 \log Qp - 7.93 \log Ds - 4.16 \log CC$	۰/۹۲	۰/۲۴
۲	$\log QS_1 = 2.16 + 1.62 \log Ds$	۰/۴۳	۰/۴
	مدلی ارائه نشد	۰	-

جدول ۵- مدل‌های رسوب معلق متوسط سالانه و ویژه با استفاده از روش منحنی S شکل.

منطقه همگن	مدل	ضریب تعیین	انحراف از معیار
۱	$\log QS_1 = 21.96 + 0.011 \log QP - 10.08 \log DS - 1.43 \log CC$	۰/۹۸	۰/۰۹۲
	$\log QS_2 = 22.29 + 0.011 \log QP - 12.21 \log DS - 1.51 \log CC$	۰/۹۸	۰/۰۷۹
۲	$\log QS_1 = 4.74 + 1.36 \log DS - 0.63 \log QP$	۰/۴۲	۰/۳۶
	$\log QS_2 = 4.16 - 0.768 \log QP$	۰/۳۶	۰/۳۶

در این جدول‌ها، QS_1 ، QS_2 = رسوب معلق متوسط سالانه و ویژه بر حسب تن در سال و تن در کیلومتر مربع در سال، Sw = شیب متوسط حوضه (درصد)، Qp = دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت دو ساله (متر مکعب بر ثانیه)، DS = قطر دایره همسطح (کیلومتر) و CC = ضریب گراولیوس می‌باشد.

بحث و نتیجه گیری

این مطالعه نشان داد که متغیرهای ضریب گراولیوس، قطر دایره همسطح، شیب متوسط حوضه و دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت دو ساله در منطقه همگن یک و در منطقه همگن دو متغیرهای قطر دایره همسطح و دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت دو ساله نقش تعیین‌کننده‌ای در رسوبدهی معلق سالیانه و ویژه دارند. مشارکت عامل دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت دو ساله در مدل‌ها نشانه اثر قاطع جریان‌های سیلابی در انتقال رسوب حوضه‌هاست. این نتیجه با بررسی انجام شده توسط شفیع‌علویجه (۱۳۷۲) در مورد رسوب رودخانه زهره همخوانی دارد به طوری که این مطالعه نشان داد بیش از ۷۵ درصد کل مواد معلق، فقط در ۵ درصد زمان (که بر دوره سیلابی منطبق می‌باشد) عبور کرده است.

مقایسه عوامل مؤثر در رسوبدهی نشان‌دهنده تشابهات و تفاوت‌هایی است. در رابطه ارائه شده به وسیله

مهرسرشت (۱۳۷۶) متغیر ضریب گراولیوس وارد مدل شده است که در این مطالعه برای منطقه همگن یک این پارامتر دیده می‌شود. در روابط ارائه شده به وسیله کوهلر (شاه قاسمی، ۱۹۸۰)، فلاکسمن، فورنیر (مورگان، ۱۹۸۸) و چاکابوریتی متغیر شیب متوسط حوضه با اهمیت تلقی شده است که در این تحقیق نیز در هر دو منطقه همگن این پارامتر وارد مدل شده است.

با توجه به متوسط درصد خطای نسبی کاربرد مدل‌ها، مدل‌های رسوب معلق متوسط سالانه با استفاده از روش منحنی S شکل در حوضه‌های فاقد آمار پیشنهاد می‌گردد. مزیت ویژه روابط ارائه شده نسبت به سایر روابط از نقطه نظر سهولت دسترسی به داده‌های لازم برای استفاده در مدل رگرسیونی است به طوری که ضریب گراولیوس و قطر دایره همسطح به سهولت از نقشه‌های توپوگرافی اندازه‌گیری می‌شوند و دبی حداکثر لحظه‌ای از طریق روابط تجربی و تحقیقات صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه قابل محاسبه می‌باشد.

منابع

۱. بدیعی، ح. ۱۳۷۷. بررسی و ارائه مدلی جهت بر آورد فرسایش و رسوب با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری در حوزه آبخیز اترک. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۲۹ص.
۲. حکیم خانی، ش. ۱۳۷۷. ارائه مدل رگرسیونی چند متغیره براساس عوامل مؤثر بر رسوبدهی معلق حوضه‌های آبخیز دریاچه ارومیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۱۱ص.

۳. فریفته، ج. ۱۳۷۰. تحلیل‌های کمی در ژئو مورفولوژی. (ترجمه). دانشگاه تهران: تهران، ۳۶۸ ص.
۴. ارفاقی، ن. و ا. بزرگ نیا. ۱۳۷۰. آمار چند متغیره کاربردی. (ترجمه)، انتشارات آستان قدس رضوی: مشهد، ۴۲۰ ص.
۵. شفیع‌علویجه، ر. ۱۳۷۲. مواد جامد (رسوب) رودخانه‌ها. بولتن وضعیت منابع آب کشور (سال آبی ۷۱-۷۰)، سازمان تحقیقات منابع آب (تماب)، ص ۳-۴ تا ۳-۵۱.
۶. عرب خدری، م. و زرگر، الف. ۱۳۷۴. برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل‌های رگرسیونی. مجله پژوهش و سازندگی، ۲۷: ۲۹-۲۲.
۷. قدیمی عروس محله، ف. و امین سبحانی، الف. ۱۳۷۸. تجزیه و تحلیل ناحیه‌ای رسوب معلق در حوضه آبریز دریاچه نمک. اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ۲۲-۱۹ مهرماه، دانشگاه تربیت معلم، تهران.
۸. مقدم، م.، محمدی شوطی، الف. و آقائی سربرزه، م. ۱۳۷۳. آشنایی با روش‌های آماری چند متغیره، (ترجمه)، انتشارات پیشتاز علم: تهران، ۲۰۸ ص.
۹. مهدوی، م. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم). چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۱ ص.
۱۰. مهرسرت، ب. ۱۳۷۶. تحلیل منطقه‌ای بار معلق در سرشاخه‌های رودخانه کرخه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ۹۳ ص.
۱۱. معاونت بهره‌برداری و مدیریت منابع آب. ۱۳۶۹. اطلس منابع آب ایران (جلد دوم). وزارت نیرو: تهران، ۱۹۷ ص.
۱۲. نجفی نژاد، ع. ۱۳۷۳. بررسی کارایی مدل تجربی E. P.M. در بر آورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سدلتیان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۳۱ ص.
۱۳. وفاخواه، م. و مهدوی، م. ۱۳۷۹. تجزیه و تحلیل ناحیه‌ای رسوب در منطقه شمال (مازندران و گرگان). طرح پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، ۷۶ ص.
14. Bary, O.I., and Xie, H. 1993. A regression method for estimating suspended sediment yields for ungauged watersheds in Atlantic Canada, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20(1): 82-87.
15. Branson, F.A., and Owen, J.B. 1970. Plant cover, runoff and sediment yield relationships on Moncos shale in western Colorado, *Water Resources Research*. 6 (3): 783-790.
16. Das, G. 2000. *Hydrology and Soil Conservation Engineering*, Prentice-Hall of India Private Limited Pub., 489 p.
17. Ferraresi, M. 1990. The regionalization of fluvial in Emilia-Romagna northern Italy, *Regionalization in Hydrology*, Proc. the ljubljana symposium, (Apr 1990), IAHS publish, No.191: 253-260.
18. Flaxman, E.M. 1974. Predicting sediment yield in western United States, *Journal of Hydraulic Division*, 48(12): 2073-2085.
19. Green I.R.A., and Stephenson, D. 1986. Criteria for Comparison of Single Event Models, *Hydrological Sciences Journal*, 31:395-411.
20. Jansenog, M.L., and Painter, R.B. 1974. Prediction sediment yield from climate and topography, *Journal of Hydrology*, 21: 371-380.
21. Morgan, R.P.C. 1988. *Soil erosion and conservation*, Longman scientific, Technical, 298p.
22. Pendi, F.E., and Bolton, G.C. 1976. Sediment yield runoff drainage area relationships in the United States, *Journal of Soil and Water Conservation*, 31(6): 264-266.
23. Shahghasemi, E. 1980. Simulation modeling of erosion processes on small agricultural watersheds, An abstracted of dissertation submitted to the gradual faculty in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy, Iowa State University, Ames. 2758p.
24. Takahshi, I., and Nakagara, H. 1989. A formula predicting sediment yield from the mount ion basins, *Proceedings of fourth international symposium on river sedimentation*, 5-6 June, China Ocean Press, pp: 208-216.

Regional analysis of sediment yield in the part of Caspian sea coastal basins

M. Vafakhah

Member of Scientific Board, Dept. of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Abstract

Regional analysis is one of the reliable methods for estimating of sediment in ungauged watershed. In this study, all stations which are existing in given basin were considered with attention to long period and minimum human activities, 23 sediment measurement stations were selected and sediment rating curve was estimated by using two methods of S shaped curve and regression for each station. Average annual and specific sediment was estimated by using daily discharge, sediment-rating curve and computer program Roscoob 1 & 2. Too 11, 1 and 2 physiographical, climatical and hydrological parameters were determined for the selected watersheds. Independent variables were selected by using factor analysis. By using factor analysis, Gravialus coefficient, diameter of circle with the same area of the watershed, average slope and max instantaneous discharge with return periods of 2 years were selected which clarified 81 percent variance. Cluster analysis method was used for determination of homogenous area. Two areas were found as homogenous areas, which were found to be completely distinguishable from each other with the help of discrimination analysis method. The average annual and specific sediment were determined by using both the methods of regression and S-shaped curve and four factors, Gravilues coefficient, diameter of circle with the same area of the watershed, average slope watershed and max instantaneous discharge with return period of two years were applied for modeling through stepwise regressions and the regression coefficient was found to be very high in the level of 5 percent. Finally, validation models were considered. According to average annual sediment models by using S shape curve in every two homogenous area were selected with having 32 and 38 mean relative error percent as final models to study area and similar area.

Keywords: Sediment; Regional Analysis; Multivariat Statistics; Caspian Sea Coastal Basins; Iran