دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ارزیابی آزمون گاما و منحنی‌های اندرو به‌منظور تخمین مقدار رسوب معلق حوزه‌های آبخیز جنوب و جنوب شرقی دریای خزر

حسین خیرفام[۱] و مهدی وفاخواه[۲]

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسوول: vafakhah@modares.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲۳

چکیده

تخمین رسوب خروجی از حوزه‌های آبخیز از اهمیت بالایی در مدیریت آبخیزها برخوردار می‌باشد. گستردگی حوزه‌ها و کمبود ایستگاه‌های سنجش رسوب باعث شده تا به‌منظور تخمین رسوب از روش‌های متفاوتی استفاده نمایند. در این تحقیق ۴۲ ایستگاه رسوب‌سنجی جنوب و جنوب شرقی دریای خزر با دوره‌های آماری بیش از ۲۰ سال انتخاب گردید. سپس با ترسیم منحنی سنجه رسوب برای ایستگاه مذکور با استفاده از داده‌های رسوب و دبی اندازه‌گیری شده، مقدار رسوب معلق روزانه با استفاده از دبی روزانه محاسبه، و مقدار رسوب متوسط سالانه محاسبه شد. با استفاده از آزمون گاما، ۱۴ متغیر موثر بر تولید رسوب به ۵ متغیر اصلی کاهش داده شد و ایستگاه‌های مذکور با استفاده از منحنی‌های اندرو در ۴ گروه همگن قرار گرفتند. برای هر گروه همگن و برای کل ایستگاه‌ها با ۵ عامل اصلی انتخاب شده، مدل رگرسیونی برای تخمین میزان متوسط رسوب معلق سالانه تهیه شد و از نمایه‌های آماری RE، RBIAS و RRMSE برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که برای گروه همگن یک، مدلی ارائه نشد. مدل‌های گروه‌های همگن ۲ تا ۴ دارای دقت مناسبی بوده و مدل گروه ۴ با مقادیر RE، RBIAS و RRMSE به‌ترتیب ۲۹، ۱۲ و ۳۵ درصد برای مرحله‌ی واسنجی ۱۹، ۱۲ و ۲۵ درصد برای مرحله‌ی اعتبارسنجی دارای بهترین عملکرد است و مدل واحد برای تمام ایستگاه‌ها خطای بالایی دارد. همچنین دبی اوج با دوره بازگشت دو ساله بیش‌ترین تاثیر را در میزان متوسط رسوب معلق سالانه دارد.

واژه‌های کلیدی: دریای خزر، رسوب معلق، منحنی‌های اندرو، مدل رگرسیونی، تحلیل منطقه‌ای

مقدمه

فرسایش خاک و رسوب تولیدی ناشی از آن در علوم حفاظت خاک و مهندسی هیدرولیک با اهمیت می‌باشد (۲)، غلظت رسوب خروجی از آبخیز متاثر از شدت و حجم بارش، توپوگرافی، پوشش سطح زمین، فعالیت‌های مدیریتی، قابلیت جدایش و بافت خاک می‌باشد (۴۰). از طرفی با حمل رسوب توسط رودخانه‌ها مشکلاتی از قبیل پر شدن مخازن سدها، تغییر در مسیر رودخانه‌ها یا کاهش ظرفیت حمل آنها، تخریب تاسیسات مسیر رودخانه‌ها، کاهش کیفیت آب، اختلال در آبزی‌پروری را در پی دارد (۲۴) به این دلیل تخمین صحیح رسوبات خروجی از حوزه‌های آبخیز اهمیت به‌سزایی در مدیریت منابع دارد (۲۰). با وجود اهمیت تخمین صحیح رسوب خروجی آبخیز، به‌دلیل گستردگی و تعداد بالای حوزه‌ها، استقرار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی در تمام حوزه‌ها میسر نمی‌باشد و توجیه اقتصادی ندارد. بنابراین برآورد مقادیر رسوب خروجی از حوزه اغلب با استفاده از روش منحنی سنجه که مبتنی بر رابطه تجربی بین غلظت رسوب و دبی می‌باشد، صورت می‌گیرد (۴۲). تحقیقات نشان می‌دهد مدل‌های مبتنی بر منحنی سنجه برآورد بیشتری از مقدار رسوب دارند (۴) حتی با اصلاح انحراف مدل‌ها نیز برآورد بیشتری خواهد داشت (۴۸). بعضی تحقیقات رابطه ضعیف بین رسوب و دبی خروجی حوزه‌ها را نشان داده‌اند. ترامبلی و همکاران (۴۴) با بررسی رابطه‌ی بین دبی رودخانه و رسوب معلق خروجی ۲۰۸ ایستگاه شمال آمریکا، اعلام نمود که تنها در ۹۸ رودخانه رابطه‌ی مناسبی بین دبی و رسوب وجود دارد که حاکی از عدم جامع بودن روش منحنی سنجه رسوب جهت تخمین میزان رسوب معلق حوزه‌ها می‌باشد. از سوی دیگر تحقیقات متعددی نشان دادند که بین خصوصیات فیزیکی حوزه‌ها از قبیل توپوگرافی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی و همچنین خصوصیات اقلیمی از قبیل شدت و میزان بارندگی با میزان بار معلق (۳۶)، میانگین غلظت رسوب معلق (۲۷) یا حداکثر غلظت رسوب معلق (۴۴) رابطه‌ی معنی‌داری وجود دارد. از طرفی نبود اطلاعات رسوب خروجی به‌دلیل خرابی یا عدم‌وجود ایستگاه رسوب‌سنجی در خروجی حوزه‌ها، مشکلاتی را برای برنامه‌ریزی ایجاد کرده است. برای رفع چنین مشکلاتی استفاده از آمار ایستگاه‌های مشابه از لحاظ جغرافیایی را توصیه کرده‌اند، که البته مجاورت جغرافیایی نیز دلیل بر تشابه بین حوزه‌ها نمی‌تواند باشد. روش‌های متعددی برای تعیین تشابه و همگنی حوزه‌ها ارائه شده‌اند که می‌توان از منحنی‌های

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

اندرو (۲۹)، تحلیل خوشه‌ای (۵۰) و توابع تشخیص کانونیک (۲۳) نام برد. بررسی کارایی مشخصات اقلیمی و خصوصیات فیزیکی حوزه به‌منظور تخمین مقدار رسوب خروجی از حوزه‌های دارای ایستگاه رسوب‌سنجی و تعمیم روابط بدست آمده بین خصوصیات فیزیکی و اقلیمی و مقدار رسوب خروجی از حوزه، به حوزه‌های مشابه و همگن می‌تواند راه‌کاری برای تخمین رسوب در حوزه‌های فاقد ایستگاه باشد (۴۲). از طرفی با تعدد متغیرهای فیزیکی و اقلیمی موثر بر میزان رسوب تولیدی مواجه بوده که امکان برآورد و تعیین تمام متغیرها توجیه علمی و اقتصادی ندارد و یا امکان آن وجود ندارد، بنابراین باید با کاربرد روش‌هایی تعداد فاکتورهای موثر در تولید رسوب را به تعدادی کاهش داد که بیشترین تاثیر را در تولید رسوب دارند (۳۱). از جمله روش‌هایی که برای این امر استفاده می‌گردد می‌توان از روش‌های تحلیل عاملی (۵۱)، رگرسیون گام به گام (۴۶،۳۰) و گاما تست (۲۵،۱۱) نام برد. در نهایت با استفاده از روش‌های کاهش تعداد متغیرهای موثر در تولید رسوب و همچنین با قرار دادن حوزه‌هایی که رفتار مشابهی در تولید رسوب دارند در گروه‌های همگن، می‌توان برای هر گروه مدلی ارائه داده و با انتخاب بهترین مدل، برای حوزه‌های فاقد آمار و ایستگاه رسوب‌سنجی، با استفاده از خصوصیات موثر بر تولید رسوب، میزان رسوب هر حوزه را تخمین زد.

کاراتی و همکاران (۶) بر اساس داده‌های اقلیمی و مورفومتریک و با استفاده از روش‌های توابع تشخیص کانونیک و خوشه‌بندی اقدام به کلاس‌بندی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز رودخانه‌ی کلمبیا بر اساس شناسه‌های محیط زیستی نمودند و اعلام نمودند که نتایج حاصل از دو روش مذکور اختلاف معنی‌داری با هم ندارند و این روش‌ها در انتخاب متغیرهای موثر به‌منظور طبقه‌بندی زیرحوزه‌ها در گروه‌های همگن، به صورت تصادفی عمل کرده و باید کاربرد چنین روش‌هایی با احتیاط صورت گیرد. لین و وانگ (۲۲) به‌منظور بررسی کارایی روش‌های توابع تشخیص کانونیک و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای اقدام به همگن‌بندی حوزه‌های جنوب تایوان به‌منظور تخمین جریان‌های حداقل نمودند که نتایج حاکی از کارایی بالای روش توابع تشخیص کانونیک نسبت به روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای بوده و با ترکیب این دو روش نتایج بهتری حاصل شد. وفاخواه (۴۶) با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی به‌منظور کاهش تعداد متغیرهای تاثیرگذار در تولید رسوب و تجزیه‌ی تحلیل خوشه‌ای برای همگن‌بندی حوزه‌های ساحلی جنوب دریای خزر استفاده کرد که حوزه‌ها در دو گروه همگن طبقه‌بندی شدند. مدل رگرسیونی منحنی S نیز به‌عنوان مدل برتر به‌منظور تخمین رسوب انتخاب گردید. ترامبلی و همکاران (۴۲)، به‌منظور تخمین حداکثر غلظت رسوب سالانه ۷۲ رودخانه در آمریکا و کانادا، با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای که برای پیش‌بینی سیلاب تهیه شده بودند و با قرار دادن حوزه‌ها در گروه‌های همگن، یک رابطه رگرسیونی چندمتغیره بین خصوصیات فیزیکی و اقلیمی حوزه با مقدار غلظت رسوب معلق برقرار نمودند. نتایج نشان داد که تخمین رسوب با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای کارایی بیشتری نسبت به یک مدل رگرسیونی کلی برای تمام حوزه‌ها دارد. درصد رس خاک، درصد پوشش جنگلی و شدت بارندگی را تاثیرگذارترین عوامل در میزان تولید رسوب معلق گزارش نمودند. محققان از تکنیک‌های متفاوتی به‌منظور تعیین موثرترین عوامل فیزیکی، هیدرولوژیکی و اقلیمی موثر در پاسخگویی هیدرولوژیکی حوزه‌های استفاده نموده‌اند. چن و همکاران (۸)، اکسیوگلو و همکاران (۱۵) جهت پیش‌بینی دبی، روبرتسون و همکاران (۳۷) جهت تخمین فاکتورهای کیفیت آب موجود در رسوبات معلق، خان و همکاران (۱۸) به منظور پیش‌بینی دبی، یاداو و همکاران (۴۹) و نوری و همکاران (۳۰) به‌منظور پیش‌بینی جریان‌های رودخانه‌ای از رگرسیون گام به گام، چوی و پارک (۹) به‌منظور تخمین میزان مواد ارگانیکی، اُلدن و پروف (۳۲)، دتنبک و همکاران (۱۲) به‌منظور تخمین جریان‌های رودخانه‌ای و اُوون و همکاران (۳۳) جهت کلاس‌بندی مناطق شهری، از تحلیل عاملی و کورکوران و همکاران (۱۱) برای پیش‌بینی دبی، مقدم‌نیا و همکاران (۲۵) برای پیش‌بینی تبخیر و نوری و همکاران (۳۱) جهت پیش‌بینی جریان‌های ماهانه از گاما تست به‌منظور کاهش تعداد عوامل موثر بر پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوزه استفاده کرده‌اند. از یک سو راوُ و سرینیواس (۳۴)، لین و وانگ (۲۲) از روش خوشه‌بندی جهت بررسی جریان‌های سیلابی و حداقل، کاوادیاس و همکاران (۷)، لین و وانگ (۲۲) از روش توابع تشخیص کانونیک و ناتان و مک ماهون (۲۹)، ناتان (۲۸) و سهیلی و وفاخواه (۴۱) از منحنی‌های اندرو به‌منظور قرار دادن حوزه‌ها از لحاظ پاسخ هیدرولوژیکی در گروه‌های همگن، استفاده نموده و نتایج را قابل قبول اعلام نموده‌اند. تحقیقات صورت گرفته با استفاده از روش‌های مذکور بیشتر در زمینه‌ی تخمین جریان‌های رودخانه‌ای بوده و تعیین میزان رسوب خروجی از حوزه به ندرت صورت گرفته شده است. بنابراین ارائه مدلی واحد با کارایی بالا در تخمین میزان رسوب خروجی حوزه‌ها برای چندین حوزه و با استفاده از کمترین داده‌های ورودی، موثرترین و قابل دسترس‌ترین متغیرها می‌تواند روش مناسبی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت در جهت کاهش مقادیر رسوب باشد. لذا در این تحقیق سعی گردیده است تا با استفاده از روش آزمون گاما از بین متغیرهای موثر بر تولید رسوب عواملی که بیشترین تاثیرگذاری را دارند انتخاب گردد و با کاربرد عواملی که انتخاب شده‌اند اقدام به تعیین ایستگاه‌های

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

همگن از لحاظ تولید میزان رسوب سالانه با استفاده از روش غیرعددی منحی‌های اندرو شود و برای هر گروه همگن مدلی جهت تخمین رسوب سالانه ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

انتخاب ایستگاه‌های مناسب

برای انتخاب ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مناسب آمار دبی و رسوب معلق تمام ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از شرکت تحقیقات منابع آب (تماب) تهیه گردید. سپس طول دوره آماری رسوب معلق و دبی و نمونه‌های برداشتی رسوب معلق استخراج گردید. ایستگاه‌هایی که دارای طول دوره‌ی آماری مناسب بین ۲۰ تا ۳۰ سال، تعداد آمار کامل و جدید بودند و شرط عدم‌وجود بند یا سد انحرافی در بالادست و عدم قرارگیری ایستگاه در مناطق دشتی را داشتند انتخاب گردیدند. در مجموع ۴۲ ایستگاه رسوب‌سنجی (جدول ۱ و شکل ۱) انتخاب گردید.

روش تحقیق

محاسبه رسوب معلق سالانه

با توجه به این‌که دبی و رسوب برداشتی در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی در مواقع سیلابی می‌باشد، ابتدا رسوب معلق و دبی متناظر آنها در طول دوره‌ی آماری مرتب گردید و از برازش داده‌های لگاریتمی دبی (Q_W) و رسوب (Q_S) (۴۶) بر مبنای رابطه‌ی (۱) (۳۸) رابطه‌ی رگرسیونی برقرار شد (۱۳). با قرار دادن دبی‌های روزانه در رابطه‌ی تهیه شده، رسوب معلق روزانه به‌دست آمده و رسوب سالانه (۴۷) نیز محاسبه گردید.

جدول ۱- شماره، کد و ایستگاه‌های انتخاب شده در منطقه مورد مطالعه

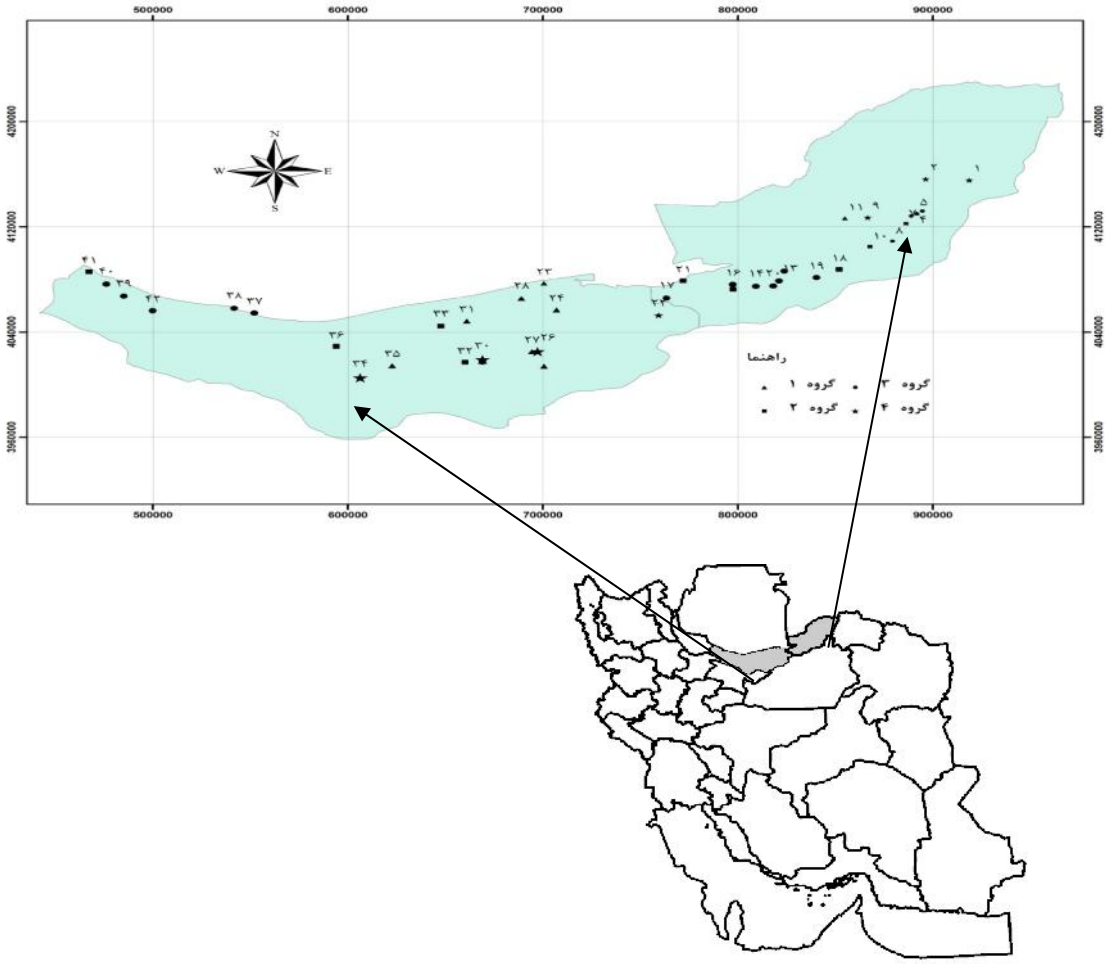
شماره	کد	ایستگاه	شماره	کد	ایستگاه	شماره	کد	ایستگاه
۱	۱۲-۰۰۱	دوغ	۱۵	۱۲-۰۴۵	شصت‌کلاته	۲۹	۱۴-۰۰۱	شیرگاه
۲	۱۲-۰۰۵	تمر	۱۶	۱۲-۰۴۹	پل‌جاده	۳۰	۱۴-۰۰۵	کسیلیان
۳	۱۲-۰۰۷	گالیکش	۱۷	۱۲-۰۵۳	وطنا	۳۱	۱۴-۰۰۷	کیاکلا
۴	۱۲-۰۰۹	قلی تپه	۱۸	۱۲-۰۷۱	زرینگل	۳۲	۱۴-۰۱۱	قرآن تالار
۵	۱۲-۰۱۱	گنبد	۱۹	۱۲-۰۸۳	محمدآباد	۳۳	۱۴-۰۱۷	کشتارگاه
۶	۱۲-۰۱۳	لزوره	۲۰	۱۲-۰۸۵	پل اردوگاه	۳۴	۱۵-۰۱۵	رزن
۷	۱۲-۰۱۵	پس پشته	۲۱	۱۲-۰۹۷	سیاه آب	۳۵	۱۵-۰۱۷	کره‌سنگ
۸	۱۲-۰۱۷	نوده	۲۲	۱۳-۰۰۵	سفیدچاه	۳۶	۱۶-۰۰۳	تنگه‌لاویج
۹	۱۲-۰۱۹	ارازکوسه	۲۳	۱۳-۰۰۶	نوذرآباد	۳۷	۱۶-۰۰۹	خیرود
۱۰	۱۲-۰۲۱	رامیان	۲۴	۱۳-۰۱۳	آبلو	۳۸	۱۶-۰۱۱	نوشهر
۱۱	۱۲-۰۲۳	قزاقلی	۲۵	۱۳-۰۱۹	سلیمان تنگه	۳۹	۱۶-۰۴۱	هراتبر
۱۲	۱۲-۰۳۳	تقی‌آباد	۲۶	۱۳-۰۲۳	ورند	۴۰	۱۶-۰۴۹	گانگسر
۱۳	۱۲-۰۳۵	امامزاده	۲۷	۱۳-۰۲۳	ریگ چشمه	۴۱	۱۶-۰۵۱	رامسر
۱۴	۱۲-۰۴۳	نهارخوران	۲۸	۱۳-۰۲۹	کردخیل	۴۲	۱۶-۰۸۹	دیناسرا

$$Q_S = aQ_W^{\ b} \qquad (1)$$

عوامل موثر بر مقدار رسوب معلق سالانه

در هر یک از آبخیزهای منتخب ۱۴ عامل موثر بر مقدار رسوب سالانه شامل: مساحت، محیط، ارتفاع متوسط وزنی حوزه، طول آبراهه‌ی اصلی، شیب آبراهه‌ی اصلی، تراکم زهکشی، قطر دایره هم‌سطح، ضریب شکل هورتون، شیب متوسط حوزه، ضریب گراولیوس و زمان تمرکز با روش کرپیچ با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به‌عنوان خصوصیات فیزیکی حوزه و متوسط بارندگی سالانه، دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت دو ساله (متوسط دبی حداکثر لحظه‌ای) و دبی حداکثر روزانه با دوره بازگشت دو ساله (متوسط دبی حداکثر روزانه) تعیین و محاسبه شدند (۱۰).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]



شکل ۱- نقشه‌ی پراکنش ایستگاه‌های همگن

روش‌های آماری مورد استفاده

آزمون گاما

آزمون گاما[1] یک ابزار مدل‌سازی غیرخطی است که به کمک آن می‌توان ترکیب مناسبی از متغیرهای ورودی برای مدل‌سازی داده‌های خروجی و تهیه یک مدل هموار را بررسی نمود (۲۵). گاما تست اولین بار توسط کنسر (۲۱) و اگلبجرن و همکاران (۱) گزارش شده و بعدها توسط محققان دیگری همچون دورنت (۱۴) و تسوی و همکاران (۴۵)، به‌کار برده شده است. آزمون گاما توسط دورنت (۱۴) به‌صورت بسته‌ی نرم‌افزاری معرفی گردید. هنگامی که عوامل موثر بر پدیده‌ای به‌طور قابل ملاحظه‌ای زیاد باشد با استفاده از آزمون گاما می‌توان ترتیب میزان اهمیت متغیرهای ورودی و بهترین ترکیب از میان تمام ترکیب‌های ممکن را بدست آورد. همچنین با استفاده از آزمون M می‌توان تعداد داده‌های ورودی که مقدار گاما را به حالت پایدار برای ایجاد مدل هموار می‌رساند، تعیین نمود (۲۵). همچنین یک ابزار توسعه یافته برای تخمین میانگین مربعات خطای حاصل از مدل‌سازی پدیده‌های مختلف با استفاده از مجموعه داده‌های مشاهداتی از آن پدیده می‌باشد (۱۶). با فرض آن که مجموعه‌ای داده‌های ورودی x_i و خروجی y_i مشاهده شده از پدیده‌ای به‌صورت رابطه (۲) در اختیار باشد.

$$\{(x_i , y_i), \le i_1 \le M \} \qquad (۲)$$

در صورتی‌که با توجه به مجموعه ورودی x_i، خروجی y_i بدست آید و M نشان‌دهنده تعداد سری مجموعه‌ی مشاهده شده از پدیده‌ی مورد بررسی باشد، آن‌گاه آزمون گاما با فرض عدم قطعیت و پذیرش مقادیر خطا در بدست آوردن خروجی از روی ورودی بخاطر پیچیدگی غیرخطی بودن پدیده‌ها مدل‌سازی این خطا را به‌صورت رابطه بین مجموعه داده‌های ورودی و خروجی با تابع f نشان می‌دهد (رابطه ۳).

$$y = f(x_i, x_2, ..., x_m) + r \qquad (۳)$$

1- Gama Test

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

که در آن f نمایان‌گر تابع هموارى است که براى مدل‌سازى داده‌ها استفاده مى‌شود و r نشان‌دهنده‌ى متغیر تصادفى است که براى نمایش خطا به‌کار مى‌رود. با فرض این‌که میانگین توزیعى که r از آن پیروى مى‌کند برابر صفر است (هر مقدار ثابت دیگر را نیز مى‌توان براى میانگین تابع f در نظر گرفت) و فرض دیگر آن که واریانس خطا کران‌دار است، مدل فوق به مدلى با مشتقات جزئى درجه اول محدود مى‌شود و آزمون گاما نشان‌دهنده‌ى آن بخش از واریانس داده‌هاى خروجى است که نمى‌تواند توسط مدل هموار محاسبه مى‌شود. آزمون گاما بر اساس N{I,k} مى‌باشد که در آن p بیانگر نزدیک‌ترین همسایگى است. مقادیر این آزمون براى مجموعه داده‌هاى ورودى و خروجى بر اساس روابط ۴ و ۵ به‌دست مى‌آید که | ... | فاصله‌ى اقلیدسى است.

$$\phi_M(k) = \frac{1}{M}\left|X_{M(i,k)} - X_J\right|^2 \qquad (۴)$$

$1 \le k \le p$

$$y_M(k) = \frac{1}{2M}\sum_{i=1}^{M}\left|y_{N(i,k)} - y_i\right|^2 \qquad (۵)$$

$1 \le k \le p$

با ایجاد رابطه‌ى رگرسیون خطى بین p مجموعه‌ى $(y_M(k), \phi_M(k))$، مقدار گاما برابر عرض از مبدا خط رگرسیون ایجاد شده است که معادله‌ى این خط در رابطه ۶ آورده شده است.

$$y = A\phi + \Gamma \qquad (۶)$$

از روى خط رگرسیون بیان شده در رابطه‌ى ۶ مى‌توان اطلاعات مفیدى به‌دست آورد: نخست آن که در عرض از مبدا خط مذکور نشان‌دهنده‌ى مقدار آزمون گاما است که بیانگر آن بخش از واریانس داده‌هاى خروجى است که نمى‌تواند به‌وسیله‌ى مدل برآورد گردد. دوم آن که شیب خط رگرسیون نشان‌دهنده‌ى پیچیدگى بیش‌تر مدلى است که از روى مجموعه‌ى داده‌هاى ورودى و خروجى ساخته مى‌شود و این شیب هرچه تندتر باشد نشان‌دهنده‌ى پیچیدگى بیشتر مدل است. یکى دیگر از معیارهاى مهم که با استفاده از این آزمون مى‌توان به‌دست آورد معیار بدون بعد V_{ratio} است که داراى مقادیرى بین بازه‌ى ۰ و ۱ است و هر چه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد نمایان‌گر دقت بالاى مدل براى یافتن خروجى‌هاى مطلوب از ورودى‌هاست. در واقع اگر مقدار V_{ratio} از عدد یک کم شود مقدار ضریب تبیین را نشان مى‌دهد (۳۵). اگر فرض شود N متغیر ورودى براى پدیده‌اى موثر باشند تعداد 2^N-1 ترکیب معنى‌دار از متغیرهاى ورودى به‌وجود مى‌آید. بنابراین هنگامى که عوامل ورودى موثر بر پدیده‌اى به‌طور قابل ملاحظه‌اى زیاد باشد با استفاده از آزمون گاما مى‌توان ترتیب میزان اهمیت متغیرهاى ورودى و بهترین ترکیب‌هاى ممکن را بدست آورد.

روش منحنى‌هاى اندرو

منحى اندرو[1] توسط اندرو (۳) براى تشخیص بقایاى فسیل انسان از میمون بسط داده شد. منحنى اندرو یک روش غیرعددى و گرافیکى مصورسازى داده‌هاى پیوسته چندمتغیره مى‌باشد (رابطه ۷) که به آشکارسازى ساختارهاى پنهان مجموعه داده‌هاى نسبتا کوچک کمک مى‌کند. این ساختارها ممکن است به صورت لایه‌هاى خروجى، خوشه‌ها و میزان همبستگى مى‌باشد (۲۶). منحنى اندرو هر نقطه را در یک محیط سه‌بعدى به صورت دوبعدى و سه‌بعدى نشان داده و از سرى‌هاى فوریه تبعیت مى‌کند (۱۷).

(۷)

$$y_{it} = \frac{x_{i1}}{\sqrt{2}} + x_{i2}\cos(a_1 t) + x_{i3}\sin(a_1 t) + x_{i4}\cos(a_2 t) + x_{i5}\sin(a_2 t) + \cdots$$

در رابطه (۷) x_{i1}، x_{i2}، x_{i3} و x_{i5} هر یک از فاکتورهاى استفاده شده براى نمایش خصوصیات حوزه را نمایش مى‌دهند. که به ترتیب اهمیتى که دارا مى‌باشند بیشترین هبستگى را با متغیر وابسته دارند (۲۶). فاصله اقلیدوسى بین صفات متغیرها، اختلاف بین دو منحنى را نشان مى‌دهد. اگر متغیرهاى n بعدى در فضاى اقلیدوسى نزدیک هم‌دیگر باشند، منحنى‌هاى مشابهى دارند (۴۱). این تابع در فاصله $-\pi$ تا $+\pi$ به ازاء مقادیر مختلف t رسم مى‌شود. به ازاء مقادیر t (طول نقطه) مقادیر f(t) (عرض نقطه) به‌دست مى‌آید (۴۶).

ارزیابى مدل‌ها

به‌منظور بررسى میزان دقت و کارایى مدل‌هاى ساخته شده از نمایه‌هاى آمارى خطاى نسبى[2] (رابطه ۸) (۳۹)، انحراف نسبى مدل[3] (رابطه ۹)، ریشه‌ى نسبى میانگین مربعات خطا[4] (رابطه ۱۰) (۴۲).

$$RE = \left|\frac{Q_o - Q_m}{Q_o}\right| \times 100 \qquad (۸)$$

$$RBIAS = \frac{1}{N}\left[\frac{Q_o - Q_m}{Q_o}\right] \times 100 \qquad (۹)$$

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{Q_o - Q_m}{Q_o}\right]^2}{n}} \times 100 \qquad (۱۰)$$

1- Andrew Curve
2- Relative Erorr (RE)
3- Relative Bias (RBIAS)
4- Root Relative Mean Squred Erorr (RRMSE)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

در آنها، Q_O داده‌های مشاهداتی، Q_m داده‌های تخمینی و n تعداد مشاهدات است. هرچه مقادیر نمایه‌های آماری RE، $RBIAS$ و $RRMSE$ کم‌تر باشد و مقادیر R بالا باشد نشان از کارایی بالای مدل‌های مذکور خواهد بود. بازه تغییرات هر یک از آماره‌های مذکور بین صفر تا صد درصد متغیر می‌باشد.

نتایج و بحث

متغیرهای زیادی در میزان تولید رسوب موثر و دخیل می‌باشند و استفاده از تمام این متغیرها و عوامل در تخمین رسوب علاوه بر کاهش دقت مدل زمان‌بر می‌باشد و همچنین کاربرد این مدل در حوزه‌های مشابه که فاقد اطلاعات تمام متغیرهای موثر می‌باشند غیرممکن خواهد بود. با استفاده از آزمون گاما می‌توان تا حد زیادی حجم کار تهیه‌ی مدل و تعداد داده‌های ورودی مدل را قبل از تهیه و توسعه آن کاهش دهد (۴۵). در واقع، آزمون گاما قادر به ارائه بهترین میانگین مربع خطا که با استفاده از مدل‌های غیرخطی بدست می‌آید، می‌باشد. در این مطالعه، در هر مرحله از اجرای مدل گاما تست یکی از داده‌های ورودی با جایگزینی دوباره به‌منظور ارزیابی تاثیر آنها روی میزان رسوب خروجی حوزه وارد مدل نشد. در نهایت با خروج هر یک از متغیرها، ضریب Gamma Value (V_{ratio}) مدل مورد بررسی قرار گرفت و با خروج هر متغیری که مقدار این ضریب بیشترین مقدار را داشت به‌عنوان عوامل موثر در تولید رسوب انتخاب گردیدند (۳۰).

عوامل شامل دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دو ساله، قطر هم‌سطح حوزه، شیب رودخانه به درصد، طول حوزه‌ی آبخیز به کیلومتر و ضریب فاکتور شکل حوزه می‌باشد که با حذف هر کدام از آنها از ورودی‌های مدل، مقدار ضریب Gamma Value بیشتر بود. در جدول ۲ مقادیر Gamma Valu با حذف هر کدام از عوامل ارائه شده است.

پس از کاهش تعداد عوامل توسط آزمون گام، اقدام به همگن‌بندی حوزه‌های آبخیز بر اساس متغیرهای انتخاب شده گردید. تعداد ۵ فاکتور اصلی تاثیرگذار بر میزان تولید رسوب که با استفاده از آزمون گاما تعیین شده بودند توسط منحنی‌های اندرو اقدام به همگن‌سازی حوزه‌های آبخیز شد که در نهایت منحنی‌های اندرو این حوزه‌ها را در چهار گروه همگن قرار دادند که هر یک از گروه‌ها در شکل ۲ آورده شده است.پس از ترسیم منحنی‌های اندرو مناطق همگن بر اساس روند مشابهی که داشتند مشخص شدند و هر یک از گروه‌های همگن به شرح زیر می‌باشند:

گروه همگن ۱: گنبد، قزاقلی، نوذر آباد، آبلو، سلیمان تنگه، ریگ چشمه، کیاکلا، کره سنگ و کردخیل در این گروه ایستگاه‌هایی قرار گرفتند که دارای مساحت بیشتری بوده و مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دوساله و قطر هم‌سطح حوزه بیش‌تر از سایر گروه‌ها می‌باشد. علت عدم ارائه‌ی مدل برای این گروه را می‌توان به قرار گرفتن حوزه‌هایی با مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دو ساله، قطر هم‌سطح حوزه و مساحت متفاوت از هم ارتباط داد که باعث کاهش ارتباط بین متغیرها می‌شود.

گروه همگن ۲: پس پشته، رامیان، رامسر، زرینگل، قرآن تالار، کشتارگاه، تنگه لاویج، سیاه آب و شصت کلات. ایستگاه‌های این گروه نیز دارای متغیرهای بامقادیر مشابهی بوده ولی وجود ایستگاه کشتارگاه با مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دو ساله و رسوب تولیدی بسیار بالا نسبت به سایر ایستگاه‌ها باعث شده که همگنی بین ایستگاه‌های این گروه کاهش پیدا کند و مقادیر خطای مدل‌ها افزایش داشته باشد. با اینکه مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دو ساله و رسوب تولیدی در ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها بسیار بالا و ناهمگون بود ولی سایر متغیرهای اصلی این ایستگاه مشابه با بقیه‌ی ایستگاه‌ها بود که باعث قرارگیری این ایستگاه در این گروه شد. گروه همگن ۳: گالیکش، قلی تپه، لزوره، نوده، تقی‌آباد، امامزاده، نهارخوران، پل جاده، وطنا، محمدآباد، شیرگاه، خیرود، نوشهر، هرات‌بر، دیناسرا، پل اردوگاه و گانگسر. این گروه نسبت به سایر گروه‌ها تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها را شامل شد و با بررسی مشخصات فیزیکی حوزه‌های بالادست این ایستگاه‌ها مشخص شد که این حوزه‌های این گروه دارای مساحت‌های کم، دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دو ساله کم، زمان تمرکز کم و شیب رودخانه‌ی اصلی زیاد و به جزء ایستگاه پل جاده مقادیر رسوب تولیدی این ایستگاه‌ها نیز زیاد می‌باشد.

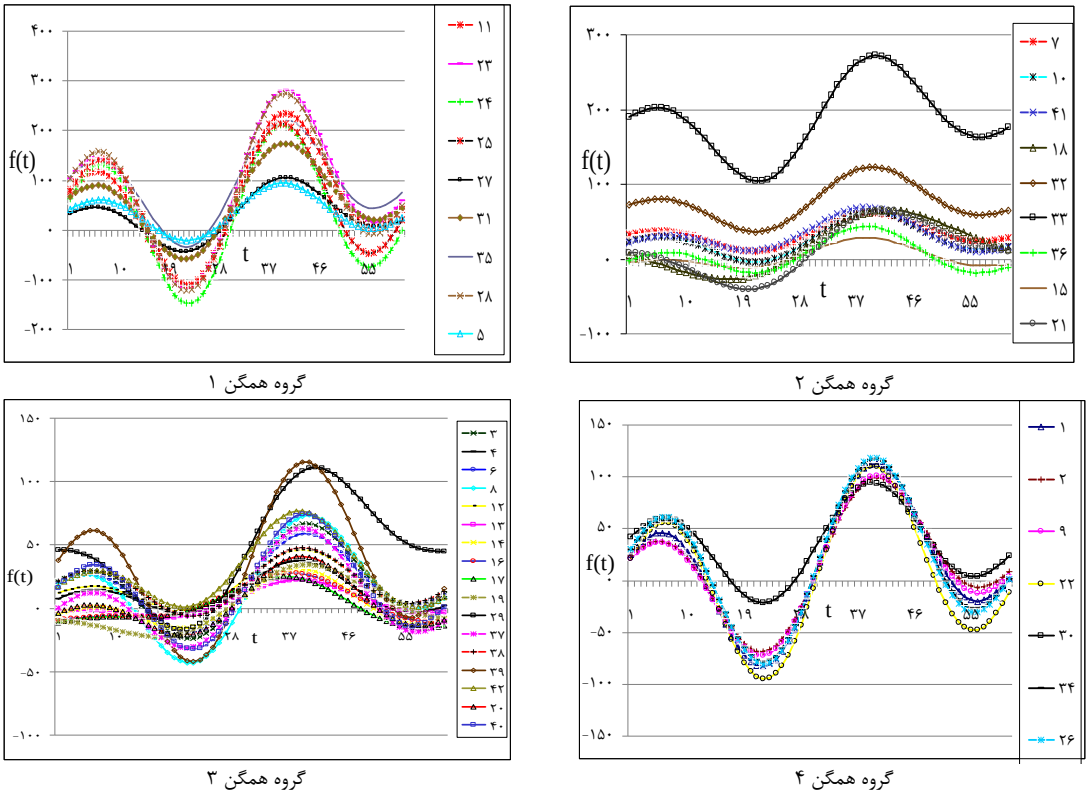
گروه همگن ۴: دوغ، تمر، ارازکوسه، سفیدچاه، کسیلیان، رزن، ورند. در این گروه تعداد کمی از ایستگاه‌ها قرار گرفتند ولی به جزء ایستگاه کسیلیان سایر ایستگاه‌ها دارای متغیرهای با مقادیر مشابه بودند. هم‌چنین زمان تمرکز این ایستگاه‌ها زیاد بوده و مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دوساله‌ی بالایی نیز داشتند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

جدول ۲- مقادیر ضریب گاما در استفاده از آزمون گاما

متغیر ورودی	مقدار عدد گاما (V_{ratio})	متغیر ورودی	مقدار عدد گاما (V_{ratio})
All	۰/۱۳۱۶۶	All-DD	۰/۱۳۱۷۴
All-Qp	۰/۶۱۷۴۶	All-Pw	۰/۱۳۱۲۷
All- Di	۰/۱۳۵۶۲	All-Pr	۰/۱۳۱۲۷
All-Sr	۰/۱۳۵۴۶	All-Area	۰/۱۳۱۱۵
All-Lw	۰/۱۳۳۲۸	All-Lr	۰/۱۳۱۰۹۷
All- Cc	۰/۱۳۲۷۱	All-Qm	۰/۱۲۴۵۶
All-H	۰/۱۳۲۶۵	All-Sw	۰/۱۲۰۸۵
All-Tc	۰/۱۳۲۵۴		

Qp: (دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دو ساله برحسب مترمکعب بر ثانیه)، Di: (قطر هم‌سطح حوزه برحسب کیلومتر)، Sr: (شیب رودخانه برحسب درصد)، Lw: (طول حوزه‌ی آبخیز برحسب کیلومتر) و Cc: (ضریب فاکتور شکل حوزه)، H: (ارتفاع متوسط وزنی حوزه برحسب متر)، Tc: (زمان تمرکز حوزه برحسب ساعت)، DD: (تراکم زهکشی حوزه برحسب کیلومتر بر کیلومترمربع)، Pw: (محیط حوزه برحسب کیلومتر)، Pr: (بارش برحسب میلی‌متر)، Area: (مساحت حوزه برحسب کیلومتر مربع)، Lr: (طول آبراهه‌ی اصلی برحسب متر)، Qm: (دبی حداکثر روزانه با دوره بازگشت دو ساله برحسب مترمکعب برحسب ثانیه)، Sw: (شیب متوسط حوزه برحسب درصد).



شکل ۲- منحنی‌های اندروی تهیه شده برای گروه‌های همگن

با توجه به این که تعدادی از ایستگاه‌هایی که از لحاظ جغرافیای در مجاورت هم قرار نداشتند ولی در یک گروه همگن قرار گرفتند نشان می‌دهد که تشابه هیدرولوژیکی حوزه‌ها می‌تواند دلیل به‌جز تشابه جغرافیایی بوده که سهیلی و وفاخواه (۴۱) نیز چنین بیان کرده‌اند. در هر یک از گروه‌ها، جهت تهیه‌ی مدل به‌منظور تخمین متوسط رسوب سالانه خروجی از ایستگاه‌ها به‌عنوان متغیر وابسته و با استفاده از ۵ متغیر انتخاب شده توسط آزمون گاما به‌عنوان عامل‌های اصلی تاثیرگذار در تولید رسوب به‌عنوان متغیرهای مستقل اقدام به مدل‌سازی رگرسیونی شد (۴۲). هم‌چنین یک مدل هم برای کل ایستگاه‌ها بدون جدایش ایستگاه‌ها در گروه‌های همگن ساخته شد. قبل از ساخت مدل، به طور تصادفی و با رعایت توزیع مناسب ۷۰ درصد داده‌ها برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی مدل انتخاب شدند مدل‌های ساخته شده برای هر یک از گروه‌ها در جدول ۳ ارائه گردیده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

تعیین میزان دقت هر یک از روش‌ها با استفاده از معیارهای آماری مورد استفاده در این تحقیق صورت گرفت. نتایج دقت‌سنجی و میزان خطای مدل‌های هر یک از مدل‌ها برای مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی مدل در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

پس از برقراری رابطه‌ی رگرسیونی بین مقدار رسوب متوسط سالانه (تن بر سال) به‌عنوان متغیر وابسته و ۵ فاکتور انتخاب شده توسط آزمون گاما به‌عنوان متغیرهای مستقل در هر یک از گروه‌های همگن، نتایج حاکی از آن بود که برای گروه همگن ۱ مدل ارائه شده از معنی‌داری قابل قبولی برخوردار نبود و برای این گروه مدلی پیشنهاد نشد ولی برای سایر گروه‌ها مدل‌هایی برخوردار از سطح معنی‌داری ۹۹ درصد تهیه شد. برای اینکه دقت و میزان خطای هر یک از گروه‌ها بدست آید از نمایه‌های آماری مذکور در تحقیق استفاده گردید. نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل‌ها برای هر یک از گروه‌ها نشان داد که برای هر سه گروه همگن که مدلی برای آنها ارائه شده بود از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و مدل ارائه شده برای گروه همگن ۴ عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌ها داشت. اما نکته قابل توجه این است که بر خلاف انتظار معمول در گروه‌های همگن ۲ و ۳ مقادیر نمایه‌های آماری *RE*، *RBIAS* و *RRMSE* در مرحله‌ی واسنجی بیشتر از مقادیر آن در مرحله‌ی اعتبارسنجی مدل می‌باشند که دلیل آن قرارگیری ایستگاه کشتارگاه با مقادیر بسیار بالایی از میزان رسوب متوسط سالانه در گروه همگن ۲ بود که در مرحله جدا کردن ایستگاه‌ها برای مراحل واسنجی و اعتبارسنجی در مرحله‌ی واسنجی قرار گرفت که مدل تهیه شده بر اساس کل ایستگاه‌های مرحله‌ی واسنجی، مدل بسیار کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برای این ایستگاه تخمین زد که باعث بالا رفتن خطای مدل برای این مرحله شد. برای گروه همگن ۳ نیز ایستگاه پل جاده با داشتن مقادیر مشابه متغیرهای مستقل با متغیرهای مستقل سایر ایستگاه‌ها در مرحله واسنجی، مقدار رسوب تولیدی بسیار کمی نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشت و پس از ساخت مدل بر اساس ایستگاه‌های این مرحله مقدار تخمینی رسوب متوسط سالانه برای ایستگاه مذکور بسیار زیاد بود که باعث افزایش خطای مدل برای مرحله واسنجی مدل شد که با نتایج تحقیقات کیم و کالواراچچی (۱۹) هم‌خوانی دارد.

جدول ۳- مدل‌های تهیه شده برای هریک از گروه‌های همگن و برای کل منطقه‌ی مورد مطالعه

گروه‌های همگن	مدل‌های ارائه شده
۱	مدلی ارائه نشد
۲	Q_S=12.235 Qp + 43.203 Di + 180.336 Sr + 8 Lw -177.923 Cc -1800
۳	Q_S= - 20.944 Qp + 3.014 Di + 32.237 Sr + 35.195 Lw +190.279 Cc +11.086
۴	Q_S=85.913 Qp + 91.867 Di + 364.556 Sr + 52.205 Lw + 1.302 Cc - 8600.483
مدل کلی	Q_S=11.29 Qp - 30.644 Di – 70.467 Sr + 1.126 Lw + 241.407 Cc +1976.596

Qp: (دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دو ساله برحسب متر مکعب بر ثانیه)، Di: (قطر هم‌سطح حوزه برحسب کیلومتر)، Sr: (شیب رودخانه برحسب درصد)، Lw: (طول حوزه‌ی آبخیز برحسب کیلومتر)، Cc: (ضریب فاکتور شکل حوزه) و Q_s: (میزان رسوب معلق متوسط سالانه برحسب تن بر سال). تمام روابط نیز در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۴- نتایج میزان دقت و خطای هر یک از مدل‌های ارائه شده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

گروه‌های همگن	تعداد (n)*	RE (%)		RBIAS (%)		RRMSE (%)		R	
		واسنجی	اعتبارسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی
۱	۹	مدلی ارائه نشد							
۲	۹	۵۵/۹۰	۳۰/۸۲	۴۱/۶۷	۲۰/۳۳	۶۴/۵۵	۳۸	۰/۹۹۰	۰/۹۵۲
۳	۱۷	۴۵/۵۳	۲۹/۱۳	۴۱/۹۴	۱۳/۰۶	۵۹	۳۶/۱۴	۰/۶۶۹	۰/۶۲۴
۴	۷	۲۹/۵۵	۱۹/۶۹	۱۲/۹۱	۱۲/۶۳	۳۵/۹۳	۲۵/۲۰	۰/۸۲۷	۰/۸۲۴
مدل کلی	۴۲	۶۷/۹۲	۷۶/۷۲	۸۰/۵۸	۵۵	۸۹/۷۷	۹۱/۲۳	۰/۶۹۵	۰/۶۵۱

*: ۷۰ درصد تعداد حوزه‌های آبخیز در هر گروه همگن برای واسنجی و ۳۰ درصدا برای اعتبارسنجی استفاده گردید.

در این تحقیق با قرار دادن تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در یک گروه اقدام به تهیه مدل رگرسیونی جهت تخمین میزان متوسط رسوب سالانه بر اساس متغیرهای فیزیکی حوزه‌ها شد که مدل نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل حاکی از آن بود که مدل مذکور دقت بسیار کمی داشته و مقادیر *RE*، *RBIAS* و *RRMSE* بسیار بالایی در هر دو مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی داشت که ضرورت تهیه‌ی مدل جداگانه برای ایستگاه‌های

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

مشابه را بیان می‌نماید. هم‌چنین بر اساس نمایه‌ی آماری *RBIAS* که انحراف مدل را در تخمین مقادیر متغیر وابسته بر اساس داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد، مدل‌های تهیه شده برای گروه‌های همگن برای مرحله‌ی اعتبارسنجی دارای حدود ۱۲ تا ۲۰ درصد انحراف بوده که مثبت بودن مقادیر آن برای گروه‌ها بیان‌کننده‌ی این امر است که مدل‌های تهیه شده مقادیر رسوب متوسط سالانه را بیش از مقادیر مشاهده‌ای تخمین زده‌اند که گواه بیش تخمین بودن مدل‌هاست. نقشه‌ی پراکنش گروه‌های همگن در شکل ۱ آورده شده است.

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی میزان کارایی همگن‌سازی حوزه‌های آبخیز از لحاظ مقدار تولید رسوب در حوزه‌های جنوب و جنوب شرقی دریای خزر صورت گرفت. برای این منظور از روش گاما تست جهت کاهش تعداد عوامل موثر بر تولید رسوب در حوزه‌ها و انتخاب موثرترین عوامل استفاده گردید و روش منحنی‌های اندرو به‌عنوان یک روش غیرعددی جهت قرار دادن حوزه‌های آبخیز در گروه‌های همگن به‌کار برده شد. در نهایت جهت بررسی میزان دقت این روش‌ها در تخمین مقدار رسوب معلق اقدام به مدل‌سازی رگرسیونی در هر یک از گروه‌های همگن و هم‌چنین برای کل ایستگاه‌ها به‌عنوان یک مدل کلی برای منطقه‌ی مورد مطالعه شد. بر اساس نتایج بدست آمده ۴۲ ایستگاه مورد مطالعه در چهار گروه همگن قرار گرفتند و به جزء گروه یک برای همه گروه‌ها مدل‌هایی ارائه شد. با توجه به عدم ارائه‌ی مدل مناسب برای گروه یک و مقادیر خطای بالاتر مدل‌های گروه دو و سه نسبت به گروه چهار می‌توان به این نتیجه رسید که هر چه مقادیر متغیرهای موثر بر تولید رسوب در ایستگاه‌ها در یک بازه‌ی مشابه باشند همگنی گروه‌ها بیشتر خواهد بود. ترامبلی و همکاران (۴۲) نیز در تحقیقی به‌منظور مدل‌سازی منطقه‌ای رسوب معلق با استفاده از متغیرهای فیزیکی حوزه‌ها به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج حاصل از گروه‌بندی حوزه‌ها و خطای مدل‌های ساخته شده نشان می‌دهد که استفاده از یک مدل واحد برای تخمین رسوب معلق حوزه‌ها با خصوصیات فیزیکی متفاوت از قبیل مساحت، شیب رودخانه و هم‌چنین متغیرهای هیدرولوژیکی از قبیل دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دو ساله، تخمین غیرواقعی از مقدار حقیقی را خواهد داشت که با نتایج تحقیق بری و ژای (۵) موافق می‌باشد. هم‌چنین بر اساس بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دو ساله بیش‌ترین تاثیر را در تولید میزان رسوب ایفا می‌کند که هم‌سو با نتایج رسترپو و همکاران (۳۶) می‌باشد. با توجه به این که برای تمام ایستگاه‌ها نیز یک مدل واحد تهیه شد و صحت سنجی نتایج حاکی از کارایی ضعیف این مدل می‌باشد می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از یک مدل واحد برای ایستگاه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه نتایج مناسبی را ارائه نخواهد داد و در تخمین رسوب برای ایستگاه‌های دارای نقص آماری یا فاقد آمار، استفاده از مدل‌های تهیه شده در ایستگاه‌های مشابه نتایج مطلوب‌تری را در پی خواهد داشت که ترامبلی و همکاران (۴۲) نیز به چنین نتایجی دست یافتند. با دقت بر این موضوع که ایستگاه‌هایی که در یک گروه همگن قرار گرفته‌اند بعضا تشابه جغرافیایی ندارند دلالت بر این امر دارد که تشابه حوزه‌ها فقط از نزدیکی جغرافیایی تبعیت نمی‌کند که با نتایج ترامبلی و همکاران (۴۲) و سهیلی و وفاخواه (۴۱) مطابقت دارد. بر اساس جدول نمایه‌های ارزیابی مدل‌های تهیه شده به جزء گروه یک که مدلی برای آن ارائه نشد مدل‌های سایر گروه‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و مدل گروه چهار بهترین عملکرد و دقت را داشته و مدل کلی برای کل منطقه نیز از دقت بسیار پایینی برخوردار بود. در کل نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کاهش تعداد عوامل موثر بر تولید رسوب به عوامل با تاثیرگذاری بیشتر در حوزه‌های آبخیز جنوب و جنوب شرقی دریای خزر با استفاده از آزمون گاما و گروه‌بندی این حوزه‌ها با استفاده از منحنی‌های اندرو در گروه‌های همگن از لحاظ میزان تولید رسوب متوسط سالانه روش مناسبی به منظور همگن‌سازی حوزه‌های آبخیز منطقه‌ی مورد مطالعه بوده که در نهایت با به‌کارگیری مدل‌های تهیه شده می‌توان میزان رسوب معلق متوسط سالانه‌ی ایستگاه‌های مشابه با ایستگاه‌های هر گروه را که فاقد آمار رسوب معلق و یا دارای نقص آماری می‌باشند را تخمین زد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

منابع

1. Agalbjörn, S., N. Koncar and A.J. Jones. 1997. A note on the gamma test. Neural Computing & Applications, 5: 131-133.
2. Alp, M. and H.K. Cigizoglu. 2007. Suspended sediment load simulation by two artificial neural network methods using hydrometeorological data. Environmental Modelling & Software, 22: 2-13.
3. Andrews, D. 1972. Plots of high-dimensional data. Biometric, 28: 125-136.
4. Asselman, N.E.M. 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of Hydrology, 234: 228-248.
5. Bray, D.I. and H. Xie. 1993. A regression method for estimating suspended sediment yields for ungauged watershed in Atlantic. Canadian Journal of Civil Engineering, 20: 82-87.
6. Caratti John, F., A.N. John and C. Lee Maynard. 2004. Watershed classifiation using canonical correspondence analysis and clustering techniques: a cautionary note. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), 40: 1257-1268.
7. Cavadias, G.S., T.B.M.J. Ouarda, B. Bobee´e and C. Girard. 2001. The canonical correlation approach to the determination of homogeneous regions for regional flood estimation of ungauged basins. Hydrological Sciences Journal, 46: 499-512.
8. Chen, S., X. Hong, C.J. Harris and P.M. Sharkey. 2004. Sparse modeling using orthogonal forward regression with PRESS statistic and regularization. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B, 34: 898-911.
9. Choi, D.J. and H. Park. 2001. A hybrid artificial neural network as a software sensor for optimal control of a wastewater treatment process. Water Research, 35: 3959-3967.
10. Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays. 2007. Applied Hydrology. McGraw-Hill, 588 pp.
11. Corcoran, J., I. Wilson and J. Ware. 2003. Predicting the geo-temporal variation of crime and disorder International Journal of Forecasting, 19: 623-634.
12. Detenbeck, N.E., V.J. Brady, D.L. Taylor, V.M. Snarski and S.L. Batterman. 2005. Relationship of stream flow regime in the western Lake Superior basin to watershed type characteristics. Journal of Hydrology, 309: 258-276.
13. De Vente, J., J. Poesen, M. Arabkhedri and G. Verstraeten. 2007. The sediment delivery problem revisited. Progress in Physical Geography, 31: 155-178.
14. Durrant, P.J. 2001. Wingamma: a non-linear data analysis and modeling tool with applications to flood prediction. Ph.D. thesis, Department of Computer Science, Cardiff University, Wales, UK, 261pp.
15. Eksioglu, B., R. Demirer and I. Capar. 2005. Subset selection in multiple linear regressions: a new mathematical programming approach. Computers & Industrial Engineering, 49: 155-167.
16. Ghabaei Sough, M., A. Mosaedi, M. Hesam and A. Hezarjaribi. 2010. Evaluation effect of input parameters preprocessing in artificial neural networks (ANNs) by using stepwise regression and gamma test techniques for fast estimation of daily evapotranspiration. Journal of Water and Soil, 24: 610-624. (In Persian)
17. Horhota, S.T. and C.L. Aitken. 2006. Multivariate cluster analysis of pharmaceutical formulation data using Andrews plots. Journal of Pharmaceutical Sciences, 80: 85-90.
18. Khan, J.A., S.V. Aelst and R.H. Zamar. 2007. Building a robust linear model with forward selection and stepwise procedures. Computational Statistics & Data Analysis, 52: 239-248.
19. Kim, U. and J.J. Kaluarachchi. 2008. Application of parameter estimation and regionalization methodologies to ungauged basins of the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. Journal of Hydrology, 362: 39-56.
20. Kişi, Ö. 2010. River suspended sediment concentration modeling using a neural differential evolution approach. Journal of Hydrology, 389: 227-235.
21. Koncar, N. 1997. Optimisation methodologies for direct inverse neurocontrol. Ph.D. thesis, Department of Computing, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, 191 pp.
22. Lin, G.F. and C.h.M. Wang. 2006. Performing cluster analysis and discrimination analysis of hydrological factors in one step. Advances in Water Resources, 29: 1573-1585.
23. Lin, S.h.W. and S.h.C.h. Chen. 2009. PSOLDA: A particle swarm optimization approach for enhancing classification accuracy rate of linear discriminant analysis. Applied Software Computing, 9: 1008-1015.
24. Melesse, A.M., S. Ahmad, M.E. McClaina, X. Wang and Y.H. Limd. 2011. Suspended sediment load prediction of river systems: An artificial neural network approach. Agricultural Water Management, 98: 855-866.
25. Moghaddamnia, A., M. Ghafari-Gousheh, J. Piri, S. Amin and D. Han. 2009. Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. Advances in Water Resources, 32: 88-97.
26. Moustafa, R.E. 2011. Andrews curves. Advanced Review. John Wiley & Sons, Inc, 3: 373-382.
27. Nadal-Romero, E., J.F. Martínez-Murillo, M. Vanmaercke and J. Poesen. 2011. Scale dependency of sediment yield from badland areas in Mediterranean environments. Progress in Physical Geography, 35: 297-332.
28. Nathan, R.J. 1993. On the assessment of catchments similarity for the transposition of hydrologic indices. Hydrology and Water Resources Symposium, 93-98.
29. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1990. Identification of homogeneous regions for purposes of regionalization. Journal of Hydrology, 121: 217-238.
30. Noori, R., G. Hoshyaripour, K. Ashrafi and B. Nadjar-Araabi. 2010. Uncertainty analysis of developed ANN and ANFIS models in prediction of carbon monoxide daily concentration. Atmospheric Environment, 44: 476-482.
31. Noori, R., A.R. Karbassi, A. Moghaddamnia, D. Han, M.H. Zokaei-Ashtiani, A. Farokhnia and M. Ghafari Gousheh. 2011. Assessment of input variables determination on the SVM model performance using PCA, Gamma test, and forward selection techniques for monthly stream flow prediction. Journal of Hydrology, 401: 177-189. (In Persian)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

32. Olden, J.D. and N.L. Poff. 2003. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. River Research and Applications, 19: 101-121.
33. Owen, S.M., R.G.H. Bunce, H.E. Stewart, A.R. MacKenzie, R.G. Donovan, G. Stark and C.N. Hewitt. 2006. Urban land classification and its uncertainties using principal component and cluster analyses: A case study for the UK West Midlands. Landscape and Urban Planning, 78: 311-321.
34. Rao, R.A. and V.V. Sriniva. 2006. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. Journal of Hydrology, 318: 37-56.
35. Remesan, R., M.A. Shamim and D. Han. 2008. Model data selection using gamma test for daily solar radiation estimation. Hydrological Processes, 22: 4301-4309.
36. Restrepo, J.D., B. Kjerfve, Mi. Hermelin and J.C. Restrepo. 2006. Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia. Journal of Hydrology, 316: 213-232.
37. Robertson, D.M., D.A. Saad and D.M. Heise. 2006. A regional classification scheme for estimating reference water quality in streams using land-use-adjusted spatial regression-tree analysis. Environmental. Management, 32: 209-229.
38. Sadeghi, S.H.R. and M. Mahdavi. 2004. Applicability of SEDIMOT II model in flood and sediment yield estimation. Journal of Agriculture Science Technology, 6: 147-154.
39. Sadeghi, S.H.R., M. Mozayyan and H.R. Moradi. 2007. Development of hydrograph using different rainfall components in Kasilian watershed. Journal of the Iranian Natural Resource. 60: 33-43. (In Persian)
40. Sadeghi, S.H.R. and J.K. Singh. 2005. Development of a synthetic sediment graph using hydrological data. Journal of Agriculture Science Technology, 7: 69-77.
41. Sohaili, S. and M. Vafakhah. 2005. Study on efficiency of non numerical (Andrew curve) method in determination of homogeneous area in flood estimation. Pajouhesh & Sazandegi, 68: 73-81. (In Persian)
42. Tramblay, Y., T.B.M.J. Ouarda, A. St-Hilaire and J. Poulin. 2010. Regional estimation of extreme suspended sediment concentrations using watershed characteristics. Journal of Hydrology, 380: 305-317.
43. Tramblay, Y., A. St-Hilaire and T.B.M.J. Ouarda. 2007. Modelling extreme suspended sediment concentrations in North America: frequency analysis and correlations with watershed characteristics. In: Water Quality and Sediment Behaviour ofthe Future: Predictions for the 21st Century, Proceedings of Symposium HS2005 at IUGG2007, Perugia, Italy, July 2007. IAHS Publication No, 314: 20-27.
44. Tramblay, Y., A. St-Hilaire and T.B.M.J. Ouarda. 2008. Frequency analysis of maximum annual suspended sediment concentrations in North America. Hydrological Sciences Journal, 53: 236-252.
45. Tsui, A.P.M., A.J. Jones and A.G. De Oliveira. 2002. The construction of smooth models using irregular embeddings determined by a gamma test analysis. Neural Computing & Applications, 10: 318-329.
46. Vafakhah, M. 2007. Regional analysis of sediment yield in the part of Caspian Sea coastal basin. Journal of Agriculture Science Natural Resource, 13: 121-132. (In Persian)
47. Vanmaercke, M., J. Poesen, G. Verstraeten, J. De Vente and F. Ocakoglu. 2011. Sediment yield in Europe: spatial patterns and scale dependency. Geomorphology, 130: 142-161.
48. Walling, D.E. and B.W. Webb. 1988. The reliability of rating curve estimates of suspended yield: some further comments, sediment budgets. In: Proceedings of the Porto Alegre, 337-350.
49. Yadav, M., T.h. Wagener and H. Gupta. 2007. Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins. Advances in Water Resources, 30: 1756-1774.
50. Zhang, Q.F., F.Q. Wu, L. Wang, L. Yuan and L. Zhao. 2011. Application of PCA integrated with CA and GIS in eco-economic regionalization of Chinese Loess Plateau. Ecological Economics, 70: 1051-1056.
51. Zhang, Y.X. 2007. Artificial neural networks based on principal component analysis input selection for clinical pattern recognition analysis. Talanta, 73: 68-75.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

Evaluation of Gamma Test and Andrew Curves to Estimate Suspended Sediment Load in Southern and Southeastern Watersheds of the Caspian Sea

Hossein Kheirfam[1] and Mehdi Vafakhah[2]

1- M.Sc., Tarbiat Modares University
2- Associate Professor, Tarbiat Modares University (Corresponding author: vafakhah@modares.ac.ir)
Received: February 4, 2012 Accepted: June 12, 2012

Abstract

Suspended sediment (SS) flux in a river is an important parameter for the watershed management. The large extend of watersheds areas and limited of sediment stations measurement have been caused that different methods have been developed to SS estimation. In this study, 42 sediment measurement stations existed in south and southeast of the Caspian Sea with over 20 year period was chosen. The sediment rating curve (SRC) was drawled using discharge and SS load measurements for 42 stations, then daily SS load was estimated by using the daily discharge (Q) and the average of annual SS was computed. By using the gamma test (GT), 14 effective variables on SS was reduced to 5 main variables and the mentioned stations were recognized in four homogeneous groups by using Andrew curves (AC). For each homogeneous group and all existed stations using five selected main variables was developed regression models for average of annual SS load. Relative error (RE), relative bias (RBIAS) and root relative mean squared error (RRMSE) indices statistics are used for evaluating the accuracy of the models. The results indicated that a model was not provided for group 1. The models of groups 2 to 4 have a good accuracy and the model of group 4 with RE(29%), RBIAS(12%) and RRMSE(35%) in the calibration stage, and RE(19%), RBIAS(12%) and RRMSE(25%) in the validation stage has the best performance and One model for all stations has high error. Peak discharge with two return periods (Qp) has the most impact on the average of annual SS change.

Keywords: Caspian Sea, Suspended Sediment Load, Andrew Curves, Regression Model, Regional Analysis

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]