دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

کارایی روش‌های مختلف آنالیز آماری در تخمین مؤلفه‌های آب‌نمود واحد مصنوعی آبخیزهای شمال کشور

س. ح. ر. صادقی[۱]، ع. افضلی[۲]، م. وفاخواه[۳] و ع. ر. تلوری[۴]

۱- استاد دانشگاه تربیت مدرس نور نویسنده مسئول: sadeghi@modares.ac.ir
۲ و ۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار دانشگاه تربیت مدرس نور
۴- دانشیار پژوهشی پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری

چکیده

تحقیق حاضر درصدد مقایسه روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری و انتخاب بهترین روش جهت دستیابی به مدل بین مؤلفه‌های آب‌نمود واحد با استفاده از خصوصیات فیزیکی حوزه در آبخیزهای شمال کشور با مساحت ۱۷۷۰۰۰ کیلومتر مربع در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان می‌باشد. برای انجام این تحقیق ۹ ویژگی حوزه و همچنین ۸ ویژگی از مؤلفه‌های آب‌نمود واحد برای ۴۴ رگبار در منطقه شمال کشور در نظر گرفته شد. آزمون رگرسیون به روش دومتغیره و به شکل‌های مختلف خطی، لگاریتمی، معکوس، درجه دوم، درجه سوم، نمایی، توانی، ترکیبی، مدل‌های منحنی رشد و S و چند متغیره به دو روش گام به گام و پسرو پس از اجرای روش تجزیه و تحلیل عاملی انجام شد. سپس مدل های به دست آمده، به کمک سه معیار خطای نسبی، مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب کارایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی نتایج به دست آمده نشان داد که دقت مدل‌های دو متغیره در برآورد مقادیر بیشتر بوده و این موضوع در مورد متغیرهای زمانی (زمان پایه، زمان تا اوج و زمان تا خشکیدگی) به وضوح تائید شده و دقت رگرسیون چند متغیره در برآورد دبی زیاد بوده و از بین روش‌های چند متغیره روش پسرو از دقت بالاتری برخوردار بوده است.

واژه‌های کلیدی: آب‌نمود واحد، تجزیه و تحلیل عاملی، تخمین سیلاب، مدل‌های رگرسیونی، مدل‌سازی هیدرولوژی

مقدمه

محدودیت‌های مختلف نظیر کافی نبودن ایستگاه‌های هیدرومتری، مشکل جمع‌آوری داده‌های هیدرومتری از آبراهه‌های رتبه پایین و هزینه‌بر بودن جمع‌آوری آمار و اطلاعات مشاهده‌ای، استفاده از مدل‌های هیدرولوژی در برآورد سیل را ایجاب می‌نماید. با توجه به اینکه این مدل‌ها اغلب بدون توجه به کارایی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری تهیه می‌شوند و با توجه به کاربردهای گوناگون این مدل‌ها

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

می‌توان به ضرورت انجام این تحقیق پی برد. در این راستا مدل‌هایی بین خصوصیات سیل و متغیرهای فیزیکی حوزه تهیه و از آنها استفاده گردیده است که در این خصوص می‌توان به تحقیقات هی‌کک و همکاران (۱۴) در راستای تهیه آب‌نمود واحد مصنوعی منطقه ای با توجه به خصوصیات ژئومورفولوژی شامل مساحت، شیب آبراهه، تراکم زهکشی و محیط در ایالات غربی آمریکا اشاره نمود مقایسه آب‌نمود تخمینی با مقدار مشاهده‌ای موید اختلاف کم بین شکل این دو آب‌نمود بود. گری (۱۱) نیز روشی برای بدست آوردن آب‌نمود واحد برای حوزه های آبخیز غرب امریکا ارائه داد که برای تعیین مؤلفه های آب‌نمود واحد از همبستگی این مؤلفه‌ها با خصوصیات فیزیکی متغیر شکل، زمان اوج و نسبت زمان تا اوج استفاده کرد و نتیجه نشان داد که این نتایج با مقادیر اندازه گیری شده اختلاف کمی داشت. رودریگز ایتورب و والدز (۲۱) در تحقیقی در مرکز ایالات شرقی امریکا رابطه بین زمان تا اوج آب‌نمود، میانگین دبی اوج و حجم با متغیرهای فیزیکی حوزه مانند مساحت، شکل، شیب، تراکم زهکشی و ارتفاع حوزه و همچنین رابطه آنها به صورت ترکیبی را با هم مورد بررسی قرار دادند و چنین نتیجه گرفتند که پاسخ هیدرولوژیکی حوزه به متغیرهای ژئومورفولوژیکی حوزه بستگی دارد و همچنین دریافتند که آب‌نمود واحد لحظه‌ای می‌تواند با خصوصیات مستقل و ثابت حوزه مانند ضریب دوشاخه شدن، ضریب طول آبراهه و ضریب مساحت برفی حوزه ارتباط داشته باشد. گوپتا و همکاران (۱۲) رابطه ریاضی آب‌نمود واحد لحظه ای را با پهنای حوزه بررسی نمودند. این نظریه در محل اتصال آبراهه‌ها به هم در محلی که با خروجی حوزه فاصله دارد مورد آزمون قرار گرفت و تاثیر آن روی شکل آب‌نمود و دبی اوج بررسی و مورد تایید قرار گرفت. ین و لی (۳۰) مدل آب‌نمود واحد ژئومورفولوژی لحظه‌ای در دو حوزه تپه ماهوری در شرق امریکا و هم‌چنین دو حوزه در ایلینویز[1] را مورد آزمایش قرار داد و نتیجه گرفت که این مدل برای آنالیز بارش- رواناب کارایی خوبی داشت. کالینا و همکاران (۱۶) با به دست آوردن آب‌نمود و رسوب‌نمود از طریق متغیرهای ژئومورفولوژیکی حوزه ای در امریکا و مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده به این نتیجه رسیدند که شکل آب‌نمود و رسوب‌نمود همبستگی بالایی با خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوزه داشت. فلورن و دوچسن (۱۰) با بررسی ارتباط بین شکل شبکه رودخانه و پاسخ هیدرولوژیکی حوزه در قالب آب‌نمودها در فرانسه به این نتیجه رسیدند که ارتباط بین متغیرهای ژئومورفولوژیک و مؤلفه‌های آب‌نمود معنی‌دار بوده است. آماندا و همکاران (۳) پس از مطالعه ارتباط بین متغیرهای ژئومورفولوژی و عکس‌العمل هیدرولوژیکی حوزه آبخیز ایلینویز امریکا به این نتیجه رسیدند که متغیرهای ژئومورفولوژیکی در پاسخ هیدرولوژیکی تاثیر زیادی دارند و این تاثیرگذاری در دبی‌های با

1- Illinois

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

فراوانی زیاد، واضح‌تر بوده است در صورتی‌که در دبی‌های با فراوانی کم‌تر خصوصیات دینامیکی آب نقش مهمی داشت. جنا و تیواری (۱۵) پس از مدل‌سازی بین متغیرهای آب‌نمود واحد مصنوعی و متغیرهای ژئومورفولوژیکی مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، ضریب دوشاخه شدن آبراهه و شیب آبراهه، دو حوزه و زیرحوزه‌های هندوستان به این نتیجه رسیدند که آب‌نمود واحد مصنوعی ناشی از خصوصیات ژئومورفولوژیکی مطابقت خیلی زیادی با مقدار مشاهده ای آنها داشته است. لیتل وود و همکاران (۱۷) در دو حوزه آبخیز کشور برزیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارتفاع، کاربری اراضی خصوصیات خاک حوزه‌ها را بدست آوردند و با این خصوصیات آب‌نمود واحد را مدل‌سازی و پس از واسنجی مدل و مقایسه با مدل‌های دیگر در این کشور کارایی آن تائید نمودند. از طرفی طی سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در رابطه با اهمیت شیوه‌های مختلف آماری در تعامل با نقش مقیاس در هیدرولوژی در زیرحوزه‌های مختلف آبخیز آمازون، در بخش‌هایی از اروپا و نیز در تبیین عدم یقین‌های مترتب بر نقش تغییرات آب و هوایی بر هیدرولوژی در حوزه‌های آبخیز کانادا صورت پذیرفته است (۵، ۶ و ۲۸). نتایج آنها دلالت بر ضرورت صحت کاربرد مدل‌های مختلف آماری بر نتایج حاصل از تحلیل‌های هیدرولوژی داشته است. در ایران نیز هاشمی (۱۳) با مطالعه درباره رابطه دبی متوسط سیلاب با بعضی از متغیرهای فیزیکی حوزه به این نتیجه رسید که عوامل فیزیکی از جمله شکل حوزه آبخیز تاثیر زیادی بر دبی متوسط سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای داشته‌اند. در این مطالعه از ضریب گراولیوس به عنوان شاخص شکل حوزه آبخیز استفاده شد. دیندارهاسو (۸) پس از تحقیق خود در حوزه آبخیز لیقوان در رابطه با کاربرد روش اشنایدر به این نتیجه رسید که تخمین دبی اوج آب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و زمان تا اوج با روش مذکور از مطابقت بیشتری با مقادیر مشاهده‌ای برخوردار می‌باشد. عبدالهی (۱) نیز آب‌نمود استنتاجی از مدل آب‌نمود واحد ژئومورفولوژیکی را با مقادیر مشاهده‌ای در حوزه آبخیز خانمیرزا مقایسه کرد. نتایج این ارزیابی نشان داد که در بیشتر موارد دبی‌های اوج برآوردی توسط مدل‌های تجربی کم‌تر از میزان واقعی آنها بوده است. همچنین شاه‌محمدی‌حیدری و بهنیا (۲۵) پس از بررسی ۱۱ ایستگاه هیدرومتری در شرق و جنوب شرق جلگه خوزستان با استفاده از روابط همبستگی بین مساحت و سیلاب با دوره برگشت‌های مختلف رابطه‌ای برحسب مساحت و دوره برگشت به‌دست آوردند که برای محاسبه دبی حداکثر سیلاب در منطقه مورد مطالعه و برای حوزه های تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع قابل استفاده بود. صادقی و همکاران (۲۳) نیز نشان دادند که مدل‌های درجه سه، خطی، ترکیبی و توانی به ترتیب بیش‌ترین توانایی در تعیین

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

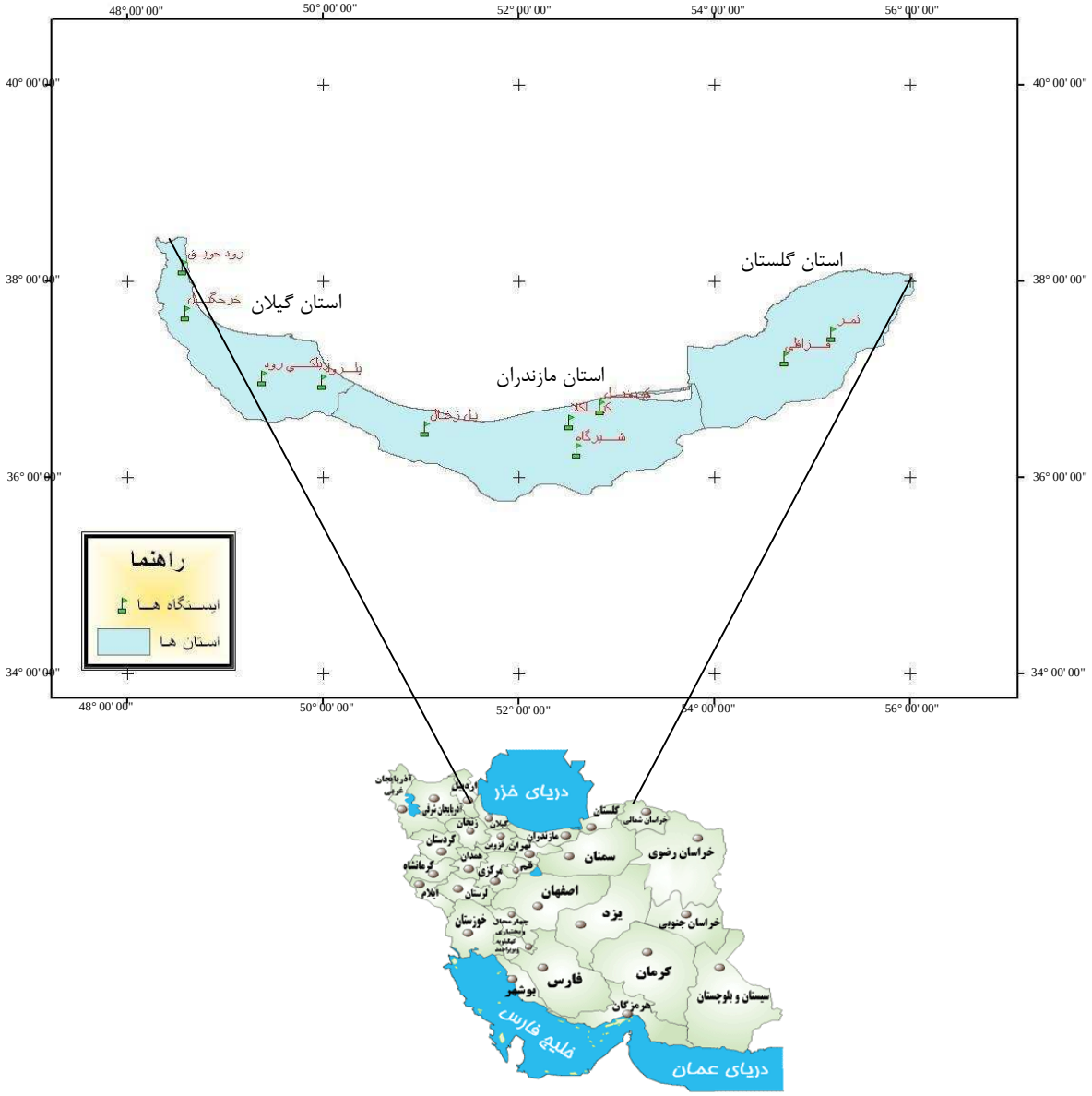
مدل‌های بارش- روانآب در حوزهٔ آبخیز کسیلیان را داشتند. هم‌چنین بررسی نتایج مربوط به رگرسیون چند متغیره نشان داد که روش تجزیه و تحلیل عاملی موجب کاهش دقت شد. از میان رگرسیون‌های چند متغیره نیز روش‌های گام به گام و در برخی دیگر روش پسرو بهتر عمل کرده است. مدل‌سازی تولید روان آب حوزه‌های آبخیز استان کردستان با استفاده از متغیّرهای فیزیوگرافی و اقلیمی نیز به‌صورت موفق توسط صلواتی و همکاران (۲۴) انجام شده است.

بررسی مطالعات و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که در زمینه مدل‌سازی آب‌نمود واحد با استفاده از خصوصیات مختلف فیزیکی در حوزه‌های آبخیز خصوصاً در داخل کشور کار زیادی صورت نگرفته حال آن‌که دست‌یابی به آب‌نمودهای مزبور با استفاده ویژگی‌های زودیافت فیزیکی از لحاظ مدیریتی بسیار ارزشمند می‌باشد (۲۰). از این رو این تحقیق با هدف دست‌یابی به مدل یا مدل‌های مناسب برای تعیین اجزای مختلف آب‌نمود واحد با استفاده از خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز شمال کشور می‌باشد. فرضیه مورد نظر در این بررسی را می‌توان در امکان تخمین مؤلفه‌های آب‌نمود واحد با استفاده از ویژگی های فیزیکی حوزه‌های آبخیز مطالعاتی و دقت متفاوت شیوه‌های آماری در تخمین‌های مزبور بیان نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به عنوان جزئی از بزرگ آبخیز بسته دریای خزر می‌باشد که دارای کشیدگی شرقی-غربی بوده و در بین طول‌های ۴۴ تا ۵۹ درجه شرقی و عرض‌های بین ۳۵ تا تقریبا ۴۰ درجه شمالی قرار گرفته است. مساحت آن ۱۷۷۰۰۰ کیلومترمربع است که از این مقدار ۱۳۲۵۰۰ کیلومترمربع در ارتفاعات و ۴۴۵۰۰ کیلومترمربع در دشت‌ها گسترده شده است. این بزرگ حوزه در شمال کشور و استان‌های مازندران و گیلان را به‌طور کامل و قسمت‌های عمده‌ای از استان‌های گلستان، آذربایجان شرقی و زنجان و هم‌چنین بخش‌هایی از استان‌های خراسان، کردستان، آذربایجان غربی را در بر می‌گیرد. ارتفاع متوسط حوزه در حدود ۱۰۵۰ متر از سطح آزاد آب‌ها بوده و ۱۰/۹ درصد از وسعت مملکت را شامل شده است. محیط این بزرگ حوزه ۴۴۲۵ کیلومتر، طول کلی آبراهه‌های اصلی آن ۸۲۰۰ کیلومتر و ضریب گراولیوس آن ۲/۹۴ است حوزه آبخیز دریای مازندران از رطوبت نسبی بالایی برخوردار و میزان نزولات جوی سالانه آن ۴۳۷ میلی‌متر و از شرق به غرب کاملاً متفاوت است (۲۲). شکل ۱ سیمای کلی محدوده مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]



شکل ۱- موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد نظر در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان.

اطلاعات مورد نیاز برای انجام این تحقیق شامل خصوصیات فیزیکی حوزه، آب‌نمود و هایتوگراف مربوط به هر رگبار بود. آب‌نمود و هایتوگراف لازم با مراجعه به سازمان‌های هواشناسی کشور و تحقیقات منابع آب (تماب) و هم‌چنین اداره‌های آب منطقه‌ای استان‌های

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

گیلان، مازندران و گلستان و متغیرهای فیزیکی حوزه‌ها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰منطقه و اطلاعات موجود تهیه شد (۲۹). با مراجعه به سازمان‌های مذکور و اطلس منابع آب ایران تعداد ۸۱ ایستگاه هیدرومتری در منطقه شناسایی شدند که با بررسی های صورت گرفته از قبیل موجودیت آمار بارش و رواناب، فعال بودن فعلی ایستگاه، پراکنش مناسب در منطقه، هم‌زمانی مناسب آمار ثبت شده بارش و رواناب، هم‌زمانی داده‌های ایستگاه‌های مختلف، نهایتاً ۱۰ ایستگاه هیدرومتری شامل ایستگاه‌های تمر و قزاقلی در استان گلستان، کردخیل، تالار شیرگاه، کیاکلا و پل زغال در استان مازندران و ایستگاه‌های پلرود، خرجگیل، رود حویق و زیلکی رود دراستان گیلان (شکل ۱) انتخاب و آب‌نمودهای این ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

برای انجام تحقیق، در ابتدا کلیه آمار و اطلاعات ایستگاه‌های انتخابی از مراکز متولی و ذیربط جمع‌آوری و در نهایت با توجه به دقت در تهیه آنها، جزئیات مورد نظر و هم‌چنین هم‌زمانی با بارش به وقوع پیوسته، حداکثر تعداد ممکن آب‌نمود و هایتوگراف مشخص گردید. در مرحله بعد، به منظور اطمینان از وابستگی آب‌نمود به رگبار انتخابی از داده‌های با آب‌نمود منفرد و نسبتا زنگوله‌ای شکل استفاده گردید. پس از طی این مراحل تعداد ۴۴ واقعه سیل و هایتوگراف و آب‌نمود مربوطه، برای آغاز این تحقیق به‌دست آمد. در مرحله بعد، دبی پایه آب‌نمودها با استفاده از روش‌های خط مستقیم، خط شیب رو به بالا، خط شیب رو به پایین و نقاط شکستگی روی شاخه خشکیدگی (۲۶) جدا و سپس حجم رواناب مستقیم محاسبه گردید و از تقسیم حجم رواناب مستقیم به سطح حوزه ارتفاع متوسط رواناب مشخص و نهایتاً آب‌نمود واحد مرتبط از تقسیم دبی آب‌نمود مستقیم به ارتفاع متوسط رواناب بدست آمد (۲ و ۱۸) و برای تعیین هایتوگراف مربوط به بارش مازاد از شاخص فی استفاده شد. متغیرهای تعیین کننده مهم شکل آب‌نمود شامل دبی اوج، زمان پایه، عرض‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، زمان تا اوج، زمان پایه، دبی در نقطه عطف و زمان تا خشکیدگی (۴ و ۲۷) انتخاب و برای ارزیابی آنها در خصوص شکل آب‌نمود واحد استفاده شد. جهت تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از آزمون ارتباط رگرسیون دو و چند متغیره به ترتیب به منظور دستیابی به ارزیابی سریع متغیرهای مورد نظر و هم‌چنین مشارکت عوامل مهم کنترل‌کننده مؤلفه‌های آب‌نمود واحد استفاده گردید. نرم‌افزار SPSS12 (۹) جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری انتخاب گردید.

در مرحله بعد به منظور تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از رگرسیون دو متغیره و چند متغیره استفاده گردید. در رگرسیون دو متغیره، ارتباط بین تک تک متغیرهای وابسته شامل ۹ ویژگی آب‌نمود واحد با متغیرهای مستقل شامل ۸ ویژگی از

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

خصوصیات فیزیکی به شکل دوتایی بررسی شد. روابط دوتایی بین متغیرها در حالت‌های خطی، لگاریتمی، معکوس، معادله درجه دو، معادله درجه سه، ترکیبی، توانی، حالت S، مدل منحنی رشد و مدل نمایی مورد بررسی قرار گرفت (۲۳). هم‌چنین جهت تعیین ارتباط خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته، رگرسیون خطی چند متغیره نیز مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله به منظور تایید آزمون رگرسیون و بررسی فرضیه‌های مرتبط آزمون نرمال بودن داده‌های مستقل و وابسته با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، آزمون همگنی واریانس خطاها با استفاده از رسم نمودار مقادیر خطای استاندارد شده در مقابل مقادیر پیش بینی استاندارد شده، آزمون عدم خود همبستگی بین خطاها با استفاده از آماره دوربین- واتسون، آزمون نرمال بودن خطاها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و تحلیل نقاط پرت با استفاده از آماره تشخیص انجام گرفت (۲۳). بعد از تایید تمامی فرضیه‌های فوق اقدام به انجام رگرسیون بین متغیرهای وابسته و مستقل گردید. به منظور کاهش تعداد متغیرهای مستقل (۸ عدد) از روش آماری تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و عامل اصلی استفاده شد (۲۳ و ۲۹). سپس روش‌های معمول انجام آزمون رگرسیون چند متغیره شامل گام به گام[1] و پسرو[2] به دلیل نتیجه بهتر در تحقیقات پیشین (۲۳) مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب برای هر متغیر وابسته یک، دو یا چند رابطه به دست آمد. از میان روابط به دست آمده، با توجه به درجه آزادی n-۲ مدل‌هایی با ضریب تبیین معنی‌دار در سطوح ۱و ۵ درصد و به ترتیب مساوی یا بزرگ‌تر از ۰/۴۰۹ و ۰/۳ (۱۸) انتخاب و سرانجام مدل‌های با ضریب همبستگی بالاتر به‌عنوان مدل‌های برتر در این مرحله برگزیده شدند. سپس انتخاب نهایی مدل‌ها، با استفاده از سه معیار خطای نسبی[3] مجذور میانگین مربعات خطا[4] و ضریب کارایی[5] (۲۳ و ۲۴) صورت گرفت.

برای دستیابی به مدل نهایی تخمین‌گر هر متغیر وابسته از معیارهای ارزیابی مهم ضریب تبیین تعدیل شده، خطای نسبی تخمین و تائید، مجذور میانگین مربعات خطا و نهایتاً ضریب کارایی استفاده شد. اعتبار نهایی مدل بدست آمده با توجه به مقادیر قابل قبول خطای تخمین و تائید کمتر از ۴۰ درصد (۷)، مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا کوچک‌تر و ضریب کارایی بیش از ۶۰ درصد و نزدیک به یک (۲۳) استفاده شد. هم‌چنین برای تایید مدل‌ها از روش کیفی نیز استفاده شد. در این روش وضعیت عمومی و ظاهری آب‌نمودهای واحد مشاهده‌ای و تخمینی با یکدیگر مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفتند (۲۳). از مجموع ۴۴ سری داده جمع‌آوری شده به‌ترتیب ۳۴ و ۱۰ مورد از آنها برای مراحل واسنجی و تائید مدل‌های نهایی استفاده شد.

نتایج و بحث

به منظور رسیدن به مدل‌های مناسب برای تهیه آب‌نمود واحد با استفاده از متغیرهای

1- Stepwise 2- Backward 3- Relative Error 4- Root Mean Square Error
5- Coefficient of Efficiency

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

فیزیکی، ارتباط بین متغیرهای مستقل (متغیرهای فیزیکی) و وابسته (اجزای آبنمود واحد) به شکل‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. سپس از میان روابط به دست آمده برای هر متغیر وابسته، با توجه به ضریب تبیین تعدیل شده، درصد خطای نسبی و مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب کارایی، مدل‌های نهایی برای منطقه شمال کشور به همراه شاخص‌های کمّی ارزیابی عملکرد آن‌ها شامل ضریب تبیین، خطای تخمین و تایید به شرح ارائه شده در جدول ۱ انتخاب شدند.

همان‌طور که در بخش قبل اظهار شد قبل از اقدام به آزمون رگرسیون خطی چند متغیره، روش تجزیه و تحلیل‌های خوشه‌ای و عاملی روی متغیرهای مستقل، جهت تهیه مناطق همگن احتمالی و کاهش تعداد آن‌ها اجرا شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای دلالت بر عدم امکان همگن بندی هیدرولوژیک را تائید نمود. محدودیت تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه و واقع شدن بعضاً تنها یک ایستگاه در یک طبقه همگن امکان استفاده از تحلیل خوشه‌ای را سلب نمود. لذا کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در قالب یک منطقه مورد بررسی و برای ارزیابی بعدی استفاده شدند. اجرای تجزیه و تحلیل عامل اصلی نیز منجر به ایجاد چهار محور شد که از هرکدام یک متغیر با بیش‌ترین ضریب همبستگی به عنوان نماینده آن محور انتخاب شد.

نتایج حاصل از انجام روش تجزیه و تحلیل عاملی نشان داد که در اغلب موارد سطح معنی‌دار بودن آزمون بیش از ۵ درصد بوده است. استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره به دو روش گام به گام و پسرو نیز بیان‌گر برتری روش رگرسیون پسرو در تخمین متغیرهای مورد بررسی به صورت ارائه شده در جدول ۱ بوده است. هم‌چنین به دلیل حجم زیاد از ارائه نتایج رگرسیون دو متغیره خودداری شده است.

با محاسبه مقدار ضریب رگرسیون استاندارد در روابط چند متغیره خطی مشخص شد که تاثیر متغیر محیط حوزه در این روابط بسیار زیاد و در اولویت قرار دارد. هم‌چنین نتایج به‌دست آمده از محاسبه ضریب کارایی مدل‌های نهایی بدست آمده در مرحله تائید دست‌یابی به مقادیر حداقل و حداکثر به ترتیب ۰/۰۴۳ و حداکثر ۰/۹۰۱ به ترتیب برای وقایع مورخ ۷۵/۱/۲۵ و ۶۲/۷/۱۶ در ایستگاه‌های زیلکی‌رود و کردخیل و مقدار میانگین ۰/۳۲ ± ۰/۵۲ بوده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

جدول ۱- نتایج حاصل از رگرسیون چند متغیره

متغیر وابسته	روش آماری مورد استفاده	ضریب تبیین	سطح اعتماد (درصد)	خطای نسبی (درصد)	مجذور میانگین مربعات خطا
دبی اوج	گام به گام	۰/۹۳۲		۲۶۹/۹۴	۲/۵۴
	پسرو	۰/۹۹۳			
	گام به گام ۴ عاملی	۰/۹۲۴	۹۹	۴۱/۷۱	۰/۲۵
	پسرو ۴ عاملی	۰/۹۳۱		۱۴/۶۵	۰/۱۶
	۱ عاملی	۰/۶۱۱		۴۲/۵۶	۰/۲۹
دبی در عرض ۲۵٪	گام به گام	۰/۹۹۲		۲۶۹/۸۶	۲/۵۴
	پسرو				
	گام به گام ۴ عاملی	۰/۹۲۴	۹۹	۴۰/۱۷	۰/۲۳
	پسرو ۴ عاملی	۰/۹۳۱		۱۴/۶۳	۰/۱۷
	۱ عاملی	۰/۶۱۱		۴۲/۶۳	۰/۲۹
دبی در عرض ۵۰٪	گام به گام	۰/۹۹۶		۲۷۰/۳۲	۲/۵
	پسرو				
	گام به گام ۴ عاملی	۰/۹۲۴	۹۹	۴۲/۵۶	۰/۲۹
	پسرو ۴ عاملی	۰/۹۳۱		۱۲/۸۵	۰/۰۳۷
	۱ عاملی	۰/۶۱۱		۴۲/۵	۰/۲۹
دبی در عرض ۷۵٪	گام به گام	۰/۹۹۲		۲۷۰/۰۳	۲/۵۴
	پسرو	۰/۹۹۶		۳۴۹/۷	۳/۲
	گام به گام ۴ عاملی	۰/۹۲۴	۹۹	۴۱/۳۲	۰/۲۴
	پسرو ۴ عاملی	۰/۹۳۱		۱۴/۸	۰/۱۵
	۱ عاملی	۰/۶۱۱		۴۲/۵۴	۰/۲۹
زمان پایه	گام به گام	۰/۳۳۳	۹۹	۹۰/۵۵	۰/۸۴
	پسرو	۰/۲۷	۹۵	۱۶۸/۶	۱/۶۹
	گام به گام ۴ عاملی	۰/۱۳۶	۹۵	۵۳۸/۱	۳/۰۳
	پسرو ۴ عاملی				
	۱ عاملی	رابطه برقرار نشد.			

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

ادامه جدول ۱- نتایج حاصل از رگرسیون چند متغیره

متغیر وابسته	روش آماری مورد استفاده	ضریب تبیین	سطح اعتماد (درصد)	خطای نسبی (درصد)	مجذور میانگین مربعات خطا
دبی در نقطه عطف	گام به گام	۰/۵۲۴	۹۹	۳۹/۸۴	۰/۳۱
	پسرو	۰/۷۹۸		۴۸/۵	۰/۴۷
	گام به گام ۴ عاملی	۰/۷۶۴		۵۶/۳۳	۰/۳۰۶
	پسرو ۴ عاملی			۵۶/۵۶	۰/۳۰۹
	۱ عاملی	۰/۴۷۱		۱۳/۹۲	۰/۱۱
زمان تا اوج	گام به گام	۰/۲۰۴	۹۵	۹۹/۹۹	۱
	پسرو	۰/۲۵۱		۵۱۰/۴۴	۴/۹۱
	گام به گام ۴ عاملی	۰/۰۸۲		۹۴/۶۳	۰/۹۴
	پسرو ۴ عاملی				
	۱ عاملی	رابطه برقرار نشد.			
زمان تا خشکیدگی	گام به گام	۰/۲۸۲	۹۵	۹۸/۸۶	۰/۹۹
	پسرو	۰/۳۵۲		۳۰۷/۹۳	۳/۸
	گام به گام ۴ عاملی	۰/۵۴۹	۹۹	۹۵/۸۲	۰/۹۷
	پسرو ۴ عاملی				
	۱ عاملی	رابطه برقرار نشد.			

نتایج به‌دست آمده از تحلیل رگرسیون دو و چند متغیره نشان داد که عملکرد مدل‌های دو متغیره به‌رغم استفاده از متغیر یگانه در تخمین متغیرهای وابسته آب‌نمود واحد با ضریب تبیین حداقل ۰/۲۳۱ در سطح اعتماد ۹۹ درصد، خطای تخمین حداکثر ۳۷۴/۶ درصد و مجموع میانگین مربعات خطای حداکثر ۳/۷۴ در مقایسه با رگرسیون‌های چند متغیره بسیار بالاتر بوده که با تاکیدات صادقی و همکاران (۲۳) در تحلیل ارتباط مؤلفه‌های آب‌نمود و باران‌نمود کاملاً مطابق می‌باشد. علت این امر را می‌توان کم بودن تعداد متغیرها در رگرسیون دو متغیره و طبعاً کاهش ارتباطات درونی متغیرها با یکدیگر و یا دامنه تغییر متغیر مورد نظر دانست.

هم‌چنین در راستای تاکیدات وفاخواه (۲۹) و صادقی و همکاران (۲۳)، توانایی مدل‌های رگرسیون چند متغیره با شیوه پسرو در تحلیل رگرسیون چند متغیره مورد تائید قرار گرفت (۳). علاوه بر یافته‌های فوق، ارتباط غیرخطی اغلب روابط دو و چند متغیره در تبیین خصوصیات آب‌نمود واحد دو ساعته مورد تائید قرار گرفتند که با نظرات سینگ (۲۶) مبنی بر ارتباط غیرخطی اغلب متغیرهای هیدرولوژیک و هم‌چنین ملچینگ (۱۹) مبنی بر درصد خطای تخمین و تائید کم‌تر مدل‌های تغییر شکل یافته هم‌خوانی دارد (۱۹ و ۲۶). به‌طور کلی نتایج رضایت بخش بدست آمده در ارتباط با امکان شبیه‌سازی آب‌نمود واحد با استفاده از متغیرهای

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

فیزیکی حوزه با یافته‌های بسیاری از تحقیقات گذشته (۱۲ و ۱۶) هم‌سو است، اگرچه نتایج به‌دست آمده از لحاظ متغیرهای برآورد کننده مؤلفه‌های مختلف آب‌نمود واحد متفاوت می‌باشد.

یافته‌های تحقیق حاضر مبنی بر نقش معنی‌داری محیط و طول شیب حوزه در کنترل دبی اوج آب‌نمود واحد با یافته‌های اشنایدر (۲۷)، هی‌کک (۱۴)، گری (۱۱)، گوپتا (۱۲)، فلورن و دوچسن (۱۰) مبنی بر تبعیت مؤلفه‌های مختلف آب‌نمود واحد لحظه‌ای از شیب کانال اصلی، طول حوزه، مساحت، شکل و تراکم زهکشی و پهنای حوزه آبخیز در مناطق مورد مطالعه مطابقت ندارد. نتیجه تحقیقات دیندارهاسو (۸) نیز بر عدم توانایی مدل اشنایدر در بازسازی هیدروگراف واحد و طبعاً عدم کارایی متغیرهای مورد نظر در روش مذکور (طول آبراهه اصلی، طول آبراهه اصلی از نقطه خروجی حوزه تا نقطه‌ای در مقابل مرکز ثقل حوزه و مساحت حوزه) دلالت دارد. از این‌رو یافته‌های تحقیق حاضر به‌دلیل دستیابی به متغیرهای برآورد کننده متفاوت با متغیرهای مورد استفاده روش اشنایدر مورد تائید قرار می‌گیرد که با یافته‌های رودریگز ایتورب و والدز (۲۱)، جنا و تیواری (۱۵)، لیتل‌وود و همکاران (۱۷) در خارج از کشور و هم‌چنین عبدالهی (۱) در ایران مبنی بر توانایی روش‌های ژئومورفولوژیک مبنی بر سایر متغیرهای فیزیکی و تاکیدات به‌عمل آمده در خصوص کنترل نسبی مؤلفه‌های آب‌نمود واحد توسط متغیرهای به‌دست آمده طی تحقیق حاضر به انضمام برخی دیگر از متغیرهای فیزیکی هماهنگی دارد. از طرفی به استناد تحلیل به‌عمل آمده با استفاده از ضرایب رگرسیون استاندارد شده عوامل موثر فیزیکی حوزه در روابط چند متغیره می‌توان استنباط نمود که عامل محیط حوزه تقریباً نیمی از نقش کنترل‌کنندگی کلیه متغیرهای دبی اوج (رابطه ۱)، دبی در عرض ۲۵ درصد (رابطه ۳)، ۵۰ درصد (رابطه ۴) و ۷۵ درصد (رابطه ۵) را عهده‌دار است. طول آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط و شیب متوسط حوزه به‌ترتیب عوامل کنترل‌کننده بعدی متغیرهای مذکور می‌باشند. هم‌چنین با توجه به نتایج مربوط به رگرسیون‌های دو متغیره برتر در جدول مذکور می‌توان استنباط کرد که عوامل زمانی آب‌نمود واحد دو ساعته حوزه‌های مورد مطالعه مشخصاً تابع شیب متوسط حوزه می‌باشد حال آن‌که دبی در نقطه عطف هم‌چنان توسط عامل محیط حوزه تحت کنترل می‌باشد.

مقایسه کیفی آب‌نمودهای واحد مشاهده‌ای و تخمینی دلالت بر تطابق عمومی شکل آنها با یکدیگر داشته و حداکثر اختلاف‌ها در وقوع اوج آب‌نمودها و زمان‌های پایه به‌ترتیب ۲ و ۶ ساعت می‌باشد. هم‌چنین دقت در آب‌نمودهای ارائه شده و نتایج ارزیابی کارایی مدل‌ها نشان می‌دهد که کارایی مدل‌های به‌دست آمده در بازسازی سیل‌های بزرگ از دقت بیش‌تری نسبت به سیل‌های کوچک (رگبارهای مورخ

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

۱۳۷۵/۱۱/۲۵، ۱۳۷۶/۱۲/۲۷ و ۱۳۷۱/۶/۲۴) برخوردار است این یافته ضمن عدم تطابق با ایده آماندا و همکاران (۳) مبنی بر تاثیرگذاری بیش‌تر عوامل ژئومورفولوژی بر سیلاب‌های کوچک بر اهمیت بیش‌تر متغیرهای پویا (پوشش گیاهی و مدیریت اراضی) بر کنترل این گونه سیل‌ها تاکید دارد.

تحقیق حاضر با هدف بررسی ارتباط متغیرهای آب‌نمود واحد و خصوصیات فیزیکی ناحیه شمال کشور و خصوصاً استان‌های گیلان، مازندران و گلستان به منظور امکان‌سنجی بازسازی آب‌نمودهای واحد با استفاده از ویژگی‌های زودیافت فیزیکی و طبعاً ارزیابی سیلاب در منطقه مذکور با موفقیت انجام پذیرفت. ارزیابی فرضیه متصور در این تحقیق با توجه به نتایج به‌دست آمده دلالت بر پذیرش فرضیه امکان پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیک حوزه با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی دارد. تفاوت در نتایج به‌دست آمده و یافته‌های محققین پیشین مشخصاً دلالت بر ضرورت انجام مطالعات منطقه‌ای و لحاظ متغیرهای کنترل کننده مؤلفه‌های آب‌نمود سیل در هرمنطقه دارد. با استفاده از نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر می‌توان جمع‌بندی نمود که به‌رغم تعداد بسیار کم وقایع قابل استفاده در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیک به‌واسطه پراکندگی داده‌ها، عدم مدیریت اطلاعاتی و هم‌چنین پیچیدگی شرایط حاکم، امکان شبیه‌سازی آب‌نمودهای واحد دو ساعته برای منطقه شمالی کشور با تاکید بر استان‌های گیلان، مازندران و گلستان به کمک تنها چهار عامل محیط، ارتفاع متوسط وزنی، شیب متوسط و طول آبراهه اصلی وجود دارد. اگرچه، دستیابی به جمع‌بندی‌های نهایی و جامع مستلزم تداوم تحقیقات در این زمینه و با استفاده از بانک‌های اطلاعاتی کامل و گسترده‌تر می‌باشد.

منابع

1. Abdollahi, Kh. 2002. Runoff modeling using IUGH, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University. 77 pp.
2. Afshar, A. 1990. Engineering Hydrology, Nashr-e-Daneshgahi Publication Center, 459 pp.
3. Amanda, B., P.K. Patricia, M. Saco, B.L. Rhoads and B.C. Yen. 2004. Hydrodynamic and geomorphologic dispersion: Scale effects in the Illinois River Basin, Journal of Hydrology. 288: 237-257.
4. Campolor, M.A. and A. Solodati. 1999. River flood forecasting with a neural network model. Water Resource Research. 35: 1191-1197.
5. Chen, J., F.P. Brissette and R. Leconte. 2011. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology, Journal of Hydrology. 401(3-4): 190-202.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

6. Clarke, R.T., R.D. de Paiva and C.B. Uvo. 2009. Comparison of methods for analysis of extremes when records are fragmented: A case study using Amazon basin rainfall data, Journal of Hydrology. 368(1-4): 26-29.
7. Das, G. 2000. Hydrology and soil conservation Engineering, Asoke K.Ghosh, Prentice-Hall of India. 489 pp
8. Dindarhasoo, A. 2000. Calibration of geomorphologic instantaneous hydrograph of Lighvan Watershed, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University. 175 pp.
9. Esmaeilian, M. 2005. Manual of SPSS12, 1st Ed., Naghous Publication. 599 pp.
10. Fleurrant, C. and J. Duchesne. 2003. Geomorphological unit hydrograph models derive statistical physics and fractal geometry, European Geophysical Society. 5: 1101-1107.
11. Gray, D.M. 1961. Synthetic unit hydrograph for small watersheds, Journal of Hydraulic Division, ASCE. 87(4): 33-54
12. Gupta, V.K., E. Waymire and I. Roddriguez-Iturb. 1986. On scales gravity and network structure in basin runoff. *In:* Scale Problems in Hydrology. Gupta, V., I. Rodriguez-Iturb and E. Wood (Eds). Holland. 1986: 159-180. Dordrecht, Holand.
13. Hashemi, A.A. 1997. Study on relationship between flood mean discharge and some physical characteristics of watersheds (Case study: Semnan Province), M.Sc. Thesis, University of Tehran. 94 pp.
14. Hickok, R.B., R.V. Koppel and B.R. Rafferty. 1959. Hydrograph synthesis for small arid land watersheds, Agricultural Engineering. 40(10): 608-611.
15. Jena, S.K. and K.N. Tiwari. 2006. Modeling synthetic unit hydrograph parameters with geomorphologic parameters of watersheds, Journal of Hydrology. 319: 1-14.
16. Kalina, L., R.S. Govindarajua and M.M. Hantush. 2003. Effect of geomorphology resolution on modeling of runoff hydrograph and sedimentograph over small watershed. Journal of Hydrology. 276: 89-111.
17. Littlewood, I.G., R.T. Clarke, W. Collischonn and B.F.W. Croke. 2007. Predicting daily streamflow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments, Environmental Modelling and Software. 22(9): 1229-1239.
18. Mahdavi, M. 2002. Applied Hydrology, 2nd Vol., 4th Ed., University of Tehran Publication. 427 pp.
19. Melching, C.S. 1991. Output reliability as guide for selecting of rainfall-runoff models. Journal of Water Resources Planning and Management. 117(3): 383-393.
20. Rahimian, R. 1995. Study on different models of geomorphologic instantaneous hydrograph and their application to synthesis of hydrographs in un-gagued watersheds, M.Sc. Thesis, Shiraz University. 101 pp.
21. Roddriguez-Iturb, I. and J.B. Valdes. 1979. The geomorphologic structure of hydrologic response, Water Resources Research. 15(6): 1409-1420.
22. Sadeghi, S.H.R., A. Afzali, M. Vafakhah and A.R. Telvari. 2010. Development of synthetic unit hydrograph for Northern Iranian Watersheds using physiographical characteristics, Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh and Sazandegi). 23(1): 15-23.
23. Sadeghi, S.H.R., H.R. Moradi, M. Mozayyan and M. Vafakhah. 2005. Comparison of different statistical analysis methods in rainfall-runoff modeling (Case study: Kasilian watershed). Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources Journal. 12(3): 81-90.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

24. Salavati, B., S.H.R. Sadeghi and A.R. Telvari. 2010. Runoff generation modeling for Kurdistan Province watersheds by using physiographic and climatic variables, Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology Journal), Ferdowsi University of Mashhad, 24(1): 84-96.
25. Shahmohammadi Heydari, Z. and A.K. Behnia. 2005. Development of regional model for flood peak estimation in lacked-data watersheds in eastern and south eastern Khuzestan Plain, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources Journal. 49(5): 101-107.
26. Singh, V.P. 1992. Elementary hydrology. Eastern Economy Edition, New Delhi, India. 973 pp.
27. Snyder, F.F. 1938. Synthetic unit-Hydrographs, Transactions of American Geophysics Union. 19: 447-454.
28. Tisseuil, C., M. Vrac, S. Lek and A.J. Wade. 2010. Statistical downscaling of river flows, Journal of Hydrology. 385(1-4): 279-291.
29. Vafakhah, M. 2000. Sediment regional analysis in northern region (Mazandaran and Gorgan), Tarbiat Modares University Project. 100 pp.
30. Yen, B.C. and K.T. Lee. 1997. Unit hydrograph derivation for ungauged watersheds by stream-order laws, Journal of Hydrology. 2(1): 1-9.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]

Capability of Various Statistical Analyses in Estimation of Unit Hydrograph Components for Northern Watersheds of Iran

S.H.R. Sadeghi[1], A. Afzali[2], M. Vafakhah[3] and A.R. Telvari[4]

1- Professor, University of Tarbiat Modares (Corresponding author: sadeghi@modares.ac.ir)
2 and 3- Former M.Sc. and Assistant Professor, University of Tarbiat Modares
4- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Abstract

The present research aimed to compare different methods of statistical analysis and to select the best method for achievement to the model among components of synthetic unit hydrograph by using of the physical characteristics of catchments, in northern catchments of Iran, with the area of 177000 km^2 in Giulan, Mazandaran and Golestan Provinces. For execution of the research, 9 physical characteristics of catchment and 8 characteristics of unit hydrograph components for 44 storms in the north parts of Iran have been chosen. Regression test by using bivariate approach and various forms such as linear, logarithmic, inverse, quadratic, cubic, exponential, power and combined forms has been used after execution of factorial analysis. The obtained models were evaluated by relative errors, RMSE and efficiency coefficient. Results showed that the bivariate models have more accuracy in estimation of the amounts especially in the case of temporal variables (base time, time to peak, time to depletion). Regression of several variables has high accuracy in estimation of discharge and recursion regression of several variables has the highest accuracy.

Keywords: Factor Analysis, Flood Estimation, Hydrologic Modeling, Regressions Models, Unit Hydrograph

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-04]