

کارآیی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدل‌سازی بارش - رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسلیان)

سید حمیدرضا صادقی^۱، حمید رضا مرادی^۱، ملیحه مزین^۲ و مهدی وفاخواه^۳

^۱استادیار، ^۲دانش‌آموخته و ^۳آمری گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران

تاریخ دریافت: ۸۲/۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۸۳/۱۰/۲۶

چکیده

تعیین پارامترهای هیدرولوژی از نظر ایمنی، جنبه اقتصادی طرح و عملکرد سازه‌های هیدرولیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از پارامترهای مهم در این زمینه رواناب است که اندازه‌گیری آن با محدودیت‌های مختلفی روبروست و به همین جهت استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در برآورد هیدروگراف سیل را ایجاب می‌کند. این تحقیق در صدد مقایسه روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری و انتخاب بهترین روش جهت دستیابی به مدل بارش - رواناب برای حوزه آبخیز کسلیان با مساحت ۶۶۷/۵ کیلومتر مربع واقع در استان مازندران می‌باشد. برای انجام این تحقیق ۱۵ ویژگی از هایتوگراف، ۱۱ ویژگی از هیدروگراف و همچنین ۱۲ پارامتر زمانی رابط بین هیدروگراف و هایتوگراف برای ۴۹ رگبار در حوزه آبخیز کسلیان در نظر گرفته شد. آزمون رگرسیون به روش دو متغیره و به شکل‌های مختلف خطی، لگاریتمی، معکوس، درجه دوم، درجه سوم، نمایی، توانی، ترکیبی، مدل‌های منحنی رشد و S و چندمتغیره به سه روش گام‌به‌گام، پیشرو و پسرو و پس از اجرای روش تجزیه و تحلیل عاملی انجام شد. بررسی نتایج مربوط به رگرسیون دو متغیره نشان داد که مدل‌های درجه سه، خطی، ترکیبی و توانی به ترتیب بیشترین توانایی در تعیین مدل‌های بارش - رواناب را داشتند. همچنین بررسی نتایج مربوط به رگرسیون چندمتغیره نشان داد که روش تجزیه و تحلیل عاملی موجب کاهش دقت می‌گردد. از میان سه روش دیگر نیز در بعضی موارد روش گام‌به‌گام و در برخی دیگر روش پسرو بهتر عمل کرده است، ولی نتایج روش گام‌به‌گام و پیشرو عیناً مشابه بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: مدل بارندگی - رواناب، مدل‌های رگرسیونی، تجزیه و تحلیل عاملی، کسلیان، ایران

مقدمه

محدودیت‌های مختلف نظیر کافی نبودن ایستگاه‌های هیدرومتری، مشکل جمع‌آوری داده‌های هیدرومتری از آبراهه‌های رتبه پایین و هزینه بر بودن جمع‌آوری آمار و اطلاعات مشاهده‌ای، استفاده از مدل‌های هیدرولوژی در برآورد هیدروگراف 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 می‌توان به ضرورت انجام این تحقیق پی برد. در جهان مطالعات زیادی در زمینه مدل‌سازی بارش - رواناب صورت گرفته است. هلوج و همکاران در سال ۱۹۸۳ یک مدل غیرخطی براساس هیدروگراف واحد فرعی مبتنی بر سعی و خطا در ایالات متحده آمریکا ارائه دادند. میمیکو و راثو نیز در سال



آماری استفاده شده و هیچ مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف و در هیچ مرحله‌ای از فرآیند مدل‌سازی صورت نگرفته است. از این رو هدف از این تحقیق مقایسه روش‌های مختلف انجام آزمون رگرسیون و انتخاب بهترین روش جهت دستیابی به مدل بارش- رواناب می‌باشد.

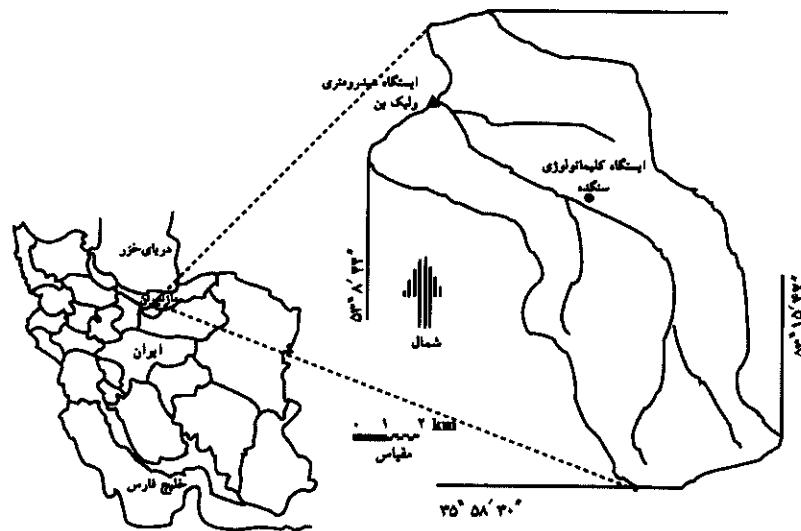
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوزه معرف کسلیان واقع در استان مازندران و به مساحت ۶۶۷۵ کیلومتر مربع، واقع در دامنه شمالی سلسله جبال البرز و بین عرض جغرافیایی $36^{\circ} 07' 15''$ و $35^{\circ} 08' 30''$ شمالی و طول جغرافیایی $53^{\circ} 08' 44''$ و $53^{\circ} 15' 42''$ شرقی در دامنه ارتفاعی ۱۱۰۰ تا ۲۷۰۰ متر از سطح دریا و در ۱۸ کیلومتری شرق پل سفید می‌باشد. حوزه آبخیز کسلیان به دلیل واقع شدن در دامنه شمالی البرز دارای پوشش غالب جنگلی بوده که به مرور زمان در اثر افزایش جمعیت روستاها بر وسعت کاربری‌های دیگر افزوده شده و از وسعت جنگل‌ها کاسته شده است (نام درست، ۱۳۸۱). اقلیم این حوزه براساس طبقه‌بندی دومارتن مرطوب تا بسیار مرطوب می‌باشد (سعادت، ۱۳۸۱). در حوزه آبخیز کسلیان سه ایستگاه کلیماتولوژی و نه ایستگاه باران سنجی و همچنین یک ایستگاه هیدرومتری در خروجی حوزه وجود دارد. شکل ۱ شمای کلی حوزه آبخیز کسلیان و محل ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

۱۹۸۳ مدل ساده‌ای برای بارش- رواناب برای یک منطقه در هند ارائه دادند. این مدل به صورت ارتباط خطی و غیرخطی و به صورت ماهانه برای بعضی حوزه‌های آبخیز اجرا شد. ملچینگ در سال ۱۹۹۱ اعتبار خروجی مدل بارش- رواناب را به‌عنوان مبنای انتخاب مدل پیشنهاد کرد. باشا در سال ۲۰۰۰ یک مدل ساده غیرخطی برای شبیه‌سازی پدیده بارش- رواناب براساس ارتباط غیرخطی ذخیره و میزان خروجی پیشنهاد نمود. صادقی در سال ۲۰۰۰ ارتباط برخی از خصوصیات شدت، مدت و مقدار بارش را با حجم، پیک و زمان وقوع رواناب در حوزه آبخیز امامه با استفاده از معادلات پیاپی را آنالیز کرده و به یک مدل مناسب دست یافت. همچنین یو و اردا نیز در سال ۲۰۰۲ برای دستیابی به اوج، حجم و زمان سیلاب روشی مناسب براساس تابع چگالی احتمال دو پارامتری در حوزه آبخیز آشاموشان^۱ کانادا ارائه کردند. در ایران نیز مرید و همکاران (۱۳۷۶) برای شبیه‌سازی رابطه بارش- رواناب در استان هرمزگان از مدل HEC-۱ استفاده کرده و ضمن تأیید بر کارایی آن، دقت در انتخاب هیدروگراف‌های با شکل متعارف زنگوله‌ای در فرآیند مدل‌سازی را تأکید نمودند. وفاخواه در سال ۱۳۷۸ در مطالعه‌ای روی شناخت عوامل مؤثر در سیلاب از روش تجزیه و تحلیل عاملی استفاده نمود و از این طریق کلیه عوامل مؤثر بر روی سیلاب را به چند عامل اصلی کاهش داد. همچنین خوجینی و همکاران در سال ۱۳۷۸ به تحلیل منطقه‌ای سیلاب‌ها با استفاده از مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره پرداختند.

همانطور که ملاحظه گردید در هر یک از این مطالعات از روش خاصی جهت انجام تجزیه و تحلیل





شکل ۱- شمای کلی موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده در حوزه آبخیز کسلیان (اقتباس از سعادت، ۱۳۸۱).

روش انجام تحقیق

آمار موردنیاز برای انجام این تحقیق، از ایستگاه کلیماتولوژی سنگده واقع در بخش مرکزی حوزه به دلیل طولانی بودن دوره برداشت اطلاعات طی سال‌های ۱۳۴۹ تا ۱۳۷۸ و همچنین موجودیت اطلاعات تفصیلی از رگبارها جمع‌آوری گردید. در ادامه ۱۵ ویژگی از هایتوگراف شامل مقدار کل بارش، مدت کل بارش، مقدار بارش مازاد، مرکز ثقل بارش مازاد، مرکز ثقل کل بارش، شدت متوسط بارندگی، حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای رگبار، زمان وقوع حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای رگبار، حداکثر شدت ۱۵ دقیقه‌ای رگبار، زمان وقوع حداکثر شدت ۱۵ دقیقه‌ای رگبار، چارک اول، چارک دوم، چارک سوم، چارک چهارم و مدت بارش مازاد تعیین گردید. همچنین ۱۱ ویژگی از هیدروگراف‌های سیل‌های مربوط به رگبارهای مورد مطالعه و ثبت شده در تنها ایستگاه هیدرومتری منطقه واقع در خروجی حوزه آبخیز، شامل زمان پایه، حجم رواناب، ارتفاع رواناب، دبی اوج، زمان تا اوج، دبی نقطه عطف، فاصله زمانی وقوع عطف پس از اوج، عرض ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد مشخص شد. سپس ۱۲ پارامتر زمانی رابط بین هایتوگراف و هیدروگراف شامل فاصله زمانی بین انتهای بارش کل تا نقطه عطف، مرکز

ثقل بارش کل تا مرکز ثقل هیدروگراف، مرکز ثقل بارش کل تا دبی اوج، انتهای بارش کل تا مرکز ثقل هیدروگراف، انتهای بارش کل تا دبی اوج، ابتدای بارش کل تا ابتدای هیدروگراف، انتهای بارش مازاد تا نقطه عطف، مرکز ثقل بارش مازاد تا مرکز ثقل هیدروگراف، مرکز ثقل بارش مازاد تا دبی اوج، انتهای بارش مازاد تا مرکز ثقل هیدروگراف، انتهای بارش مازاد تا دبی اوج و ابتدای بارش مازاد تا ابتدای هیدروگراف برای ۴۹ رگبار واجد اطلاعات ذکر شده محاسبه گردید. از این تعداد داده، از اطلاعات مربوط به ۴۰ رگبار برای واسنجی و ۹ رگبار برای تأیید نهایی روش‌ها استفاده شد. روابط بین متغیرهای مستقل^۱ و وابسته^۲ به صورت رگرسیون دو متغیره و چندمتغیره بررسی گردید. تعداد متغیرهای وابسته در این تحقیق ۲۳ عدد و در ابتدا ارتباط تک تک آنها با متغیرهای مستقل به شکل دوتایی بررسی شد. تهیه مدل‌های رگرسیونی در واقع از بررسی ارتباط مستقیم متغیرها با یکدیگر و یا اشکال تغییر یافته^۳ آنها صورت پذیرفت. لذا روابط دوتایی بین متغیرها در حالت‌های خطی، لگاریتمی، معکوس، معادله درجه دو و سه، ترکیبی،



تأیید مدل‌ها همچنین دو مقدار مجذور میانگین مربعات خطا^{۱۰} (RMSE) و ضریب کارایی^{۱۱} (CE) طبق فرمول‌های ۳ و ۴ محاسبه شدند (گرین و استفسون، ۱۹۸۶).

$$RE = \left| \frac{Y_o - Y_e}{Y_o} \right| \times 100 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_o - Y_e)^2}{n}} \quad (3)$$

$$C.E. = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_o - Y_o)^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_o - Y_e)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_o - Y_o)^2} \quad (4)$$

که در آنها RE خطای نسبی، RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، CE ضریب کارایی، Y_o مقدار مشاهده‌ای متغیر، Y_e میانگین مقادیر مشاهده‌ای متغیر، Y_o مقدار تخمینی متغیر و n تعداد مشاهدات می‌باشند. کلیه مراحل آماده‌سازی داده‌ها و محاسبات آماری با صفحه گسترده Excel و نرم افزار SPSS انجام گرفته است.

نتایج

بررسی نتایج آزمون رگرسیون دو متغیره نشان می‌دهد، میزان خطای تخمین از ۲/۵ تا ۴۵۲ درصد و خطای تأیید از ۱/۱۶ تا ۱۸۵۱ درصد تغییر می‌کند. همچنین اغلب مدل‌های نهایی حاصل از رگرسیون دو متغیره به صورت درجه سه، خطی، ترکیبی و توانی می‌باشند. از آوردن نتایج مربوط به رگرسیون دو متغیره به دلیل حجم زیاد صرفنظر شده است. نتایج حاصل از آزمون رگرسیون چندمتغیره بین متغیرهای مورد بررسی و به چهار روش اشاره شده در بخش قبل برای هر متغیر وابسته در جدول شماره ۱ آمده است. در مرحله بعد جهت انتخاب روش‌های نهایی خطای تخمین و تأیید روش‌های مورد نظر محاسبه و در ستون‌های پنجم و ششم جدول ۱ آورده شده است. نتایج حاصل از روش گام‌به‌گام و روش پیشرو در مورد کلیه پارامترها مشابه بودند.

توانی، نمای، مدل منحنی رشد و مدل S مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام رگرسیون چندمتغیره نیز روش‌های گام‌به‌گام^۱، پیشرو^۲ و پسرو^۳ مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت کاهش تعداد متغیرهای مستقل به چند عامل اصلی در آزمون رگرسیون چندمتغیره از روش تجزیه و تحلیل عاملی^۴ استفاده شد. برای اجرای روش تجزیه و تحلیل عاملی، ابتدا داده‌ها به کمک فرمول زیر استاندارد شدند (سریواستاوا، ۱۳۷۰):

$$Z_{if} = \frac{X_{if} - M_f}{S_f} \quad (1)$$

که در آن X_{if} ، M_f و S_f به ترتیب مقدار استاندارد، مقدار واقعی، میانگین و انحراف از معیار داده‌ها می‌باشد. در تعیین مناسب‌ترین ماتریس وزنی عاملی و از بین دو روش موجود برآورد درست نمایی حداکثر^۵ و تحلیل عامل اصلی^۶، روش تحلیل عامل اصلی استفاده گردید. برای انتخاب اولیه تعداد عامل‌ها نیز از آزمون بارتلت (۱۹۵۱) استفاده شد (سریواستاوا، ۱۳۷۰). پس از انتخاب وزن‌های عاملی، روش‌های واریماکس^۷ و کواریتیماکس^۸ به ترتیب مبتنی بر انتخاب حداکثر دقت و حداقل متغیرها به منظور تفسیر داده‌ها، انتخاب شدند. سپس آزمون رگرسیون دو متغیره و چندمتغیره برای هر متغیر وابسته انجام و روابط مربوطه به دست آمد. جهت انتخاب بهترین مدل‌ها برای هر متغیر وابسته، ابتدا مدل‌های با ضریب همبستگی معنی‌دار بالاتر انتخاب شده (مهدوی، ۱۳۷۷)، سپس خطای نسبی^۹ (RE) تخمین و تأیید برای کلیه روابط انتخابی طبق فرمول ۲ محاسبه گردید (داس، ۲۰۰۰). جهت انتخاب مدل‌ها با استفاده از این معیار، روابط با خطای نسبی تخمین کمتر از ۴۰ درصد و با خطای تأیید کمتر در نظر گرفته شد (داس، ۲۰۰۰). برای

- 1- Stepwise
- 2- Forward
- 3- Backward
- 4-Factor analysis
- 5-Maximum Likelihood
- 6-Principle Component Analysis
- 7-Varimax
- 8-Quartimax
- 9-Relative Error

- 10-Root Mean Square Error
- 11-Coefficient of Efficiency



جدول ۱- نتایج حاصل از رگرسیون چندمتغیره.

متغیر وابسته	روش آماری مورد استفاده	ضریب تبیین	سطح معنی‌دار	خطای تخمین (درصد)	خطای تأیید (درصد)
زمان پایه هیدروگراف	گام به گام	۰/۳۲۳	۰/۰۰۱	۲۳/۴۳	۵۰/۷۶
	پیشرو	۰/۳۷۹	۰/۰۰۱	۲۳/۴۳	۵۰/۷۶
	پسرو	۰/۳۲۳	۰/۰۰۱	۲۱/۹۰	۴۷/۷۸
	ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	۰/۲۵۰	۰/۰۳۵	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
حجم رواناب	گام به گام	۰/۹۹۱	۰/۰۰۰	۱/۷۴	۲۳/۲۵
	پیشرو	۰/۹۸۶	۰/۰۰۰	۱/۷۴	۲۳/۲۵
	پسرو	۰/۹۹۱	۰/۰۰۰	۱/۷۸	۲۶/۰۹
	ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	رابطه برقرار نشد.			
ارتفاع رواناب	گام به گام	۰/۹۸۳	۰/۰۰۰	۹/۷۸	۴/۵۹
	پیشرو	۰/۹۸۳	۰/۰۰۰	۹/۷۸	۴/۵۹
	پسرو	۰/۹۸۳	۰/۰۰۰	۹/۲۷	۴/۵۵
	ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	رابطه برقرار نشد.			
مرکز ثقل هیدروگراف	گام به گام	۰/۲۲۹	۰/۰۰۲	۵۰/۲۵	۷۱/۲۳
	پیشرو	۰/۵۹	۰/۰۰۱	۵۰/۲۵	۷۱/۲۳
	پسرو	۰/۲۲۹	۰/۰۰۲	۲۹/۸۲	۱۳۵/۳۴
	ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	۰/۲۰۸	۰/۰۷۹	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
دبی اوج هیدروگراف	گام به گام	۰/۷۴۷	۰/۰۰۰	۹۴/۲۷	۳۴۳۸/۰۰
	پیشرو	۰/۸۵۵	۰/۰۰۰	۹۴/۲۷	۳۴۳۸/۰۰
	پسرو	۰/۷۴۷	۰/۰۰۰	۱۲۹/۳۰	۱۶۰۵/۰۰
	ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	۰/۵۵۲	۰/۰۰۰	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
زمان تا اوج هیدروگراف	گام به گام	۰/۱۵۱	۰/۰۱۳	۱۱۱/۲۰	۱۳۳/۷۰
	پیشرو	۰/۴۹۸	۰/۰۰۱	۱۱۱/۲۰	۱۳۳/۷۰
	پسرو	۰/۱۵۱	۰/۰۱۳	۲۸/۹۴	۴۴۸/۱۹
	ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	۰/۱۳۵	۰/۲۶۵	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
نقطه عطف هیدروگراف	گام به گام	۰/۶۸۴	۰/۰۰۰	۹۶/۵۷	۲۳۴۷/۰۰
	پیشرو	۰/۸۶۸	۰/۰۰۰	۹۶/۵۷	۲۳۴۷/۰۰
	پسرو	۰/۶۸۴	۰/۰۰۰	۱۰۱/۰۰	۱۳۵۸/۰۰
	ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	۰/۵۶۲	۰/۰۰۰	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	



خطای تأیید (درصد)	خطای تخمین (درصد)	سطح معنی دار	ضریب تبیین	روش آماری مورد استفاده	متغیر وابسته
۰/۱۹ = مقدار ثابت		رابطه برقرار نشد.		گام به گام پیشرو پسرو ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	زمان وقوع عطف پس از اوج هیدروگراف
		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
۴۳/۶۵	۳۸/۵۰	۰/۰۰۹	۰/۱۶۷	گام به گام پیشرو پسرو ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	عرض ۲۵٪ هیدروگراف
۴۳/۶۵	۳۸/۵۰	۰/۰۰۱	۰/۳۸۹		
۵۵/۱۱	۳۹/۹۶	۰/۰۰۹	۰/۱۶۷		
به عنوان روش برتر انتخاب نشد.		۰/۰۵۷	۰/۲۲۵		
۵۷/۲۶	۴۷/۷۳	۰/۰۱۰	۰/۱۶۴	گام به گام پیشرو پسرو ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	عرض ۵۰٪ هیدروگراف
۵۷/۲۶	۴۷/۷۳	۰/۰۱۰	۰/۱۶۴		
۵۹/۴۳	۳۹/۳۳	۰/۰۱۰	۰/۱۶۴		
رابطه برقرار نشد.					
۶۸/۳۲	۵۲/۰۷	۰/۰۰۵	۰/۱۸۶	گام به گام پیشرو پسرو ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	عرض ۷۵٪ هیدروگراف
۶۸/۳۲	۵۲/۰۷	۰/۰۰۲	۰/۳۳		
۷۶/۴۵	۴۹/۹۹	۰/۰۰۵	۰/۱۸۶		
رابطه برقرار نشد.					
رابطه برقرار نشد.				گام به گام پیشرو پسرو ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	انتهای بارش کل تا نقطه عطف هیدروگراف
رابطه برقرار نشد.					
۶۸/۳۲	۵۲/۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
به عنوان روش برتر انتخاب نشد.		۰/۵۳۲	۰/۰۸۴		
۹/۸۸ = مقدار ثابت		رابطه برقرار نشد.		گام به گام پیشرو پسرو ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	مرکز نقل بارش کل تا مرکز نقل هیدروگراف
		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
۷/۲۳ = مقدار ثابت		رابطه برقرار نشد.		گام به گام پیشرو پسرو ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	مرکز نقل بارش کل تا اوج هیدروگراف
		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
۱۱/۴۷	۱۱۷/۵۱	۰/۰۰۲	۰/۲۲۸	گام به گام پیشرو پسرو ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چند متغیره	انتهای بارش کل تا مرکز نقل هیدروگراف
۱۱/۴۷	۱۱۷/۵۱	۰/۰۰۹	۰/۲۲۳		
۱۱/۱۲	۱۶۷/۹۲	۰/۰۰۲	۰/۲۲۸		
به عنوان روش برتر انتخاب نشد.		۰/۵۳۲	۰/۲۵۵		



متغیر وابسته	روش آماری مورد استفاده	ضریب تبیین	سطح معنی‌دار	خطای تخمین (%)	خطای تأیید (%)
انتهای بارش کل تا اوج هیدروگراف	گام به گام پیشرو پسرو	۰/۱۴۶	۰/۰۱۵	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
		۰/۱۴۶	۰/۰۱۵	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
		۰/۱۴۶	۰/۰۱۵	۶/۸۹	۲۳/۶۵
رابطه برقرار نشد.					
انتهای بارش کل تا ابتدای هیدروگراف	گام به گام پیشرو پسرو	۰/۰۸۳	۰/۰۷۲	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
		۰/۰۷۱	۰/۶۲۰	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
		رابطه برقرار نشد.			
انتهای بارش مازاد تا نقطه عطف هیدروگراف	گام به گام پیشرو پسرو	۰/۰۸۰	۰/۰۷۸	۹/۱۹	۲۳/۶۳
		۰/۰۹۶	۰/۴۶۰	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
		رابطه برقرار نشد.			
انتهای بارش مازاد تا مرکز ثقل هیدروگراف	گام به گام پیشرو پسرو	رابطه برقرار نشد.			
		رابطه برقرار نشد.			
		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۹/۷۹ = مقدار ثابت	
		۰/۱۰۷	۰/۳۹۴		
مرکز ثقل بارش مازاد تا اوج هیدروگراف	گام به گام پیشرو پسرو	رابطه برقرار نشد.			
		رابطه برقرار نشد.			
		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۷/۱۰ = مقدار ثابت	
		۰/۰۹۸	۰/۴۴۹		
انتهای بارش مازاد تا مرکز ثقل هیدروگراف	گام به گام پیشرو پسرو	۰/۱۶۴	۰/۰۳۶	۱۵/۹۵	۸/۲۶
		رابطه برقرار نشد.			
		رابطه برقرار نشد.			
انتهای بارش مازاد تا اوج هیدروگراف	گام به گام پیشرو پسرو	۰/۱۱۳	۰/۰۳۴	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
		۰/۱۱۳	۰/۰۳۴	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
		۰/۱۱۳	۰/۰۳۴	۲۰/۴۵	۶/۴۶
		۰/۱۱۲	۰/۳۷۲	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	
ابتدای بارش مازاد تا ابتدای هیدروگراف	گام به گام پیشرو پسرو	رابطه برقرار نشد.			
		رابطه برقرار نشد.			
		۰/۱۹۵	۰/۰۴۸	۱۴/۰۰	۴/۳۹
		۰/۱۰۵	۰/۴۰۰	به عنوان روش برتر انتخاب نشد.	

توضیح: مقادیر صفر در ستون‌های مربوط به ضریب تبیین و سطح معنی‌دار بترتیب نمایانگر عدم وجود رابطه و سطح اعتماد بالای ۹۹ درصد می‌باشند.



بحث و نتیجه گیری

تحقیق حاضر با هدف مقایسه روش‌های مختلف انجام آزمون رگرسیون و انتخاب بهترین روش جهت دستیابی به مدل بارش- رواناب در حوزه آبخیز کسلیان انجام گردید. بررسی نتایج مربوط به رگرسیون دو متغیره نشان داد که مدل‌های درجه سه، خطی، ترکیبی و توانی بترتیب بیشترین توانایی در تعیین مدل‌های بارش- رواناب را داشتند. درصد خطای تخمین رگرسیون دو متغیره از ۲/۵ تا ۴۵۲ درصد و خطای تأیید آنها بین ۱/۱۶ تا ۱۸۵۱ درصد به دست آمد. از نتایج ارائه شده همچنین مشاهده می‌شود که خطای تخمین رگرسیون چندمتغیره بسته به نوع پارامترهای مورد بررسی و همچنین روش آماری مورد استفاده از ۱/۷۴ تا ۱۶۶ درصد تغییر می‌کند. درصد خطای تأیید کاربرد هر یک از روش‌ها نیز از ۴/۳۹ تا ۳۴۳۸ درصد متغیر است. بررسی نتایج مربوط به رگرسیون چندمتغیره ضمن تأیید کلی عملکرد آنها، همچنین نشان داد که استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی با هدف کاهش تعداد متغیرهای مستقل موجب کاهش دقت شده به نحوی که در اغلب موارد یا امکان برقراری رابطه وجود نداشته و یا منجر به رابطه برتر نشده است. این مطلب با نتایج به دست آمده توسط وفاخواه (۱۳۷۸) مبنی بر کاربرد تجزیه و تحلیل عاملی در مطالعه سیلاب همخوانی نداشته و نتایج به دست آمده توسط خوجینی و همکاران (۱۳۷۸) در راستای پیشنهاد استفاده از رگرسیون چندمتغیره در مدل‌سازی بارش- رواناب را تأیید می‌نماید. در واقع با مقایسه ۴ روش انجام آزمون رگرسیون چندمتغیره با توجه به جدول ۱ مشخص شد که

در بعضی موارد، نتایج آزمون ترکیب روش تجزیه و تحلیل عاملی و رگرسیون چندمتغیره معنی‌دار می‌باشد اما ضریب همبستگی آن کمتر از سایر روش‌هاست و در سایر موارد نیز سطح معنی‌دار بودن معادله به دست آمده بیش از ۰/۰۵ می‌باشد که کاهش دقت مدل‌سازی را به دنبال دارد. بررسی جدول ۱ همچنین نشان می‌دهد که در بعضی موارد روش گام‌به‌گام و یا روش پیشرو منجر به خطای قابل قبول کمتر شده و در سایر موارد روش پسرو رابطه بهتری را ارائه می‌دهد. تدقیق در جدول نتایج همچنین نشان می‌دهد که نوع روش بکار گرفته شده در تعیین پارامترهای ثابت زمانی تأثیر زیادی نداشته و با شرایط حاکم بر طبیعت سازگاری دارد. ارائه خطای تخمین و تأیید کمتر، براساس توصیه ملچینگ (۱۹۹۱)، طی استفاده از اشکال تغییر یافته داده‌ها نیز دلالت بر ارتباط غیرخطی اغلب متغیرها با یکدیگر داشته که با نتایج تحقیقات به دست آمده توسط هلوج و همکاران (۱۹۸۳) و میمیکو و راتو (۱۹۸۳) همخوانی دارد. دامنه خطای زیاد گزارش شده طی تحقیق نیز موید ضرورت انتخاب دقیق‌تر رگبارها (مرید و همکاران، ۱۳۷۶) و دسته‌بندی آنها از لحاظ نوع بارش و یا زمان آنها بوده و به این ترتیب انجام تحقیقات گسترده در این خصوص را تأکید می‌نماید. دستیابی به الگوهای کلی روش‌های تجزیه و تحلیل آماری اجزای چرخه هیدرولوژی خصوصاً در زمینه مدل‌سازی بارش- رواناب از طریق انجام مطالعات مقایسه‌ای بین روش‌ها و در حوزه‌های مختلف از دیگر توصیه‌های تحقیق حاضر می‌باشد.

منابع

۱. ارقامی، ن. ر. و ا. بزرگ نیا. ۱۳۷۰. آمار چندمتغیره کاربردی (ترجمه)، انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۹۶ ص.
۲. خوجینی، ع. م. قربانی و م. عرب خدردی. ۱۳۷۸. تحلیل منطقه‌ای سیلاب‌ها با استفاده از مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره (کاربرد موردی در حوزه آبخیز آجی چای)، پژوهش و سازندگی، ۴۵: ۸۲-۷۶.
۳. سعادت، ح. ۱۳۸۱. بررسی اثرات کاربری اراضی روی شبیه‌سازی دبی روزانه با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوزه معرف کسلیان)، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۱ ص.
۴. علیزاده، ا. ۱۳۷۸. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ یازدهم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۵۶۹ ص.



۵. مرید، س.، ه. قائمی و ه. میرابوالقاسمی. ۱۳۷۶. ارزیابی مدل HEC-۱ در تشابه‌سازی بارندگی - رواناب در استان هرمزگان، اولین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، ۳۳۳-۳۴۴.
۶. مهدوی، م. ۱۳۷۷. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۳۴ ص.
۷. نام درست، ج. ۱۳۸۱. شبیه‌سازی اثر پارامترهای هیدرولوژیکی بر روی رواناب خروجی در برخی حوزه‌های آبخیز ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس، ۱۴۴ ص.
۸. وفاقخواه، م. ۱۳۷۸. شناخت عوامل مؤثر در سیلاب به‌منظور مهار آنها با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی در رودخانه حوزه قره چای، پژوهش و سازندگی، ۴۵: ۷۵-۷۲.
9. Basha, H. A. 2000. Simple non linear rainfall-runoff model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 5(1): 25-32.
10. Das, G. 2000. *Hydrology and soil conservation Engineering*, Asoke K. Ghosh, Prentice-Hall of India, 489pp.
11. Green, I. R. A., and Stephenson, D. 1986. Criteria for comparison of single event models. *Hydrological Sciences Journal*, 31: 395-411.
12. Helweg, O. J., Amorcho., J., and Finch, R.H. 1983. Improvement of nonlinear rainfall-runoff mode, *Journal of Hydraulic Division*, 108 (7): 813-822.
13. 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.
14. Mimikou, M., and Rao, A.R. 1983. Regional monthly rainfall-runoff model. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 109 (1): 75-93.
15. Sadeghi, S.H.R. 2000. Rainfall-runoff relationship for Amameh Watershed in Iran, *In: Proceedings of International Conference on Integrated Water Resources Management for Sustainable Development*, India, 796-804.
16. Yue, S., and Ouarda, T.B. M.J. 2002. Approach for describing statistical properties of flood hydrograph. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7 (2): 147-153.



Comparison of different statistical analysis methods in rainfall-runoff modeling (Case study: Kasilian waters hed)

S.H.R. Sadeghi¹, H.R. Moradi¹, M. Mozayyan² and M. Vafakhah³

¹Professor, ²former M.Sc. Student, ³Lecturer, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources, Tarbiat Modarres University of Noor, Mazandaran, Iran

Abstract

Determination of hydrologic parameters is important in view point of safety, project economy and efficiency of hydraulic structures. The runoff is one of the important parameters whose measurement has different limitations and therefore the application of hydrologic models in estimation of flood hydrograph is necessary. In this research an attempt has been made to compare the applicability of different statistical analysis methods to select the best one in developing rainfall-runoff model. To achieve the study goals, 15, 11 and 12 characteristics of hyetograph, hydrograph and their time spacing were considered, respectively, for 49 storms in Kasilian watershed. The study area located in the north of Iran and comprises 66.75 Km². The relationships were investigated using bivariate in different forms viz. Linear, logarithmic, power, exponential, cubic, quadratic, compound, inverse, grow curve and S models as well as multivariate in different forms viz. stepwise, forward and backward after conducting Factor Analysis approach. The results of rainfall-runoff modeling process showed that the bivariate regression were mostly developed in the form of cubic, linear, compound and power models. Furthermore, consideration of results of multivariate regression verified the low accuracy of factor analysis method. Among other three methods, the stepwise and backward methods have had better performance, alternatively. The results of forward method were also similar to stepwise method.

Keywords: Rainfall-Runoff model; Regression models; Factor analysis; Kasilian; Iran

