

## بررسی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در برآورد دبی سیلاب<sup>۱</sup>

علی حشمت پور<sup>۲</sup> محسن محسنی ساروی<sup>۳</sup> امیرسعدالدین<sup>۴</sup> مهدی عرفانیان<sup>۵</sup>

### چکیده

از اهداف مهم هیدرولوژی، پیش‌بینی کمی چگونگی فرایند بارش - رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی و در نهایت تعیین میزان دبی عبوری در خروجی حوزه است. بدین منظور در حوزه‌های آبخیز می‌توان درصد کارایی مدل‌های منطبق با تئوری‌های علمی تشریح‌کننده پدیده‌های هیدرولوژیکی را با مقایسه خروجی این مدل‌ها با داده‌های هیدرولوژیکی ثبت‌شده تعیین کرد. تحقیق حاضر با هدف بررسی دقت، صحت و درجه اطمینان تئوری‌های آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در تعیین شکل و ابعاد آبنمود رواناب خروجی یک رگبار با شدت و مدت معین انجام شده است. سپس مدل‌های مورد تحقیق با مدل‌های ناش، روسو و SCS<sup>۶</sup> مقایسه شده و کارآمدترین مدل در برآورد آبنمود جریان خروجی برای مناطق مشابه معرفی گردیده است. مقایسه کارایی روش‌های مورد بررسی از شاخص آماری میانگین خطای نسبی (MRE)<sup>۷</sup> و میانگین توان دوم خطا (MSE)<sup>۸</sup>، حاکی از آن است که روش ژئومورفولوژیک نسبت به ژئومورفوکلیماتیک، ناش، روسو و SCS به ترتیب ۱۰۶/۵۶، ۱۷۱/۱۲، ۱۰۶/۷۹ و ۱۱۲/۶۴ درصد و روش ژئومورفوکلیماتیک نسبت به ناش، روسو، SCS به ترتیب ۱۶۰/۵۷، ۱۰۰/۲۱ و ۱۰۵/۶۹ درصد برتری دارند. در نتیجه، روش ژئومورفولوژیک نسبت به مدل‌های دیگر از کارایی بالاتری برخوردار است.

**واژه‌های کلیدی:** مدل بارش - رواناب، آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، مدل ناش، مدل روسو و مدل SCS

۱- تاریخ دریافت: ۷۹/۱۲/۲۱، تاریخ تصویب نهایی: ۸۰/۱۰/۳۰

۲- عضو هیات علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴- عضو هیات علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۵- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

۶- Soil Conservation Service

۷- Mean Relative Error

۸- Mean Square Error

**مقدمه**

حوزه آبخیز به‌عنوان یک هیدروسستم، عامل تبدیل بارش نازل به بارش مازاد و تخلیه آن به نقطه خروجی است. در تبدیل بارش نازل به بارش مازاد به‌عنوان پتانسیل جریان سطحی، اجزای طبیعی سیستم، دخالت تعیین‌کننده‌ای دارند. در هیدرولوژی پیش‌بینی کمی چگونگی فرایند بارش - رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی و در نهایت تعیین میزان دبی عبوری در مقطع کنترلی از اهداف مهم است.

تئوری‌های علمی تشریح‌کننده پدیده‌های هیدرولوژیک در حوزه‌های آبخیز به‌دلیل ناهمگنی، پیچیدگی ارتباط و تعدد مولفه‌های تاثیرگذار بر پدیده‌ها، هرگز قادر به توصیف کامل آنها در مقیاس وسیع نیستند. با توجه به این موضوع می‌توان از خروجی مدل‌های طراحی‌شده منطبق با تئوری‌های علمی که پس از تجزیه و تحلیل مولفه‌های تاثیرگذار حاصل شده‌اند، درصد کارایی مدل را نسبت به نمونه‌های ثبت‌شده تعیین کرد. اگر مولفه‌های آبنمود جریان خروجی به‌عنوان نتیجه نهایی عکس‌العمل حوزه در قبال بارش نازل در نظر گرفته شود، لازم است تا جهت درک صحیح آن، این ابعاد از نظر مقدار در بعد زمانی مشخص شوند. در حوزه‌های فاقد آمار، از خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز به‌عنوان عامل نشان‌دهنده عکس‌العمل نسبت به ورودی‌های آن استفاده می‌شود. در نتیجه، هرچه این خصوصیات بهتر شناخته شوند، پیش‌بینی عملکرد حوزه دقیق‌تر خواهد بود. بنابراین می‌توان به اهمیت تئوری‌هایی که براساس ساختار ژئومورفولوژی حوزه پایه‌ریزی شده‌اند، پی برد. در همین راستا، تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک به‌عنوان مدلی در پیش‌بینی عکس‌العمل هیدرولوژیک حوزه آبخیز در ارتباط با بارش ورودی به آن، در گستره این اهمیت واقع می‌شود.

تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک توسط رودریگوئز - ایتورب و والدرس<sup>۱</sup> (۱۹۷۹) به‌عنوان عکس‌العمل هیدرولوژیک حوزه نسبت به

ورود یک واحد بارش مازاد لحظه‌ای شکل گرفته است. نتایج بررسی‌های آنها که در یک حوزه آبخیز فرضی با رتبه ۳ انجام شد، نشان داد که عکس‌العمل هیدرولوژیک حوزه آبخیز تابعی از پارامترهای ثابت ژئومورفولوژیک و پارامتر دینامیکی سرعت جریان است.

والدرس و همکاران (۱۹۷۹) در حوزه آبخیز ونزوئلا و پورتوریکو با استفاده از مدل باران رواناب و آبنمودهای مشاهده‌ای، آبنمود واحد لحظه‌ای هر حوزه آبخیز را استخراج و با آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک مورد مقایسه قرار دادند. نتایج این بررسی تحت شرایط سرعت ثابت جریان با دو روش مذکور در حوزه‌های مورد مطالعه مطابقت داشت.

گوپتا<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۸۰) در سه حوزه آبخیز در منطقه ایلنویز<sup>۳</sup> پارامترهای نسبت انشعاب، نسبت مساحت و نسبت طول را با توجه به سیستم رتبه‌بندی استرالر و پارامتر دینامیکی زمان انتظار به‌عنوان تابعی از طول آبراهه‌ها و سرعت جریان محاسبه و آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و به تبع آن آبنمود جریان خروجی حوزه‌های تحت مطالعه را استخراج و با آبنمودهای مشاهده‌ای آنها مقایسه کردند که نتایج آن در حوزه‌های آبخیز ورمیلون<sup>۴</sup> و کازکازکیا<sup>۵</sup> خوب، ولی در حوزه آبخیز ساگامون<sup>۶</sup> رضایت‌بخش نبود.

رودریگوئز - ایتورب و همکاران (۱۹۷۹) تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک را با قبول پایه‌های اصلی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک ارائه کردند که در آن علاوه بر عوامل فیزیکی حوزه، عوامل اقلیمی نیز ابعاد آبنمود خروجی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این مدل در مقایسه با مدل ناش درحوزه آبخیز مامون<sup>۷</sup> برای سه اقلیم مختلف از کارایی بالایی برخوردار بود.

<sup>۲</sup> - Gupta

<sup>۳</sup> - Illinois

<sup>۴</sup> - Vermilon

<sup>۵</sup> - Kaskaskia

<sup>۶</sup> - Sagamon

<sup>۷</sup> - Mamon

<sup>۱</sup> - Rodriguez-Iturbe & Valdars

غیاثی (۱۳۷۵) براساس تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و داده‌های بارندگی - رواناب حوزه امامه ابعاد آبنمود واحد لحظه‌ای را برای هر واقعه متناظر باران - رواناب با تقریب مثلثی و ابعاد آبنمود واحد لحظه‌ای روسو را براساس پارامتر دینامیکی سرعت جریان و نسبت‌های هورتونی محاسبه کرد. در این مطالعه، روش روسو نسبت به روش SCS دارای کارایی یکسان و نسبت به روش شنایدر از کارایی کمتری برخوردار بوده است. همچنین مقایسه دبی محاسبه‌ای و مشاهده‌ای وقایع انتخابی نشان داد که روش‌های آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و روسو در مقایسه با روش‌های آبنمود واحد مصنوعی شنایدر و مثلثی کارایی بیشتری دارند.

عرفانیان (۱۳۷۷) در حوزه آبخیز درجزین سمنان آبنمود جریان خروجی روش‌های ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، ناش، روسو و SCS را با آبنمودهای مشاهده‌ای وقایع انتخابی متناظر باران - رواناب با هم مقایسه کرد و نشان داد که درصد کارایی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک نسبت به سایر روش‌ها کارا تر بوده است.

در تحقیق حاضر، سعی شده است تا دقت، صحت و درجه اطمینان تئوری‌های آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در تعیین شکل و ابعاد آبنمود رواناب خروجی از یک رگبار با شدت و مدت معین به‌منظور استفاده از نتایج حاصله به‌عنوان ارائه یک راهکار اساسی در تعیین آبنمود واحد لحظه‌ای حوزه آبخیز با شرایط مشابه و فاقد ایستگاه هیدرومتری جهت برنامه‌ریزی‌های لازم برای پروژه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری تعیین گردد و سپس مقایسه‌ای بین این دو روش با مدل‌های ناش، روسو و SCS در برآورد رواناب خروجی انجام گیرد و کارآمدترین روش برای مناطق مشابه معرفی گردد.

رودریگونز - ایتورب و همکاران (۱۹۸۲) تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک را برای دبی‌های حداکثر سیلاب با دوره بازگشت مختلف در یک حوزه آبخیز در ونزوئلا مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتایج خوبی به‌دست آوردند.

دiaz - گراندس<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۸۴) تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک را مبتنی بر هیدرولیک جریان، توسعه و بسط دادند و آلام<sup>۲</sup> (۱۹۹۰) آن را در سه حوزه آبخیز واقع در عربستان سعودی مورد ارزیابی قرار داد که در نتیجه در حوزه خات<sup>۳</sup> مطابقت بالایی نشان داد، ولی درحوزه‌های آبخیز جاف<sup>۴</sup> و میدهناب<sup>۵</sup> به‌علت خطی فرض کردن نفوذ در جریان آبراه‌های و همچنین فرضیات مدل و شرایط توزیع مکانی بارش تطابق خوبی نشان نداد. سورمن<sup>۶</sup> (۱۹۹۵) از مدل آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک برای برآورد حجم، دبی و زمان اوج آبنمود خروجی در حوزه‌های واقع در شمال‌شرق عربستان برای سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۵ تا ۱۰ ساله استفاده کرد که نتایج این بررسی همبستگی بالایی را بین اجزای مدل نشان داده است.

عباسی (۱۳۷۱) آبنمود واحد مصنوعی شنایدر، مثلثی، SCS را در دو حوزه آبخیز کسلیان و امامه مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و پس از بررسی نتایج نشان داد که روش‌های شنایدر در حوزه معرف کسلیان و روش شنایدر و مثلثی هر دو در حوزه امامه برای تهیه آبنمود خروجی جریان مناسب‌ترند. قهرمان (۱۳۷۴) با انتخاب وقایع متناظر باران - رواناب تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک را برای دو حوزه آبخیز امامه و کسلیان مورد بررسی قرار داد و نشان داد که تئوری مذکور در برآورد دبی و زمان اوج جریان‌های سطحی حوزه‌های مورد مطالعه از کارایی مناسبی برخوردار است.

<sup>۱</sup> - Diaz-Grandos

<sup>۲</sup> - Allam

<sup>۳</sup> - Khat

<sup>۴</sup> - Jawf

<sup>۵</sup> - Midhnab

<sup>۶</sup> - Sorman

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوزه معرف کسلیان با مساحتی معادل ۶۷/۷۸ کیلومتر مربع در محدوده " ۳۰' ۵۸' ۳۵° تا ۷' ۳۶° عرض شمالی و " ۳۰' ۱۰' ۵۳° تا ۱۸' ۵۳° طول شرقی در استان مازندران در ۲۹ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان سوادکوه واقع شده است (شکل ۱).

رودخانه کسلیان در دامنه شمالی کوه‌های البرز مرکزی واقع شده است. دو شاخه رودخانه اصلی حوزه به نام‌های تیله‌سره و تالار سربند از جنوب به شمال جریان دارند و در جنوب روستای سنگده در ارتفاعی معادل ۱۵۲۰ متر از سطح دریا با هم تلاقی کرده و یکی می‌شوند. این رودخانه پس از طی

مسافتی در حوالی شیرگاه به رودخانه تالار پیوسته و از آنجا به دریای خزر می‌ریزد.

حوزه مورد مطالعه در زون زمین‌ساختی البرز واقع شده است. رسوبات غالب حوزه جزئی از سازند شمشک شامل شیل، مارن، سیلتستون و کلسیتوی با ساخت لایه لایه‌ای و چینه‌بندی مورب است. اقلیم حوزه براساس روش آمبرژه شامل اقلیم ارتفاعات، اقلیم مرطوب سرد و اقلیم نیمه‌مرطوب سرد است و میانگین بارندگی سالانه حوزه ۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

خاک منطقه شامل گروه‌های هیدرولوژیکی C, B, D بوده و از نظر کاربری اراضی دارای وضعیتی به شرح جدول ۱ است (۱).

جدول ۱- وضعیت کاربری اراضی حوزه معرف کسلیان

درصد	مساحت (Km <sup>2</sup> )	نوع کاربری
۵۶/۱۶	۳۸/۰۶۵	جنگل
۱۵/۶۵	۱۰/۶۰۸	مرتع
۲۷/۱۴	۱۸/۳۹۶	زراعت
۱/۰۵	۰/۷۱۱	مسکونی و بدون پوشش

تعداد ۸ واقعه متناظر باران - رواناب که از تطابق زمانی مناسبی برخوردار بودند، برای ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف مورد تحقیق در برآورد آبنمود واحد لحظه‌ای انتخاب گردیدند. سپس هیتوگراف بارش مازاد با توجه به روش SCS و همچنین ابعاد آبنمود مشاهده‌ای با کسر دبی پایه از ابعاد آبنمود سیلاب مشخص شد. آنگاه، روابط دبی - سرعت و دبی - سطح مقطع جریان و نیز میزان پارامتر موج جنبشی در محل ایستگاه هیدرومتری (ولیک‌بن) تعیین شد.

در مرحله چهارم، با توجه به سیستم‌های هورتونی و سرعت‌های برآوردی ابعاد آبنمود واحد لحظه‌ای برای وقایع انتخابی براساس تئوری‌های آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، ناش، روسو و به تبع آن ابعاد آبنمود واحد و ابعاد آبنمود رواناب خروجی یک ساعته حوزه استخراج گردید. پس از آن، آبنمود واحد شاخص حوزه با استفاده از

در این تحقیق به منظور دستیابی به اهداف موردنظر، مراحل کار در پنج مرحله انجام گرفت. مرحله اول شامل بررسی منابع، جمع‌آوری اطلاعات پایه و شناخت منطقه بود. در مرحله دوم به منظور شناخت خصوصیات حوزه، کمیت‌های مورفومتریک شامل محیط، مساحت، ضریب شکل، تراکم زهکشی، ارتفاع و شیب متوسط حوزه، نیمرخ طولی و شیب متوسط آبراهه اصلی محاسبه شد. نقشه شبکه آبراهه‌های حوزه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی منطقه و تطبیق با وضعیت موجود آبراهه‌ها در طبیعت از طریق بازبینی تهیه و طبق سیستم استرالر رتبه‌بندی شد پس از آن نسبت‌های هورتونی مانند نسبت مساحت، نسبت انشعاب و نسبت طول تعیین گردید که در جدول ۲ خلاصه شده است (۱).

در مرحله سوم، با بررسی آمار و اطلاعات موجود در زمینه بارندگی و هیدرومتری حوزه مورد مطالعه،



در مرحله پنجم، میزان کارایی مدل‌های مختلف مورد تحقیق در برآورد آبنمود رواناب خروجی حوزه از طریق مقایسه آماری آبنمود استخراجی و مشاهده‌ای با روش‌های میانگین خطای نسبی و میانگین مجموع مربعات خطا تعیین شد.

آبنمود واحد طبیعی یک‌ساعته وقایع انتخابی تعیین شد. سپس آبنمود واحد یک‌ساعته SCS با توجه به زمان اوج آبنمود واحد شاخص و به تبع آن آبنمود خروجی در این روش برآورد گردید.

جدول ۲- کمیت‌های مورفومتری حوزه معرف کسپلیان

۶۷/۷۸	A	مساحت (Km <sup>2</sup> )
۴۴/۵	P	محیط (Km)
۰/۳۷۱۹	FF	ضریب فرم هورتون
۱/۵۱۳۴	CC	ضریب فشردگی گراولیوس
۰/۴۳۰۱	R <sub>c</sub>	ضریب گردی میلر
۰/۶۸۷۹	R <sub>e</sub>	ضریب شکل شیوم
۲/۲۷۲۰	D <sub>d</sub>	تراکم زهکشی (Km/Km <sup>2</sup> )
۱۵/۸	S	میانگین وزنی شیب حوزه (درصد)
۱۶/۵	L	طول آبراهه اصلی (Km)
۱۰	L <sub>Ω</sub>	طول آبراهه رتبه ۴ (Km)
۶/۵	L <sub>ca</sub>	فاصله خروجی از مرکز ثقل (Km)
۱۱۲۰	H <sub>m</sub>	ارتفاع حداقل حوزه (m)
۳۳۵۰	H <sub>M</sub>	ارتفاع حداکثر حوزه (m)
۱۳/۳	SW	میانگین وزنی شیب آبراهه اصلی (درصد)
۴/۳۴۲۶	R <sub>B</sub>	نسبت انشعاب هورتون
۲/۰۳۴۸	R <sub>L</sub>	نسبت طول هورتون
۵/۲۲۵۳	R <sub>A</sub>	نسبت مساحت هورتون
۱۳/۵	L	طول حوزه (Km)
۱۶۷۲/۴۵	H	میانگین وزنی ارتفاع حوزه (m)

$$GIUH_{(t)} = \theta_1(o) \frac{d\phi_{16}(t)}{dt} + \theta_2(o) \frac{d\phi_{26}(t)}{dt} + \theta_3(o) \frac{d\phi_{36}(t)}{dt} + \theta_4(o) \frac{d\phi_{46}(t)}{dt}$$

برای محاسبه مقدار تابع آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک (برساعت)  $[GIUH_{(t)}]$  در فواصل زمانی  $t$  ساعته لازم است تا با استفاده از روابط کاربردی موجود مقادیر ماتریس احتمال انتقال فاصله زمانی  $[\phi_{(t)}]$ ، احتمال اولیه  $[\theta_i(o)]$ ، احتمال انتقال  $[P_{ij}]$ ، میانگین تعداد اتصالات درونی  $[E]$  و میانگین

الف- استخراج آبنمود واحد لحظه‌ای با مدل‌های مختلف مورد تحقیق

#### ۱- آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک

تابع واکنش هیدرولوژیک حوزه آبخیز معرف کسپلیان را که بنابر سیستم رتبه‌بندی استرالر، رتبه ۴ را به خود اختصاص می‌دهد، به شکل ذیل می‌توان نشان داد (۳):

$$E(\gamma, \omega, \Omega) \omega = N_{\omega} \prod_{a=2}^{\omega} \frac{N_{a-1} - 1}{2N_a - 1}$$

$$\lambda_1 = \frac{V}{L_1} \text{ و } \lambda_2 = \lambda_1 R_L^{-1} \text{ و } \lambda_3 = \lambda_1 R_L^{-2} \text{ و } \lambda_4 = \lambda_1 R_L^{-3}$$

که در آن،  $V$  سرعت اوج جریان (متربرثانیه)،  $L_1$  میانگین طول آبراهه‌های رتبه یک (متر)،  $R_L$  نسبت طول هورتون و  $\lambda_i$  عکس میانگین زمان انتظار آبراهه رتبه (i) (برساعت) است.

خاطر نشان می‌شود که به دلیل تغییر سرعت اوج جریان در هر واقعه باران - رواناب، مقادیر عکس میانگین زمان انتظار ( $\lambda_i$ ) و به تبع آن مقادیر میانگین زمان انتظار آبراهه‌ها با رتبه مختلف ( $\lambda_i^{-1}$ ) دچار تغییر می‌شوند.

زمان انتظار آبراهه‌های رتبه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و  $[\lambda_i^{-1}]$  در حوزه آبخیز مورد مطالعه مشخص شوند. نتایج محاسبات در جدول ۳ برای حوزه معرف کسلیان آمده است.

$$\theta_i = \frac{\text{مساحت از حوزه آبخیز که مستقیماً به آبراهه‌های رتبه (i) زمکشی می‌شوند}}{\text{مساحت کل حوزه آبخیز}}$$

$i = 1, 2, 3, 4$

$$P_{ji} = \frac{\text{تعداد آبراهه‌های رتبه (i) که به آبراهه رتبه (j) می‌ریزند}}{\text{تعداد کل آبراهه‌های رتبه (j)}}$$

$j = 2, 3, 4$

جدول ۳- مقادیر میانگین تعداد اتصالات درونی، احتمال اولیه و احتمال انتقال در حوزه آبخیز معرف کسلیان

رتبه آبراهه	تعداد آبراهه	مساحت زهکشی	احتمال اولیه	میانگین تعداد اتصالات درونی	احتمال انتقال
۱	۸۸	۳۴/۶۱۸	۰/۵۱۰۷	-	$P_{13} = ۰/۸۱۸$ , $P_{14} = ۰/۰۴۵$
۲	۲۱	۱۷/۸۷۵	۰/۶۲۲۷	۴۲/۴۸۸	$P_{24} = ۰/۱۳۶$ , $P_{33} = ۰/۶۶۶$
۳	۶	۶/۲۵۵	۰/۰۹۲۳	۲/۰۷۲	$P_{24} = ۰/۲۳۳$ , $P_{24} = ۱/۰۰۰$
۴	۱	۸/۴۲۵	۰/۱۲۴۳	۸/۳۹۳	
$\Sigma$		۶۷/۷۸۰	-	-	

و نتایج مطالعاتشان در مورد سرعت جریان مبنی بر اینکه سرعت اوج جریان تابعی از شدت بارش مازاد و پارامتر موج جنبشی است، تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک را ارائه کردند. نامبردگان برای محاسبه دبی و زمان اوج آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک روابط ذیر را ارائه دادند:

$$q_p = 1.971(\Pi)^{0.4}$$

$$t_p = 0.2587(\Pi)^{0.4}$$

$$\Pi_i = \frac{(L_{\Omega})^{2.5}}{i_r A_{\Omega} R_L (\alpha_{\Omega})^{1.5}}$$

$$q_p \cdot t_p = 2$$

همچنین محققان فوق جهت محاسبه دبی و زمان اوج آبنمود رواناب خروجی ناشی از یک رگبار روابط ذیر را ارائه کرده‌اند:

در تئوری، آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک دبی و زمان اوج از رابطه ذیل محاسبه می‌شوند (۱۱):

$$q_p = 1.31 R_L^{0.43} (L_{\Omega})^{-1} V$$

$$t_p = 0.44 L_{\Omega} (R_B)^{0.55} (R_A)^{-0.55} (R_L)^{-0.38} (V)^{-1}$$

$$q_p \cdot t_p = 2$$

که در آن،  $q_p$  دبی اوج جریان (بر ساعت)،  $t_p$  زمان اوج (ساعت)،  $L_{\Omega}$  طول آبراهه بالاترین رتبه حوزه (کیلومتر)،  $R_B$  نسبت انشعاب،  $R_A$  نسبت مساحت،  $R_L$  نسبت طول،  $V$  سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه) و  $t_b$  زمان پایه آبنمود واحد لحظه‌ای (ساعت) است.

#### ۲- آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک

رودریگوئز-ایتورب و همکاران (۱۹۸۲) با قبول پایه‌های اصلی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک

که در آن،  $h(t)$  مولفه آبنمود واحد لحظه‌ای گاما (برساعت)،  $a$  پارامتر شکل،  $K$  پارامتر مقیاس (ساعت)،  $R_A$  نسبت مساحت،  $R_B$  نسبت انشعاب،  $R_L$  نسبت طول،  $V$  پارامتر دینامیکی سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه) و  $L\Omega$  طول آبراهه بالاترین رتبه حوزه است. مقدار تابع گاما برای حوزه مورد مطالعه در جدول ۴ آمده است.

$$\Gamma(a+1) = a\Gamma(a)$$

### برآورد سرعت اوج جریان

بیشتر حجم رواناب ناشی از یک رگبار در محدوده سرعت اوج جریان از خروجی حوزه عبور می‌کند (۱۲). نظر به اینکه دبی و زمان اوج آبنمود واحد لحظه‌ای تابعی از سرعت جریان است. و پارامتر دینامیکی سرعت جریان در تئوری‌های آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک روسو (گاما) نقش اساسی دارد، از این رو برآورد دقیق سرعت ضروری است. برای برآورد سرعت اوج جریان در رگبارهای انتخابی، از روش استدلالی ارائه شده رودریگوئز-ایتورب (۱۹۸۲) و فرمول توانی استفاده می‌شود:

$$V_{\Omega} = (\alpha_{\Omega}^{1/ms}) (Q)^{(m_s-1)/ms} \quad m_s = \frac{5}{3}$$

$$V_{\Omega} = (\alpha_{\Omega})^{0.6} (A_{\Omega} i_r)^{0.4}$$

$$V = mQ^n$$

$$\alpha_{\Omega} = \frac{\sqrt{S}}{n \sqrt[3]{P^2}}$$

که در آن،  $V_{\Omega}$  سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه)،  $Q$  دبی اوج جریان سیلاب (مترمکعب بر ثانیه)،  $A_{\Omega}$  مساحت حوزه (کیلومتر مربع)،  $i_r$  شدت بارش مازاد (متر بر ثانیه)،  $\alpha_{\Omega}$  پارامتر موجب جنبشی  $S$ ،  $(1/S \sqrt[3]{m})$  شیب آبراهه اصلی (متر به کیلومتر)،  $n$  متوسط ضریب زبری مانینگ و  $P$  محیط خیس شده (متر) است.

در فرمول توانی مقدار پارامترهای  $n$  و  $m$  از طریق ایجاد رابطه همبستگی بین دبی و سرعت جریان سیلاب به دست می‌آید. اصولاً در تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، روسو و ناش از رابطه توانی و در تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای

$$Q_p = 5.475 \left( \frac{A_{\Omega} i_r t_r}{(\Pi_i)^{0.4}} \right) \left( 1 - \frac{0.4927 t_r}{(\Pi_i)^{0.4}} \right)$$

$$T_p = 0.2587 (\Pi_i)^{0.4} + 0.75 t_r$$

### ۳- آبنمود واحد لحظه‌ای ناش

ناش (۱۹۵۷) حوزه آبخیز را به عنوان یک سیستم با منبع خطی سری با مشخصات ذخیره  $S$  و ثابت ذخیره  $K$  معرفی کرد. نامبرده آبنمود واحد لحظه‌ای را براساس روندیابی<sup>۱</sup> لحظه‌ای جریان ورودی در مخازن خطی فرضی به صورت زیر ارائه کرد:

$$h(t) = \frac{1}{K\Gamma(n)} \left( \frac{t}{K} \right)^{n-1} (e)^{-\frac{t}{K}}$$

پارامترهای  $n$  و  $K$  در تابع مذکور براساس گشتاور اول و دوم بارش اضافی و رواناب خروجی محاسبه می‌شوند:

$$MDRH_1 - MERH_1 = nK$$

$$MDRH_2 - MERH_2 = n(n+1)K^2 + nK(MERH_1)$$

$$MDRH_1 = \text{گشتاور اول رواناب خروجی}$$

$$MDRH_2 = \text{گشتاور دوم رواناب خروجی}$$

$$MERH_1 = \text{گشتاور اول بارش مازاد}$$

$$MERH_2 = \text{گشتاور دوم بارش مازاد}$$

روابط فوق، با تعیین ثابت ذخیره  $K$  (ساعت) و پارامتر  $n$  می‌توانیم مقدار تابع آبنمود واحد لحظه‌ای ناش را در زمان  $t$  (ساعت) برحسب عکس زمان (برساعت) برآورد کنیم.

### ۴- آبنمود واحد لحظه‌ای روسو (گاما)

روسو (۱۹۸۴) پارامترهای مدل ناش را از طریق برازش مقادیر دبی و زمان اوج آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک با توزیع گاما به صورت تابعی از نسبت‌های هورتون معرفی و تابع آبنمود واحد لحظه‌ای گاما را به صورت زیر ارائه کرد:

$$h_{(t)} = \left( \frac{t}{K} \right)^{a-1} \left( \frac{e}{K} \right)^{-\frac{t}{K}}$$

$$a = 3.29 \left( \frac{R_B}{R_A} \right)^{0.78} R_L^{0.07}$$

$$K = 0.7 \left( \frac{R_A}{R_B R_L} \right)^{0.48} L_{\Omega} (V)^{-1}$$

<sup>۱</sup> - Flood routing



ژئومورفوکلیماتیک از روش استدلالی برای برآورد سرعت اوج جریان استفاده می‌شود (جدول ۵).

جدول ۴- مقدار تابع گاما براساس نسبت‌های هورتون در حوزه معرف کسپلیان

$R_A$	$R_B$	$R_L$	$a$	$\Gamma(a)$
۵/۲۲۵۳	۴/۲۴۲۶	۲/۰۳۴۸	۲/۹۹۳۰	۱/۹۸۴۶

جدول ۵- مقادیر سرعت اوج محاسبه‌ای برای وقایع انتخابی از رابطه استدلالی و توانی (متربرثانیه)

تاریخ	$Q_p$	$V = (0.61)^{0.6} Q^{0.4}$	$V = (0.61)^{0.6} (A.Lr)^{0.4}$	$V = 0.71Q^{0.46}$
۵۱/۶/۲۷	۲/۵۰۰	۱/۲۲۷۰	۱/۳۸۱۰	۱/۲۶۳۰
۵۲/۷/۶	۰/۹۲۰	۰/۷۱۸۹	۰/۸۳۷۹	۰/۶۸۲۲
۵۴/۷/۶	۰/۸۰۵	۰/۶۸۱۵	۰/۸۰۰۹	۰/۶۴۲۵
۶۵/۵/۱۴	۱/۵۹۰	۰/۸۹۴۸	۰/۹۱۷۹	۰/۸۷۸۸
۶۷/۶/۳۰	۳/۳۰۰	۱/۱۹۸۰	۱/۱۳۵۰	۱/۲۲۹۰
۶۷/۸/۲۹	۳/۶۶۰	۱/۲۴۹۰	۱/۲۳۱۰	۱/۲۸۹۰
۷۱/۳/۳۰	۱/۷۰۰	۰/۹۱۹۰	۰/۸۸۶۰	۰/۹۰۶۰
۷۲/۳/۱۴	۲/۰۴۳	۰/۹۸۹۰	۱/۰۲۴۰	۰/۹۸۶۰

روش‌های مختلف،  $A\Omega$  مساحت حوزه آبخیز برحسب مترمربع و  $P_e$  بارش مازاد برحسب متر است.

#### ج - آبنمود واحد SCS

یکی از روش‌های تعیین آبنمود واحد حوزه‌های بدون اطلاعات و آمار، استفاده از آبنمود واحد بدون بعد SCS است، که با استفاده از آبنمودهای واحد تعداد بسیار زیادی از حوزه‌های آبخیز دارای آمار و اطلاعات به‌دست آمده است. با توجه به زمان اوج هیدروگراف شاخص حوزه (۱) و همچنین زمان تمرکز به‌دست آمده از روش سرعت متوسط SCS برای حوزه (۶)، مقدار  $\Delta_D = 0/8$  ساعته به‌دست آمد. همچنین با استفاده از جدول بدون بعد SCS آبنمود واحد  $0/8$  ساعته حوزه برآورد گردید. آبنمود واحد  $0/8$  ساعته به ۴ ساعته و سپس آبنمود واحد یک‌ساعته روش SCS استخراج شد.

#### د - استخراج آبنمود رواناب خروجی برای وقایع انتخابی

در مطالعه حاضر، برای محاسبه ابعاد آبنمود رواناب خروجی وقایع انتخابی برای روش‌های مختلف مورد تحقیق، به‌دلیل اینکه توزیع زمانی بارش در هیتوگراف هر رگبار یکنواخت نیست و در فواصل زمانی مختلف، بارش مازاد مقادیر متفاوتی را به خود

همچنین پارامتر موج جنبشی را می‌توان با ایجاد رابطه بین دبی جریان و سطح مقطع خیس‌شده به‌دست آورد. مقدار پارامتر موج جنبشی برای حوزه مورد مطالعه با توجه به آمار و اطلاعات ثبت‌شده (منتشرنشده) در محل ایستگاه هیدرومتری به‌صورت ذیل تعیین شد:

$$V = mQ^n \rightarrow V = 0.71(Q)^{0.46} \quad R^2 = 0.9746$$

$$Q = \alpha A^m \rightarrow Q = 0.61(A)^{1.6} \quad R^2 = 0.9989$$

#### ب- استخراج آبنمود واحد از آبنمود واحد لحظه‌ای

در این تحقیق ابعاد آبنمود واحد لحظه‌ای یک‌ساعته روش‌های مختلف (ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، ناش و روسو) برحسب عکس زمان (برساعت) به ازای یک واحد بارش مازاد برای رگبارهای انتخابی محاسبه شد. حال چنانچه هدف، استخراج آبنمود واحد یک‌ساعته به ازای  $P_e$  واحد بارش اضافی باشد، باید آبنمود واحد لحظه‌ای استخراجی از مدل‌های مورد تحقیق را که برحسب عکس زمان (برساعت) برآورد گردیده‌اند برحسب مترمکعب برثانیه به دست آوریم:

$$u_{(t)} = (IUH_{(t)})(P_e)(A\Omega)$$

که در آن،  $IUH_{(t)}$  ابعاد آبنمود واحد لحظه‌ای در زمان  $t$  برحسب عکس زمان (برساعت) در

$$\%RE_{QP} = \left| \frac{T_{Po} - T_{Pc}}{T_{Po}} \right| \times 100$$

که در آن،  $RE_i$  خطای نسبی در هر برآورد،  $n$  تعداد برآورد،  $\%RE_{QP}$  درصد خطای نسبی در برآورد دبی اوج،  $\%RE_{TP}$  درصد خطای نسبی در برآورد زمان اوج،  $Q_{Po}$  دبی اوج آبنمود مشاهده‌ای،  $Q_{Pc}$  دبی اوج آبنمود محاسبه‌ای،  $T_{Po}$  زمان اوج آبنمود مشاهده‌ای و  $T_{Pc}$  زمان اوج آبنمود محاسبه‌ای است.

این شاخص آماری بدون بعد است و مقایسه‌ای تک‌بعدی انجام می‌دهد و درصد خطای دبی و زمان اوج برآوردی را حول دبی و زمان اوج مشاهده‌ای نشان می‌دهد.

#### میانگین توان دوم خطا (MSE)

این شاخص آماری چنین تعریف می‌شود (۳):

$$MSE = 1/n \sum_{i=1}^n SE_i^2$$

$$SE_i = (Q_{oi} - Q_{ci})^2$$

که در آن،  $SE_i$  مجموع مربع خطای بین ابعاد آبنمود مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در هر فاصله زمانی،  $n$  تعداد برآورد،  $Q_{oi}$  ابعاد آبنمود مشاهده‌ای و  $Q_{ci}$  ابعاد آبنمود محاسبه‌ای است.

در شاخص آماری میانگین توان دوم خطا، مقایسه بر مبنای میزان اریبی و نحوه پراکندگی (واریانس) ابعاد برآوردی حول ابعاد مشاهده‌ای انجام می‌گیرد، به طوری که در مقایسه دو مدل با واریانس مساوی، آنکه اریبی کمتر دارد و در دو مدل نارایب آنکه واریانس کمتری دارد، ارجح‌تر است.

#### تعیین درصد کارایی نسبی مدل‌های مورد تحقیق

به منظور تعیین درصد برتری مدل‌های مورد تحقیق نسبت به هم در برآورد ابعاد آبنمود جریان خروجی در حوزه مورد مطالعه طبق تعریف از میزان میانگین توان دوم خطای هر مدل نسبت به مدل دیگر براساس رابطه زیر استفاده شده است (۳):

$$\text{درصد کارایی برآوردکننده (۱) نسبت به برآوردکننده (۲)} = \left( \frac{MSE_2}{MSE_1} \right) \times 100$$

اختصاص می‌دهد، از روش ماتریسی و حل همزمان معادلات استفاده شد. شکل کلی معادلات به صورت زیر است:

$$[P]_{m,n}[U]_m = [Q]_m$$

#### ۵- مقایسه آبنمودهای محاسبه‌ای و مشاهده‌ای

به منظور بررسی میزان کارایی آبنمودهای استخراجی در روش‌های ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، ناش، روسو و SCS لازم است تا مشخصات برجسته آبنمودهای محاسبه‌ای و مشاهده‌ای از نظر ابعاد، خصوصاً دبی و زمان با همدیگر مقایسه و درصد اختلاف آنها مشخص شود و از آن به عنوان معیار مناسبی جهت رسیدن به برتری مدل‌ها نسبت به یکدیگر استفاده به عمل آید. در این راستا، از دو شاخص سنجش میانگین خطای نسبی (MRE) و میانگین توان دوم خطا (MSE) برای ارزیابی میزان کارایی مدل‌های به کار گرفته شده، استفاده گردید (۳). شاخص آماری MRE درصد خطای مقدار یک بعد برآوردی را حول مقدار متناظر همان بعد به صورت مشاهده‌ای و ثبت شده نشان می‌دهد و در شاخص MSE مقایسه بر مبنای میزان اریبی و نحوه پراکندگی ابعاد برآوردی هیدروگراف حول ابعاد مشاهده‌ای انجام می‌گیرد. از آنجایی که هدف تحقیق مقایسه ابعاد هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در ساعت متناظر است، از نظر تئوری برحسب میزان کارایی مدل، ابعاد متناظر باید بر هم منطبق شوند، ولی در عمق مقداری اریبی مشاهده شده و لازم است تا درصد آن تعیین گردد به همین دلیل از شاخص‌های MRE و MSE که کارایی سنجش این صفت را دارند، استفاده شده است. بدیهی است هر چه داده‌های به دست آمده از مدل‌های برآوردکننده به داده‌های مشاهده‌ای نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده دقت، اعتبار و کارایی مدل است:

#### شاخص میانگین خطای نسبی (MRE)

این شاخص آماری بصورت زیر است (۸):

$$MRE = 1/n \sum_{i=1}^n RE_i$$

$$\%RE_{TP} = \left| \frac{Q_{Po} - Q_{Oc}}{Q_{Po}} \right| \times 100$$

## نتایج

خطای نسبی و میانگین توان دوم خطا در جداول ۸ و ۹ ارائه شده است.

به منظور تعیین درصد کارایی مدل‌های مورد تحقیق نسبت به هم در برآورد ابعاد آبنمود جریان خروجی در حوزه مورد مطالعه، از میانگین توان دوم خطای هر مدل استفاده شد که نتایج آن در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

با توجه به اهداف تعیین شده و فرض تحقیق، نتایج حاصله در برآورد ابعاد آبنمود خروجی ناشی از بارش مازاد (جدول ۶) از روش‌های مختلف مورد تحقیق در مقایسه با آبنمود مشاهده‌ای (جدول ۷) برای رگبارهای انتخابی در فواصل زمانی یک‌ساعته در شکل‌های ۲ تا ۹ نشان داده شده است. نتایج بررسی میزان کارایی آبنمودهای استخراجی در روش‌های مختلف با دو شاخص میانگین

جدول ۶- مقادیر بارش اضافی رگبارهای انتخابی (میلی‌متر) در روش SCS

تاریخ ساعت	۵۱/۶/۲۷	۵۲/۷/۲۶	۵۴/۷/۲۶	۶۵/۵/۱۴	۶۷/۶/۳۰	۶۷/۸/۲۹	۷۱/۳/۳۰	۷۲/۳/۱۴
۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۱	۰/۰۴۶۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۳۴	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۲۴۰	۰/۰۰۵
۲	۰/۰۳۶	۰/۰۲۰	۰/۰۲۸	۰/۰۷۰	۰/۱۳۰	۰/۲۰۲	۰/۰۱۰	۰/۱۵۲
۳		۰/۰۵۵	۰/۰۹۸	۰/۱۳۲	۰/۱۳۶	۰/۰۲۰۵	۰/۰۱۰	۰/۲۰۰
۴		۰/۱۲۷	۰/۱۳۴	۰/۱۵۳	۰/۲۹۳	۰/۳۰۵	۰/۰۶۸	۰/۱۵۹
۵		۰/۱۴۱	۰/۰۴۲	۰/۰۸۹	۰/۲۲۶			۰/۱۳۶
۶		۰/۰۵۹			۰/۰۹۹			۰/۰۹۸
۷								۰/۰۷۷
N	۲	۶	۵	۵	۶	۴	۴	۷
شدت (میلی‌متر بر ساعت)	۰/۲۵	۰/۰۷۱	۰/۰۶۴	۰/۰۹۰	۰/۱۵۳	۰/۱۸۷	۰/۰۸۲	۰/۱۱۸

جدول ۷- ابعاد آبنمود مشاهده‌ای وقایع انتخابی (مترمکعب بر ثانیه)

تاریخ ساعت	۵۱/۶/۲۷	۵۲/۷/۶	۵۴/۷/۶	۶۵/۵/۱۴	۶۶/۷/۲۸	۶۷/۶/۳۰	۶۷/۸/۲۹	۷۱/۳/۳۰	۷۲/۳/۱۴
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۱	۰/۱۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۹۸	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۲۳
۲	۰/۸۳۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰	۰/۳۲	۰/۳۹	۱/۷۵	۰/۲۵	۰/۴۰
۳	۲/۶۰۹	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۳۵	۱/۶۹	۲/۴۰	۰/۴۴	۰/۵۶
۴	۱/۸۷۹	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۶۱	۰/۳۷	۲/۱۴	۲/۶۸	۰/۶۶	۱/۰۲
۵	۱/۲۵۲	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۸۵	۰/۴۳	۲/۶۰	۲/۷۸	۱/۰۶	۱/۲۹
۶	۰/۸۸۷	۰/۲۴	۰/۲۲	۱/۰۴	۰/۴۹	۲/۸۰	۲/۶۸	۰/۹۱	۱/۴۴
۷	۰/۵۷۴	۰/۶۷	۰/۶۰	۱/۳۷	۰/۶۵	۲/۹۰	۲/۴۰	۰/۶۹	۱/۹۰
۸	۰/۳۶۶	۰/۸۹	۰/۷۰	۱/۱۸	۱/۰۹	۲/۹۶	۱/۸۴	۰/۵۲	۱/۳۶
۹	۲/۰۹	۰/۸۳	۰/۶۴	۱/۰۴	۱/۸۵	۲/۸۰	۱/۵۰	۰/۳۶	۱/۲۹
۱۰	۱۰	۰/۱۵۷	۰/۷۳	۰/۵۴	۰/۹۲	۲/۴۱	۱/۳۳	۰/۲۶	۱/۲۲
۱۱	۰/۱۰۰	۰/۶۴	۰/۴۷	۰/۷۳	۲/۹۰	۱/۶۹	۱/۰۸	۰/۰۰	۱/۰۸
۱۲	۰/۰۵۲	۰/۵۷	۰/۴۲	۰/۶۱	۲/۷۹	۱/۳۲	۰/۹۴		۱/۰۱
۱۳	۰/۰۰۰	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۵۵	۲/۳۵	۱/۱۸	۰/۷۳		۰/۸۷
۱۴		۰/۴۴	۰/۳۲	۰/۴۳	۱/۹۵	۱/۰۴	۰/۶۶		۰/۷۳
۱۵		۰/۴۰	۰/۲۹	۰/۳۴	۱/۸۲	۰/۹۰	۰/۵۹		۰/۶۷
۱۶		۰/۳۴	۰/۲۴	۰/۲۵	۱/۶۵	۰/۸۴	۰/۵۲		۰/۶۱
۱۷		۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۲۰	۱/۴۶	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۵۱
۱۸		۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۰۰	۱/۳۷				۰/۴۵
۱۹		۰/۲۳	۰/۱۶		۱/۲۷				۰/۴۰
۲۰		۰/۲۰	۰/۱۵		۰/۱۹				۰/۳۷
۲۱			۰/۱۹	۰/۱۱	۱/۰۰				۰/۳۴
۲۲		۰/۱۶	۰/۰۰		۰/۹۲				۰/۲۹
۲۳		۰/۰۰			۰/۳۷				۰/۲۳
۲۴					۰/۶۵				۰/۰۰
۲۵					۰/۴۹				
۲۶					۰/۴۳				
۲۷					۰/۳۵				
۲۸					۰/۲۸				
۲۹					۰/۰۰				

جدول ۸- مقادیر میانگین خطای نسبی (MRE) دبی و زمان اوج در روش‌های مختلف برای وقایع انتخابی

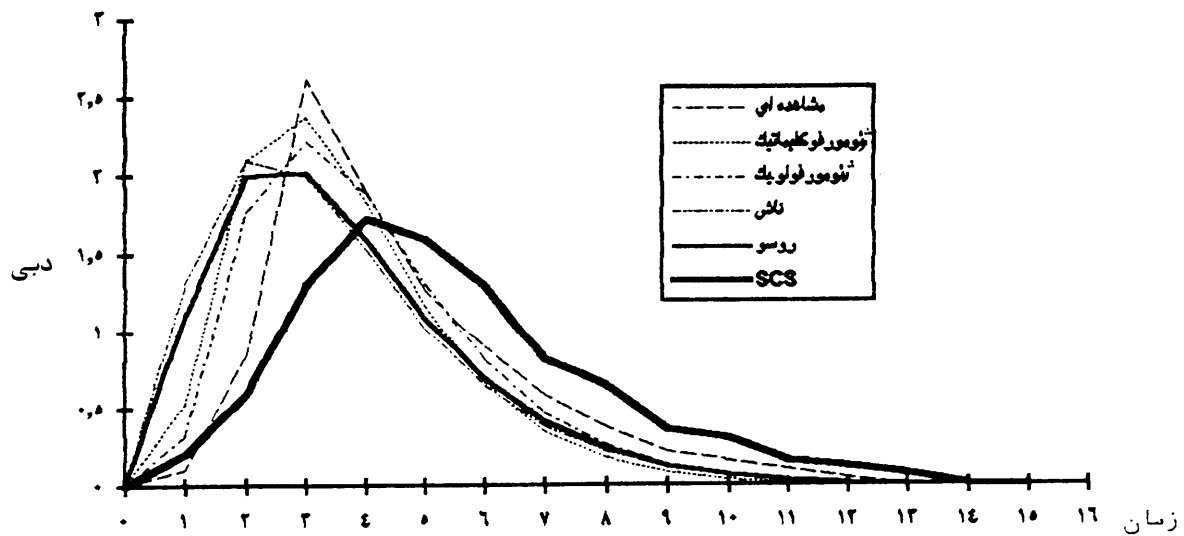
روش		تاریخ	MRE								
			۵۱/۶/۲۷	۵۲/۷/۶	۵۴/۷/۶	۶۵/۵/۱	۶۶/۶/۳۰	۶۷/۸/۲۹	۷۱/۳/۳۰	۷۲/۳/۱۴	
مقادیر دبی و زمان اوج آبنمودهای برآوردی و درصد اختلاف آنها با دبی و زمان آبنمودشاهدی	ژنومورفوکلیماتیک (GCIUH)	Qp	۲/۳۶۵	۱/۱۹۷	-/۱۸۵۳	۱/۳۳۶	۲/۹۵۲	۲/۸۲۹	-/۸۶۹	۲/۱۹۶	-
		%REQp	۹/۳۵	۳۴/۴۹	۲۱/۸۶	۲/۴۸	-/۲۷	۱/۷۶	۱۸/۰۲	۱۵/۵۷	۱۲/۹۷
		Qp	۳	۸	۷	۷	۷	۵	۵	۷	-
		%RETp	۰	۰	۱۲/۵	۰	۱۲/۵	۰	۰	۰	۳/۱۲
	ژنومورفوکلیماتیک (GCIUH)	Qp	۲/۲۱۲	۱/۰۰۴	-/۷۰۰	۱/۲۹۵	۳/۰۴۱	۲/۹۵۸	-/۸۸۲	۲/۱۵۰	-
		%REQp	۱۵/۲۲	۱۲/۸۱	۰	۵/۴۷	۲/۷۴	۶/۴۰	۱۶/۷۹	۱۳/۱۶	۹/۰۷
		Qp	۳	۹	۸	۷	۶	۵	۵	۷	-
		%RETp	۰	۱۲/۵	۰	۰	۲۵	۰	۰	۰	۴/۶۸
	ناش	Qp	۲/۰۹۲	-/۸۶۱	-/۶۴۶	۱/۱۴۱	۲/۳۷۴	۲/۱۳۹	۱/۱۷۴	۱/۵۴۸	-
		%REQp	۱۹/۸۱	۲/۲۶	۷/۷۱	۱۶/۷۱	۱۹/۷۹	۲۳/۰۵	۱۰/۷۵	۱۸/۵۳	۱۴/۹۵
		Qp	۲	۹	۸	۶	۵	۴	۴	۷	-
		%RETp	۳۲/۲۲	۱۲/۵	۰	۱۴/۲۸	۳۷/۵	۲۰	۲۰	۰	۱۷/۲۰
	روسو	Qp	۲/۰۰۸	-/۹۵۲	-/۶۶۰	۱/۲۲۲	۲/۶۹۱	۲/۸۱۵	-/۸۳۹	۲/۱۱۲	-
		%RETp	۲۳/۰۳	۹/۹۶	۵/۷۱	۱۰/۸۰	۹/۰۹	۱/۲۶	۲۰/۸۵	۱۱/۱۶	۱۱/۱۰
		Qp	۳	۸	۷	۶	۵	۵	۴	۷	-
		%RETp	۰	۰	۱۲/۵	۱۴/۲۸	۳۷/۵	۰	۰	۲۰	۱۰/۵۳
	SCS	Qp	۱/۷۱۳	۱/۳۲۱	-/۹۹۱	۱/۳۸۴	۲/۵۶۶	۲/۲۷۲	-/۹۰۹	۲/۱۰۱	-
		%RETp	۳۴/۳۳	۴۸/۵۲	۴۸/۵۵	۱/۰۶	۱۳/۳۱	۱۸/۲۷	۱۴/۲۴	۱۰/۵۸	۲۲/۳۳
		Qp	۴	۹	۹	۷	۷	۷	۴	۷	-
		%RETp	۳۳/۳۳	۱۲/۵	۱۲/۵	۰	۱۲/۵	۴۰	۲۰	۰	۱۶/۳۵
Qp				-/۷۰۰	۱/۳۷۰	۲/۹۶۰	۲/۷۸۰	۱/۰۶۰	۱/۹۰۰	-	
دبی و زمان اوج آبنمود مشاهده‌ای		Tp	۳	۸	۸	۷	۸	۵	۵	۷	-

جدول ۹- مقادیر میانگین توان دوم خطا (MSE) در روش‌های مختلف برای وقایع انتخابی

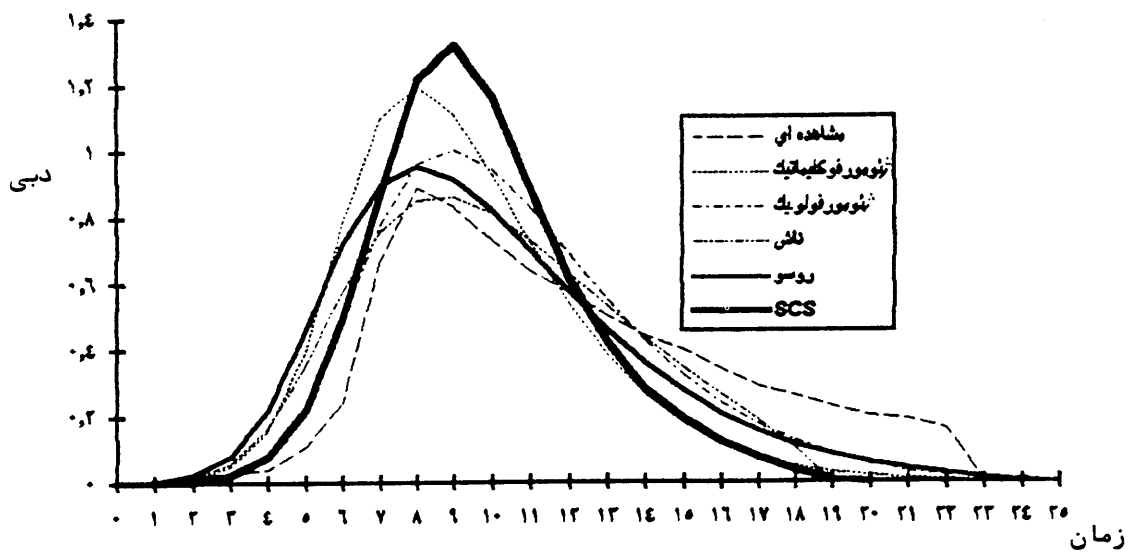
		مجموع مربع خطا (SE <sub>i</sub> )									
روش		تاریخ	۵۱/۶/۲۷	۵۲/۷/۶	۵۴/۷/۶	۶۵/۵/۱	۶۶/۶/۳۰	۶۷/۸/۲۹	۷۱/۳/۳۰	۷۲/۳/۱۴	MRE
ژنومورفوکلیماتیک GCIUH			۲/۰۱۹۹	۱/۱۵۹۹	-/۷۵۰۲	-/۷۲۶۰	۱۲/۴۰۳	۹/۴۲۱۵	-/۱۴۲۸	۳/۷۶۱۱	۳/۷۹۷
ژنومورفولوژیک GCIUH			۱/۱۰۹۱۱	-/۳۵۱۱	-/۱۷۰۵	-/۶۱۷۲	۱۳/۲۷۲۳	۹/۳۷۰۸	-/۱۶۱۶	۳/۴۴۹۰	۳/۵۶۳
ناش			۱۴/۵۷۰۲	-/۴۲۰۰	-/۲۶۳۵	۱/۱۹۱۰	۱۷/۷۸۷۳	۱۱/۶۳۳۳	۱/۰۶۶۹	۱/۸۳۴۰	۶/۰۹۷
روسو			۲/۹۱۳۲	-/۶۳۱۲	-/۴۰۹۵	-/۷۷۹۹	۱۳/۴۰۸۱	۸/۵۳۸۵	-/۳۹۵۶	۳/۳۶۸۲	۳/۸۰۵
SCS			۲/۲۵۸۸	۱/۰۸۸۷	-/۵۰۰۷	-/۷۲۵۸	۱۲/۱۳۹۴	۱۲/۱۰۶۳	-/۱۵۳۹	۳/۱۱۳۵	۴/۰۱۳۴

جدول ۱۰- کارایی نسبی برآوردکننده (۱) نسبت به برآوردکننده (۲) در برآورد ابعاد آبنمود رواناب خروجی حوزه معرف کسپلیان

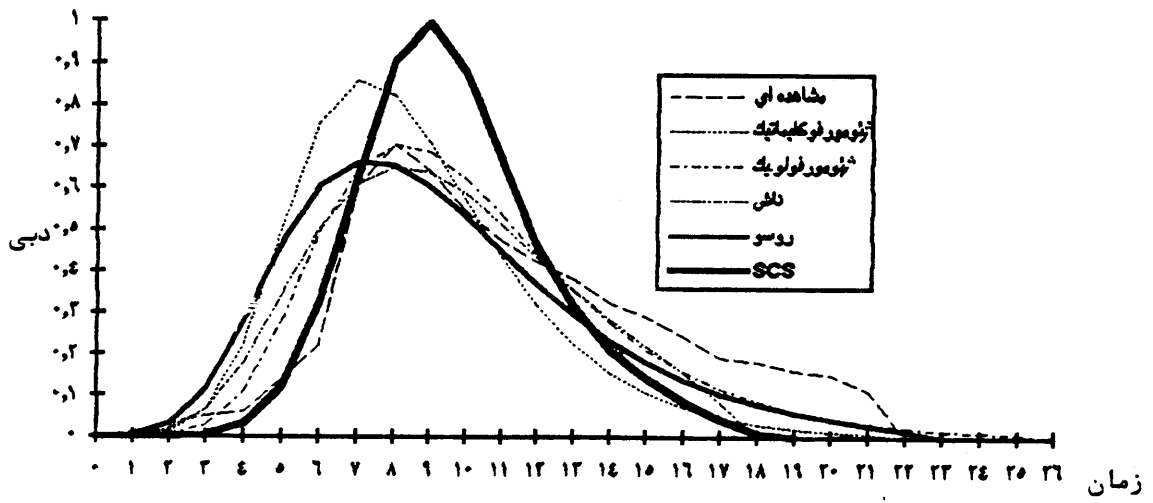
SCS	روسو	ناش	ژئومورفولوژیک	ژئومورفوکلیماتیک	برآوردکننده (۲) برآوردکننده (۱)
۱۰۵/۶۹	۱۰۰/۲۱	۱۶۰/۵۷	۹۳/۸۴	۱۰۰	ژئومورفوکلیماتیک
۱۱۲/۶۴	۱۰۶/۷۹	۱۷۱/۱۲	۱۰۰	۱۰۶/۵۶	ژئومورفولوژیک
۶۵/۸۲	۶۲/۴۱	۱۰۰	۵۸/۴۴	۶۲/۲۷	ناش
۱۰۵/۴۷	۱۰۰	۱۶۰/۲۳	۹۳/۶۴	۹۹/۷۹	روسو
۱۰۰	۹۴/۸۱	۱۵۱/۹۱	۸۸/۷۷	۹۴/۶۱	SCS



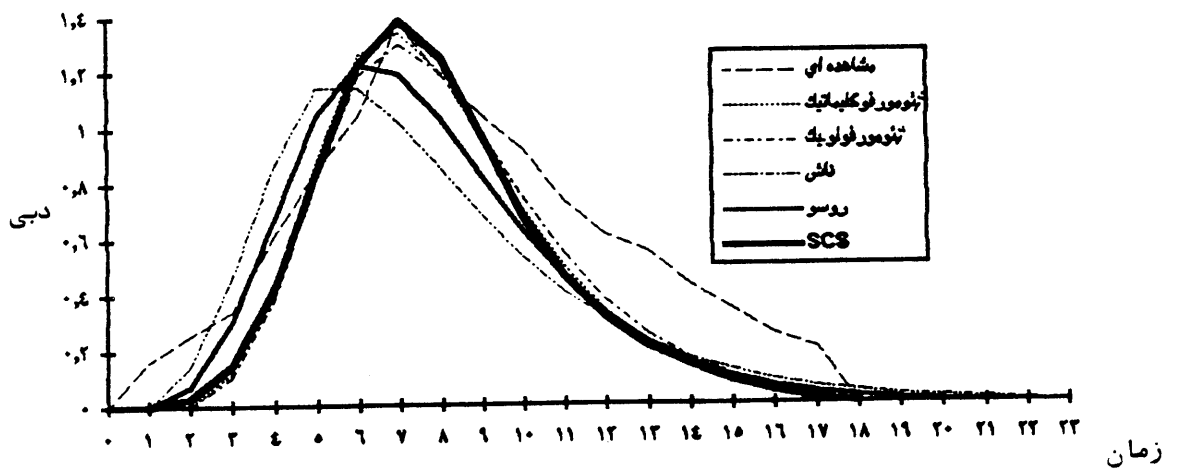
شکل ۲- مقایسه آبنمود مشاهده‌ای و آبنمود محاسبه‌ای روش‌های مختلف برای رگبار تاریخ ۰۱/۶/۲۷



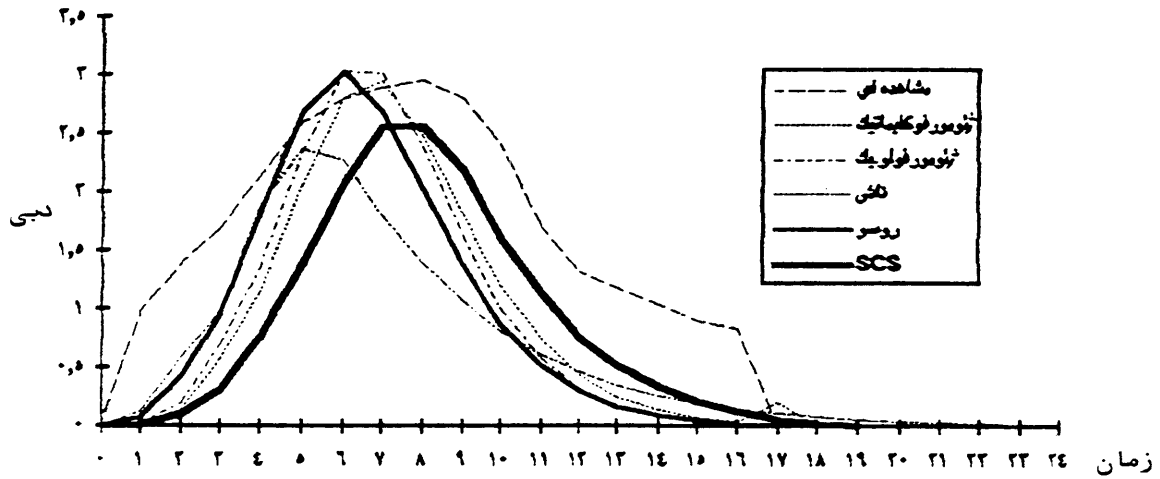
شکل ۳- مقایسه آبنمود مشاهده‌ای و آبنمود محاسبه‌ای روش‌های مختلف برای رگبار تاریخ ۰۲/۷/۶



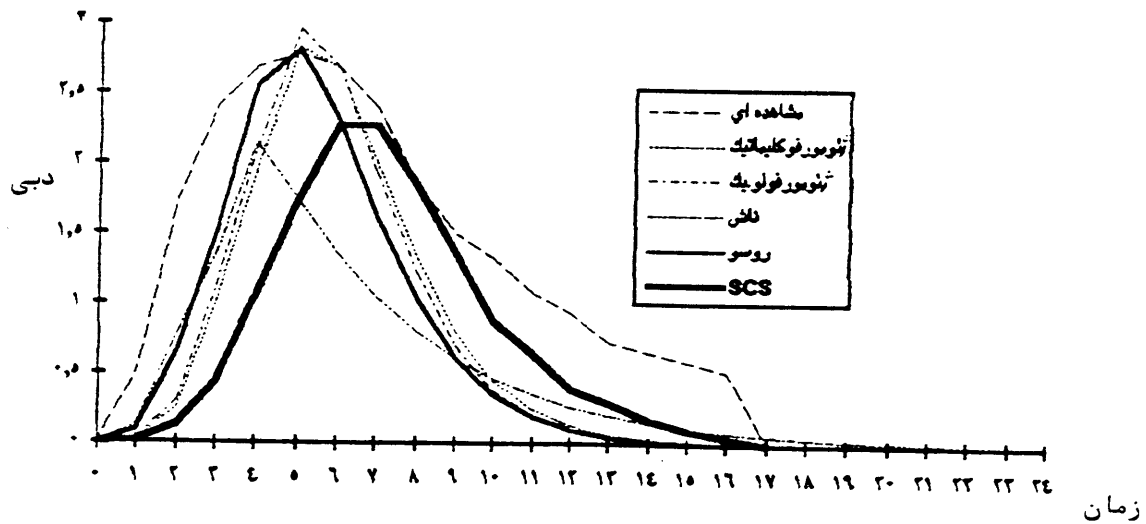
شکل ۴- مقایسه آبنمود مشاهده‌ای و آبنمود محاسبه‌ای روش‌های مختلف برای رگبار تاریخ ۰۴/۷/۶۵



شکل ۵- مقایسه آبنمود مشاهده‌ای و آبنمود محاسبه‌ای روش‌های مختلف برای رگبار تاریخ ۰۵/۰۵/۶۵

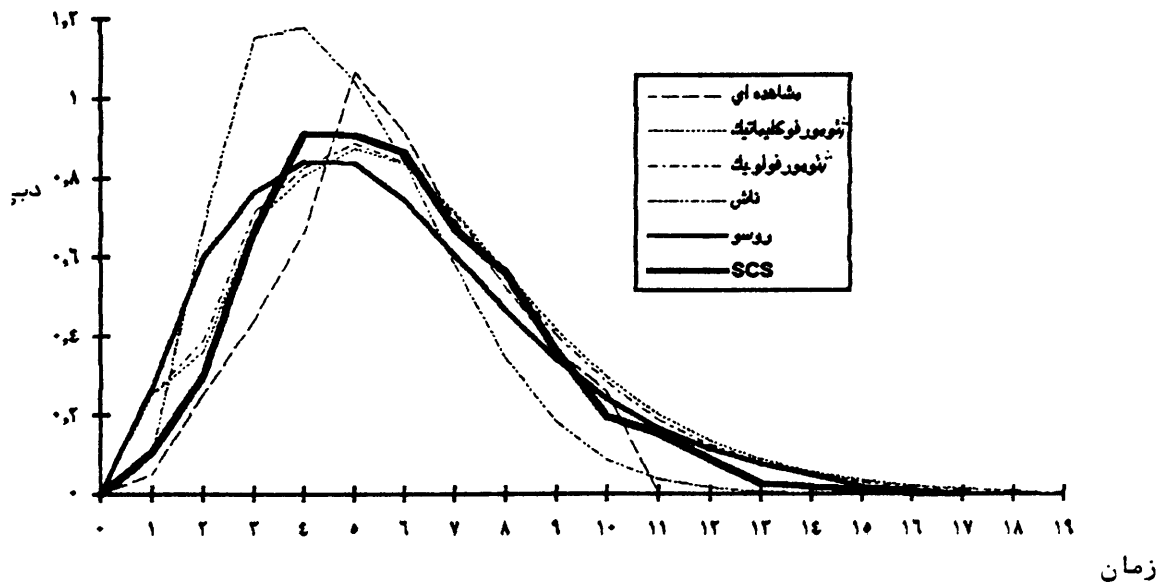


شکل ۶ - مقایسه آبنمود مشاهده‌ای و آبنمود محاسبه‌ای روش‌های مختلف برای رگبار تاریخ ۶۷/۶/۳۰

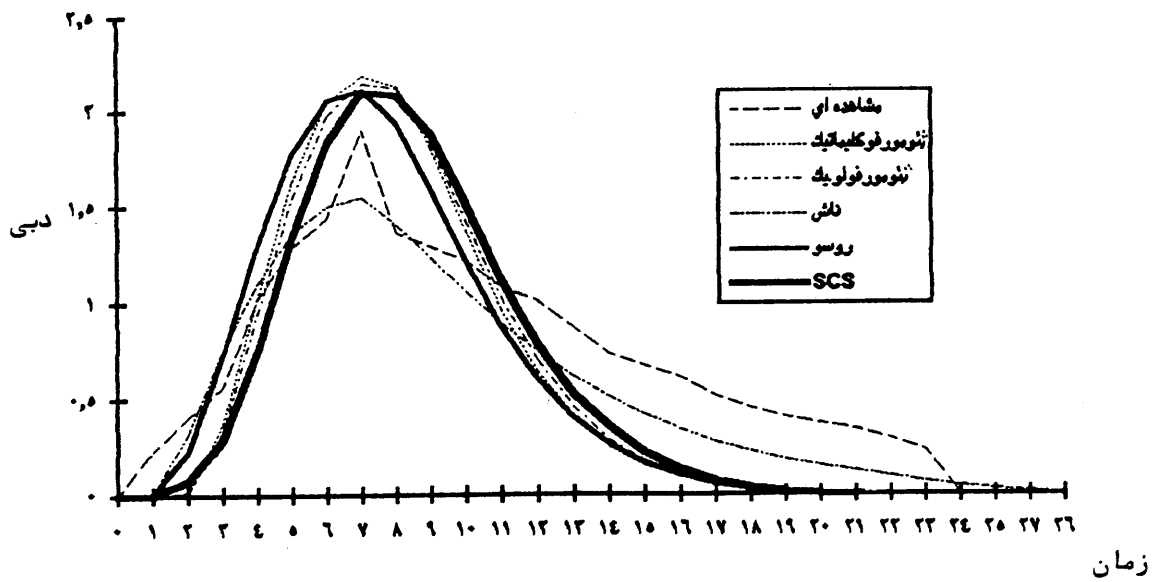


شکل ۷ - مقایسه آبنمود مشاهده‌ای و آبنمود محاسبه‌ای روش‌های مختلف برای رگبار تاریخ ۶۷/۸/۲۹





شکل ۸- مقایسه آبنمود مشاهده‌ای و آبنمود محاسبه‌ای روش‌های مختلف برای رگبار تاریخ ۷۱/۲/۲۰



شکل ۹- مقایسه آبنمود مشاهده‌ای و آبنمود محاسبه‌ای روش‌های مختلف برای رگبار تاریخ ۷۲/۲/۱۴

## بحث و نتیجه‌گیری

نتیجه، روش ژئومورفولوژیک نسبت به مدل‌های دیگر دارای کارایی بالاتری است.

از دقت مقادیر برآوردی دبی و زمانی اوج، به عبارتی ابعاد آبنمود محاسبه‌ای در مقایسه با آبنمود مشاهده‌ای، می‌توان به دقت تعریف اجزای تشکیل‌دهنده مدل‌های آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک پی برد و از این مدل‌ها نسبت به روش‌های تجربی درحوزه‌های فاقد آمار با درجه اطمینان بالایی استفاده کرد. نتایج به‌دست آمده با نتایج والدس (۱۹۷۹)؛ سورمن (۱۹۹۵)، گوپتا (۱۹۸۰)، رودریگوئز، ایتورب (۱۹۸۲)؛ آلام (۱۹۹۰)؛ قهرمان (۱۳۷۴)؛ غیائی (۱۳۷۵) و عرفانیان (۱۳۷۷) همخوانی دارد و بیانگر کارایی و دقت بالای روش‌های برآورد آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک است.

آنچه از نتایج این تحقیق حاصل می‌شود، این است که مدل‌های مورد بررسی در برآورد ابعاد آبنمود رواناب خروجی به‌عنوان واکنش هیدرولوژیک حوزه آبخیز از دقت و کارایی مناسبی برخوردارند. به عبارتی، پارامترهای اقلیمی و فیزیکی مورد استفاده در مدل‌های مورد بررسی به‌منزله عوامل دخیل در برآورد آبنمود جریان خروجی به‌عنوان شاخصی که مقادیر کمی ابعاد آن از نظر آماری قابل استدراک است، از تاثیرگذاری بالایی برخوردارند.

مقایسه کارایی روش‌های مورد بررسی حاکی از آن است که روش ژئومورفولوژیک نسبت به ژئومورفوکلیماتیک، ناش، روسو و SCS به ترتیب  $۱۰۶/۵۶$ ،  $۱۷۱/۱۲$ ،  $۱۰۶/۷۹$  و  $۱۱۲/۶۴$  درصد و روش ژئومورفوکلیماتیک نسبت به ناش، روسو و SCS به ترتیب  $۱۶۰/۵۷$ ،  $۱۰۰/۲۱$  و  $۱۰۵/۶۹$  درصد کاراترند. در

## منابع

- ۱- حشمت‌پور، علی، ۱۳۷۸. بررسی کارایی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک درحوزه آبخیز معرف کسلیان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۲- عباس، علی‌اکبر، ۱۳۷۱. تهیه و کالیبراسیون مدل کامپیوتری برآورد رواناب درحوزه‌های آبریز کوچک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- ۳- عرفانیان، مهدی، ۱۳۷۷. بررسی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در حوزه آبخیز درجزین سمنان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۴- غیائی، نجف‌قلی، ۱۳۷۵. واسنجی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و ژئومورفوکلیماتولوژی در حوزه آبخیز امامه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۵- قهرمان، بیژن، ۱۳۷۴. آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفو-آب و هوایی، دانشگاه فردوسی مشهد، نشریه دانشکده مهندسی، سال ۷، شماره ۱: ۲۸-۵۶.
- ۶- مقدم‌نیا، علیرضا، ۱۳۷۱. بررسی مقایسه‌ای زمان تمرکز، زمان تاخیر و زمان رسیدن تا اوج سیلاب براساس روش‌های تجربی و تجزیه هیدروگراف در دو منطقه آب و هوایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس.
- 7-Allam, M.N., 1990. Case study evaluation of geomorphologic rainfall-run off model, incorporating linear infiltration expression, Hydrological Processes: 71-84.
- 8-Diaz-Grandos, M.A., J.B. Valdres, & R.L. Bras, 1984. A physically based flood frequency distribution. Water Resour. Res., 20(7):995-1002.
- 9-Gupta, V.K., E.D. Waymir, & C.T. Wang, 1980. A representation of the instantaneous unit hydrograph from geomorphology, Water Resours. Res., 16(5):855-862.
- 10- Nash., J.E., 1957. From the instantaneous unit hydrograph . Inern General Assembly of Toronto. Compt. Rend., 3(42):114-118, IASH Publ. Gentbrugge.

- 11- Rodriguez-Iturbe, I., G. Deveto, & J. B. Valders, 1979. Discharge response analysis and hydrologic similarity, the interrelation between the geomorphological IUH and storm characteristics. *Water Resour. Res.*, 15(6): 1435-1444.
- 12-Rodriguez-Iturbe, I., M. Gonzales –Sanabria, & G. Cammano, 1982. On the climatic dependence of the IUH : A rainfall – runoff analysis of the Nash model and geomorphoclimatic theory. *Water Resour. Res.*, 18(4):884-903.
- 13-Rosso, R., 1984. Nash model relation to Horton order ratios. *Water Resour. Res.*, 20(7): 914-920.
- 14-Sorman, A. U., 1995. Estimation of Peak discharge using GIUH model in Saudi Arabia. *J. of Water Res. Planning and Management*, 121(4): 287-243.
- 15-Valders, J.B., Y. Fiallo, & I. Rodriguez-Iturbe, 1979. A rainfall – runoff analysis of the geomorphologic IUH, *Water Resour. Res.*, 15 (6): 1421-1334.

## The Efficiency of Geomorphologic and Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph Models in Estimating Flood Discharge

A. Heshmatpour<sup>1</sup> M.Mohseni Saravi<sup>2</sup> A.Sadeddin<sup>3</sup> M.Erfarian<sup>4</sup>

### Abstract

Among the main objectives in hydrology are to quantitatively forecast the process of rainfall-runoff, and to determine flood discharge at the outlet of a watershed. Flood discharge can be estimated using rainfall-runoff models which explain hydrological phenomena for ungaged watersheds. If the dimensions of flood hydrograph (which is the result of the watershed response to rainfall) are known, then the importance of models which are based on geomorphology of a basin will be very clear. The purpose of this study is to investigate the consistency, accuracy and reliability of geomorphological and geomorphoclimatical models in estimating the shape and discharge of flood resulting from a rainfall with certain intensity and duration. The results of these two models were compared with Nash, Rosso and SCS models. The results showed that the efficiency of geomorphologic model ratio to geomorphoclimatic, Nash, Rosso and SCS are 106.56, 171.12, 106.79 and 112.64 percent respectively, and that geomorphoclimatic model ratio to Nash, Rosso and SCS is 106.57, 100.21 and 105.69 percent, respectively. Therefore, the result of geomorphologic model compared to other models (based on this study) is the most efficient model to estimate flood discharge.

**Keywords:** Rainfall-runoff model, Unit hydrograph of geomorphologic and geomorphoclimatic model, Nash, Rosso and SCS models

---

<sup>1</sup> -Academic Member, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan

<sup>2</sup> -Assc. Prof., Natural Resources Faculty, Tehran University

<sup>3</sup> -Academic Member, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan

<sup>4</sup> -Scientific Member, Soil Conservation and Watershed Management Research Center