



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی

سال سیزدهم، شماره‌ی ۴۲  
تابستان ۱۳۹۲، صفحات ۲۲۷-۲۰۹

حمید نوری<sup>۱</sup>  
علیرضا ایلدرمی<sup>۲</sup>

## بررسی کارایی آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفیک و کلیماتیک در بر آورد سیلاب ها در حوضه آبریز اکباتان همدان

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۱۰/۲۶

### چکیده

پیش بینی واکنش هیدرولوژیک حوضه های آبخیز در قالب آبنمود خروجی حوضه، به بارش ورودی، از مهم ترین اهداف علم هیدرولوژی آب های سطحی در مدیریت وقایع فرین به ویژه طراحی و اجرای برنامه های سازه ای، مدیریت حوضه های آبخیز و توسعه پایدار منطقه ای است. از یک سو با توجه به هشدارهای هیات بین الدول تغییرات اقلیمی سازمان ملل متحد در خصوص گرم شدن زمین و افزایش وقایع فرین مانند خشکسالی ها و سیلاب ها بخصوص در عرض های جغرافیایی متوسط کره زمین و از سوی دیگر نقش آمار و اطلاعات مناسب در دستیابی به تحلیل های واقعی تر از وقایع سیلابی و نیز وسعت و نیاز حوضه های فاقد آمار به ویژه در کشورهای توسعه نیافته و درحال توسعه مانند ایران، این پژوهش به بررسی دقت و درجه کارایی مدل های آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفوکلیماتولوژی<sup>۳</sup> و ژئومورفولوژی<sup>۴</sup> برای تعیین ابعاد آبنمود سیل یک رگبار با شدت و مدت معین در حوضه

E-mail: hamidwatershed@yahoo.com  
E-mail: alirezaildoromi@yahoo.com

۱- استادیار گروه مرتع و آبخیز دانشگاه ملایر  
۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیز دانشگاه ملایر

3- GCIUH  
4- GIUH

آبریز سد اکباتان همدان پرداخته و آن‌ها را باروش‌های ناش، روسو و SCS مقایسه نموده و موثرترین و کارآمدترین مدل را معرفی کرده است. به منظور افزایش دقت و سرعت در اجرای کار از سیستم اطلاعات جغرافیایی و برای بررسی کارایی و دقت مدل‌ها از شاخص‌های آماری "میانگین توان دوم خطا" و "میانگین خطای نسبی" استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش ژئومورفوکلیماتولوژی نسبت به روش‌های ژئومورفولوژی، ناش، روسو و SCS به ترتیب ۱۰۹/۱۲، ۱۶۸/۵۶، ۱۳۷/۹۹، ۱۹۵/۲۶ درصد و روش ژئومورفولوژی نسبت به روش‌های ناش، روسو و SCS به ترتیب ۱۵۶/۴۳، ۱۲۱/۷۷، ۱۸۷/۲۳ درصد و روش روسو نسبت به روش‌های ناش و SCS به ترتیب ۱۶۴/۱۴، ۱۸۶/۵۵ درصد و روش ناش نسبت به SCS ۱۲۲/۲۴ درصد مناسب‌تر و کارآمدتر می‌باشند. لذا می‌توان در این حوضه، روش ژئومورفوکلیماتولوژی را که مبتنی بر داده‌های ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی است برتر از سایر روش‌ها معرفی نمود.

**کلید واژه‌ها:** آبنمود واحد لحظه‌ای، مدل ناش، مدل روسو، مدل SCS، حوضه آبخیز اکباتان.

#### مقدمه

ارائه مدل بارش و رواناب در هر حوضه آبخیز گام مهمی در شناخت عکس‌العمل‌های هیدرولوژیک آن حوضه محسوب می‌شود که بدون آمار و اطلاعات صحیح و مناسب، امری دشوار و پیچیده است. تئوری‌های علمی تشریح‌کننده پدیده‌های هیدرولوژیک در حوضه‌های آبخیز به دلیل 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 طراحی شده منطبق با تئوری‌های علمی که پس از تجزیه و تحلیل مولفه‌های تاثیرگذار حاصل شده‌اند، درصد کارایی مدل را نسبت به نمونه‌های ثبت شده تعیین کرد. مدل‌های مختلف از جمله، مدل‌های جعبه سیاه و مدل‌های مفهومی به دلایل مختلف به ویژه، تکیه بر آنالیز داده‌های بارش-رواناب، در حوضه‌هایی که فاقد داده‌های مورد نیاز باشند قابل استفاده نیستند. در این نوع حوضه‌ها معمولاً از روش‌های تجربی و یا از مشخصات فیزیکی و ثابت حوضه‌ها مانند ویژگی‌های ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی استفاده می‌شود. در نتیجه، هر چه این خصوصیات بهتر شناخته شوند، پیش‌بینی عملکرد حوضه دقیق‌تر خواهد بود. تئوری آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک به عنوان مدل‌های پیش‌بینی‌کننده‌ی عکس‌العمل‌های هیدرولوژیک حوضه آبخیز به ازای بارش ورودی به آن، در گستره این اهمیت واقع می‌شوند.

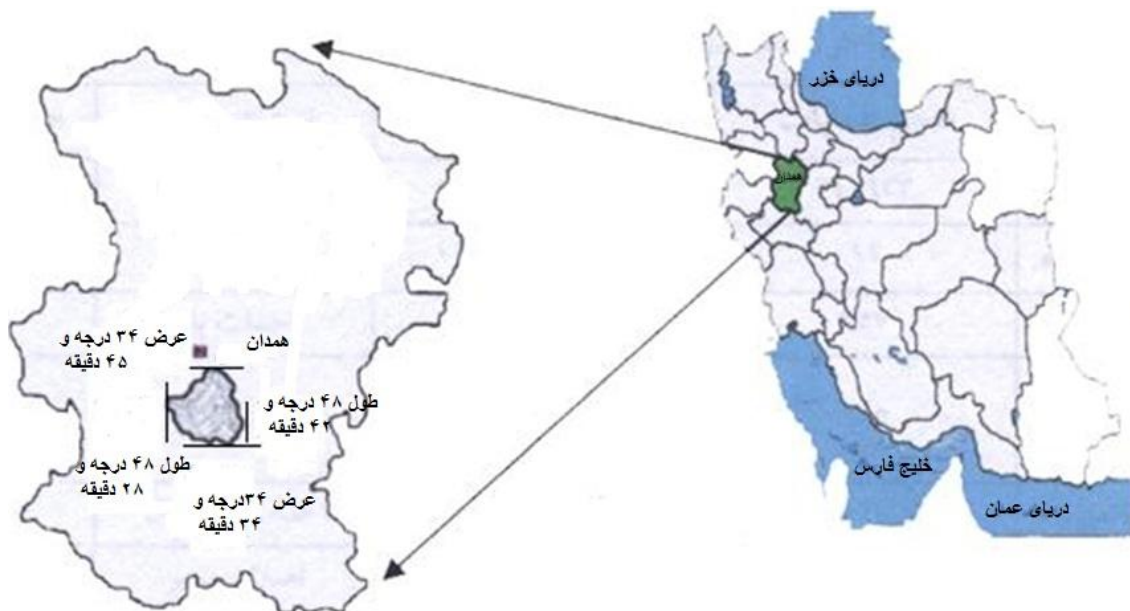
تئوری آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک توسط رودریگوئز-ایتورب و همکاران (Rodriguez-Iturb et al., 1979:1435) نشان داد که عکس العمل هیدرولوژیک حوضه آبخیز تابعی از پارامترهای ثابت ژئومورفولوژیک و پارامتر دینامیکی سرعت جریان است. والدرز و همکاران (Valders et al., 1979:1421) و نیز گوپتا و همکاران (Gupta et al., 1980:855) آبنمود واحد لحظه ای تعدادی از حوضه های آبخیز را استخراج و با آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک آن ها مورد مقایسه قرار دادند که نتایج کار آن ها اغلب رضایت بخش بود. رودریگوئز-ایتورب و همکاران تئوری آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک را برای دبی های حداکثر سیلاب با دوره بازگشت مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتایج خوبی به دست آوردند (Rodriguez-Iturb et al., 1982:884). دیاز-گراندوز و همکاران (۱۹۸۴:۹۹۵) تئوری آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک را مبتنی بر هیدرولیک جریان، توسعه و بسط دادند (Diaz-Grandos et al., 1984:995) و آلام (Allam, 1990:71) آن رادر برخی حوضه ها، مناسب تشخیص داد. سورمن (Sorman, 1995:243) از مدل آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفوکلیماتیک برای برآورد حجم، دبی و زمان اوج آبنمود خروجی حوضه ها استفاده کرد. غیاثی (۱۳۷۵:۱۶۲) نشان داد که روش های آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و روسو در مقایسه با روش های آبنمود واحد مصنوعی اشنایدر و مثلثی کارایی بیشتری دارند. عرفانیان (۱۳۷۷:۲۰۱) در حوضه آبخیز درجزین نشان داد که درصد کارایی روش ژئومورفولوژیک نسبت به سایر روش ها بالاتر بوده است. حشمت پور (۱۳۸۱:۲۵۲) نیز در حوضه آبخیز کسلیان در استان مازندران نشان دادند که روش آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک نسبت به سایر روش ها از کارایی بیشتری برخوردار است.

نظر به این که حوضه های آبخیز غرب کشور با اقلیمی نیمه خشک، پوشش گیاهی و توپوگرافی ویژه، معمولا دروازه ورود سامانه های سینوپتیکی عبوری از ایران هستند، همواره در معرض وقوع سیلابهای فراوان می باشند. با توجه به کمبود آمار و اطلاعات مورد نیاز بارش-رواناب در تحلیل وقایع سیلابی در این منطقه، بدیهی است، انتظار ساخت ایستگاه ها و جمع آوری آمار و داده های مناسب در زمانی کوتاه، برای تحلیل سیلابها منطقی به نظر نمی رسد. همچنین شواهد و گزارشات مربوط به تغییرات اقلیمی در یک قرن اخیر، لزوم آمادگیهای مدیریتی لازم و افزایش سرعت و دقت در محاسبات و تحلیل ها را در مقابله با احتمال افزایش فراوانی وقوع سیلابها تاکید می نماید. مطالعات گذشته در ایران و جهان درستی کارایی آبنمودهای واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک را در حوضه های آبریز مناطق مختلف بررسی کرده است. در تحقیق حاضر، سعی شده است تا دقت، صحت و درجه

اطمینان تئوری های آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در مقایسه با روش های دیگر، در تعیین شکل و ابعاد آبنمود رواناب خروجی از یک رگبار با شدت و مدت معین در حوضه آبریز سد اکباتان همدان تعیین گردد.

### معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سد اکباتان در جنوب شرقی شهرستان همدان بین " ۳۴ درجه و ۳۴ دقیقه " و " ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه " عرض شمالی و " ۴۸ درجه و ۴۲ دقیقه " و " ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه " طول شرقی قرار دارد. این حوضه یکی از زیر حوضه های رودخانه قره چای می باشد که کوه الوند در جنوب غربی آن واقع شده است. متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۳۱۲/۹ میلیمتر و از نظر آب و هوایی منطقه نیمه خشک و سرد است. از نظر زمین شناسی و لیتولوژی به علت قرارگرفتن در مجاورت آتشفشان الوند متاثر از برخی فرایندهای دگرگونی محلی شده است. از دوران اول زمین شناسی سازندی در این حوضه دیده نمی شود. دوران دوم هم با یک سری سنگ های رسوبی که در نزدیکی سد وجود دارد مشخص می شود. دوران سوم با نفوذ توده های گرانیتی و میکروپگماتیستی شروع می شود. پوشش آبرفت های دوران چهارم در این منطقه قابل ملاحظه بوده و گاهی ارتفاع آن به چندین متر می رسد.



شکل شماره ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سد اکباتان همدان

## مواد و روش ها

با توجه به اینکه سد اکباتان در محل برخورد دو رودخانه آبشینه و ابرو قرار دارد لذا مجموع دبی های هر دو رودخانه برای سد در نظر گرفته می شود. در این مطالعه از آمار ایستگاه هیدرومتری یلفان واقع در " ۴۴ دقیقه، ۳۴ درجه " عرض شمالی و " ۳۶/۵ دقیقه، ۴۸ درجه " طول شرقی در ارتفاع ۱۹۶۰ متری و ایستگاه هیدرومتری شاخه دوم سد اکباتان به نام ابرو در " ۴۴ دقیقه، ۳۴ درجه " عرض شمالی و " ۳۶ دقیقه، ۴۸ درجه " طول شرقی در ارتفاع ۱۹۵۰ متری و ایستگاه سینوپتیک سد اکباتان استفاده شده است.

در ابتدا با تهیه نقشه های توپوگرافی منطقه بامقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و تهیه نرم افزارهای مورد نیاز مانند IDRISI , ILWIS, ARC/INFO، نقشه ها و جداول مورد نیاز در فیزیوگرافی حوضه مانند نقشه های DEM، شیب، جهت، هیپسومتری و آبراهه ها، ترسیم و رتبه بندی آبراهه ها و نسبت های هورتونی تعیین گردید. در این مرحله، بازدید های صحرائی برای تایید نقشه ها و شناخت دقیق منطقه انجام گرفت. کمیت های مورفومتری محاسبه شده در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

سپس با جمع آوری داده ها و اطلاعات بارش و رواناب مورد نیاز، ۸ واقعه بارش - رواناب که دارای تطابق زمانی مناسب بودند (بین سال های ۱۳۵۱-۱۳۷۸) انتخاب شدند. در ادامه، هایتروگراف بارش مازاد به روش SCS و آبنمود مشاهده ای پس از کسر دبی پایه ترسیم گردید. در مرحله بعد، روابط دبی - سرعت، رابطه دبی - سطح مقطع تعیین و پارامتر موج جنبشی محاسبه شد.

سپس آبنمود واحد لحظه ای، آبنمود واحد ژئومورفولوژی، ژئومورفوکلیماتولوژی، ناش، روسو و SCS و آبنمود خروجی یک ساعته حوضه استخراج گردیدند، آبنمود شاخص حوضه با استفاده از آبنمود واحد طبیعی تعیین و آبنمود واحد یک ساعته SCS با توجه به زمان آبنمود واحد شاخص، برآورد شد و آبنمودهای خروجی برای وقایع انتخابی استخراج گردید. در انتها، آبنمودهای محاسبه ای و مشاهده ای مقایسه و درصد کارایی مدل های مورد استفاده در این تحقیق تعیین گردید.

جدول ۱- کمیت های مورفومتری حوضه کباتان همدان

طول آبراه رتبه ۵	طول آبراه اصلی	میانگین وزنی شیب حوضه (درصد)	تراکم زهکش	ضریب شکل شیب	ضریب گردی میار	ضریب گراوئوس	ضریب شکل هورتون	معیض (کیلومتر)	مساحت (کیلومتر مربع)	نوع کمیت
$L_5$	$L$	$S$	$Dd$	$Re$	$Rc$	$Cc$	$Ff$	$P$	$A$	علامت
۱۳۲۳۲	۲۵/۶	۳۰	۱/۶۷	۰/۹۴۴	۰/۷۱۹	۱/۱۷	۰/۷	۶۲/۲	۲۲۱/۵۵	مقدار

عرض مستطیل معادل (کیلومتر)	طول مستطیل معادل (کیلومتر)	میانگین وزنی ارتفاع	طول حوضه (کیلومتر)	نسبت مساحت هورتون	نسبت طول هورتون	نسبت انشعاب هورتون	میانگین وزنی شیب آبراه اصلی (درصد)	حد اکثر ارتفاع (متر)	حد اقل ارتفاع (متر)	فاصله خروجی از مرکز ثقل (کیلومتر)	نوع کمیت
$Er$	$Le$	$H$	$LW$	$RA$	$RL$	$RB$	$Sw$	$HM$	$Hm$	$Lca$	علامت
۱۱/۰۵	۲۰/۰۵	۲۷۰/۲	۱۷/۷۸	۵/۴۳	۲/۱۱	۴/۱۵	۴/۵۶	۳۵۸۴	۱۹۲۰	۱۱/۱	مقدار

جدول ۲- ضریب دوشاخه شدن هورتون در حوضه سد اکباتان همدان

درجات آبراهه ها	۲ به ۲	۳ به ۳	۴ به ۴
-----------------	--------	--------	--------

## محاسبه آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژی

هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک به عنوان تابع چگالی احتمال زمان انتقالی که یک قطره آب طی می کند تا از هر نقطه از حوضه آبخیز به خروجی برسد را بیان می کند. پارامترهای ژئومورفولوژیکی مورد نیاز برای مدل های آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک شامل مساحت حوضه آبخیز ( $A$ )، رتبه بندی حوضه ( $\Omega$ )، تعداد آبراهه های هر رتبه  $i$  که به رتبه  $j$  می ریزد ( $N_{ij}$ )، متوسط طول آبراهه های رتبه  $i$  ( $\bar{L}_i$ )، متوسط مساحت حوضه های مربوط به هر رتبه ( $\bar{A}_i$ ) و شیب متوسط آبراهه های موجود در هر رتبه ( $\bar{S}_i$ ) می باشد.

با توجه به بررسی های انجام شده می توان تابع واکنش هیدرولوژیک حوضه آبخیز سد اکباتان را که با توجه به رتبه بندی استراهلر (Strahlers, 1957)، رتبه ۵ دارد، به شکل زیر می توان نشان داد:

$$GIUH_{(t)} = \theta_1(o) \frac{d\phi_{16}(t)}{dt} + \theta_2(o) \frac{d\phi_{26}(t)}{dt} + \theta_3(o) \frac{d\phi_{36}(t)}{dt} + \theta_4(o) \frac{d\phi_{46}(t)}{dt} \quad (1)$$

برای محاسبه مقدار تابع آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک ( بر ساعت) در فواصل زمانی t ساعته لازم است تا با استفاده از روابط کاربردی موجود مقادیر ماتریس احتمال فاصله زمانی  $[\phi_{(t)}]$ ، احتمال اولیه  $[\theta_i(o)]$ ، احتمال انتقال  $[pij]$ ، میانگین اتصالات درونی  $[E]$  و میانگین زمان انتظار آبراهه های رتبه های ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱  $[\lambda i^{-1}]$  در حوضه آبخیز مورد مطالعه مشخص شوند، که در آن:

$\theta_i$  عبارت است از مساحتی از حوضه آبریز که مستقیماً به آبراهه های رتبه (i) زهکشی می شوند به مساحت کل حوضه آبریز که  $i=1,2,3,4,5$

$P_{ij}$  عبارت است از تعداد آبراهه های رتبه (i) که به آبراهه رتبه (j) می ریزند به تعداد کل آبراهه های رتبه (i) که  $j=2,3,4,5$

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

$$\lambda_1 = \frac{V}{t_1}, \lambda_2 = \lambda_1 R_L^{-1}, \lambda_3 = \lambda_1 R_L^{-2}, \lambda_4 = \lambda_1 R_L^{-3} \quad (3)$$

که در این روابط V سرعت اوج جریان ( متر بر ثانیه )،  $\lambda_i$  میانگین طول آبراهه های رتبه یک ( متر )، RL نسبت طول هورتون و  $\lambda_i$ ، عکس میانگین زمان انتظار آبراهه رتبه (i) ( بر ساعت) است. در روش آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک دبی و زمان اوج برای حوضه سد اکباتان از روابط زیر محاسبه شده است:

$$qp = \frac{1}{3} \frac{1}{RL} \frac{1}{L\Omega} \frac{1}{V} (L\Omega)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

$$tp = \frac{1}{3} \frac{1}{L\Omega} (RB)^{\frac{1}{3}} (RA)^{-\frac{1}{3}} (RL)^{-\frac{1}{3}} (V)^{-1} \quad (5)$$

$$qp.tb = r \quad (6)$$

که در روابط فوق،  $qp$  دبی اوج جریان (بر ساعت)،  $tp$  زمان اوج (ساعت)،  $L\Omega$  طول آبراهه بالاترین رتبه حوضه (کیلومتر)،  $RB$  نسبت انشعاب،  $RA$  نسبت مساحت،  $RL$  نسبت طول،  $V$  سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه) و  $tb$  زمان پایه آبنمود واحد لحظه ای (ساعت) است. مقادیر محاسباتی مربوط به میانگین تعداد اتصالات درونی، احتمال اولیه و احتمال انتقال در حوضه آبخیز سد اکباتان در جدول ۳ آمده است.

### آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفوکلیماتولوژی

رودریگوز ایتورب و همکاران با قبول پایه های اصلی آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و نتایج مطالعات آنها در مورد سرعت جریان مبنی بر این که سرعت اوج جریان تابعی از شدت بارش مازاد و پارامتر موج جنبشی است، تئوری آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفوکلیماتیک را ارائه نمودند (Rodriguez-Iturb). و برای محاسبه دبی و زمان اوج آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفوکلیماتیک در حوضه آبریز سد اکباتان از روابط زیر استفاده شده است.

$$t_p = 0.2587(\Pi)^{0.4} \quad (7)$$

$$q_p = 1.971(\Pi)^{0.4} \quad (8)$$

$$\Pi_i = \frac{(L\Omega)^{2/5}}{i_r A_{\Omega} R_L (a\Omega)^{1/5}} \quad (9)$$

$$qp.tp = 2 \quad (10)$$

محاسبه دبی و زمان اوج آبنمود رواناب خروجی ناشی از یک رگبار از طریق روابط زیر محاسبه شده اند.

$$Q_p = 5/475 \left( \frac{A\Omega i_r t_r}{(\Pi_i)^{0.4}} \right) \left( 1 - \frac{0.4927 t_r}{(\Pi_i)^{0.4}} \right) \quad (11)$$

$$T_p = 0.2587(\Pi_i)^{0.4} + 0.75 t_r \quad (12)$$



## آبنمود واحد لحظه ای ناش

Nash (1957, 118) حوضه آبخیز را به عنوان یک سیستم با  $n$  منبع خطی سری با مشخصات ذخیره  $S$  و ثابت ذخیره  $k$  معرفی کرد. او آبنمود واحد لحظه ای را بر اساس روند یابی لحظه ای جریان ورودی در مخازن خطی فرضی به صورت زیر ارائه کرد:

$$h(t) = \frac{1}{KT_{(n)}} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} (e)^{-t/k} \quad (13)$$

پارامترهای  $K$ ,  $n$  در تابع مذکور بر اساس گشتاور اول و دوم بارش اضافی و رواناب خروجی محاسبه می شوند:

$$MDRH_1 - MERH_1 = nK \quad (14)$$

$$MDERH_2 - MERH_2 = n(n+1)K^2 + Nk(\text{mer}h_1) \quad (15)$$

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

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

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

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

در روابط فوق، با تعیین ثابت ذخیره  $K$  (ساعت) و پارامتر  $n$  می توانیم مقدار تابع آبنمود واحد لحظه ای ناش را در زمان  $t$  (ساعت) بر حسب عکس زمان (بر ساعت) برآورد کنیم.

آبنمود واحد لحظه ای روسو (گاما)

Rosso (1984, 914) پارامترهای مدل ناش را از طریق برازش مقادیر دبی و زمان اوج آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک با توزیع گاما به صورت تابعی از نسبت های هورتون معرفی و تابع آبنمود واحد لحظه ای گاما را به صورت زیر ارائه کرد:

$$h_{(t)} = \left(\frac{t}{k}\right)^{a-1} \left(\frac{e}{KT_{(a)}}\right)^{-1} \quad (16)$$

$$a = 3.29 \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.78} R_L^{0.07} \quad (17)$$

$$K = 0.7 \left(\frac{R_A}{R_B R_L}\right)^{0.48} L_{\Omega}(V)^{-1} \quad (18)$$

که در این رابطه  $h(t)$  مولفه آبنمود واحد لحظه ای گاما (بر ساعت)،  $a$  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 حوضه است.

$$\Gamma(a+1) = a\Gamma(a) \quad (19)$$

جدول ۴ مقدار تابع گاما برای نسبت های هورتونی در حوضه آبریز سد اکباتان را نشان می دهد.

نظر به این که دبی و زمان اوج آبنمود واحد لحظه ای تابعی از سرعت جریان است و پارامتر دینامیکی سرعت جریان در تئوری های آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک و روسو (گاما) نقش اساسی دارد، از این رو برآورد دقیق سرعت جریان ضروری است. برای برآورد سرعت اوج جریان در رگبارهای انتخابی، از روش استدلالی ارائه شده توسط Rodriguez-Iturb و همکاران (1982, 884) و فرمول توانی به صورت زیر استفاده شده است:

$$V\Omega = (a\Omega^{1/ms}) (Q)^{(m-1)/ms} \quad ms=5/3 \quad (20)$$

$$V_{\Omega} = (a_{\Omega})^{0.6} (A_{\Omega} i_r)^{0.4} \quad (21)$$

در روابط بالا،  $V_{\Omega}$  سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه)،  $Q$  دبی اوج جریان سیلاب (متر مکعب بر ثانیه)،  $A_{\Omega}$  مساحت حوضه (کیلومتر مربع)،  $i_r$  شدت بارش مازاد (متر بر ثانیه)،  $a_{\Omega}$  پارامتر موج جنبشی  $S, (1/S^3\sqrt{m})$  شیب آبراهه اصلی (متر بر کیلومتر)،  $n$  متوسط ضریب زبری مانینگ و  $P$  محیط خیس شده (متر) است.  $n$  و  $m$  از طریق رابطه همبستگی بین دبی و سرعت جریان سیلاب و پارامتر موج جنبشی نیز با ایجاد رابطه بین دبی جریان و سطح مقطع خیس شده به دست می آید.

این روابط و ضرایب تبیین آنها در حوضه مورد مطالعه به صورت زیر تعیین شده است:

$$\begin{aligned} V &= 0.17Q^{0.27} & R^2 &= 0.9177 \\ Q &= 0.14V^{1.8} & R^2 &= 0.9701 \end{aligned} \quad (23)$$

نتایج مقادیر سرعت اوج محاسبه شده برای سیل های انتخابی با استفاده از رابطه استدلالی و توانی (بر حسب متر بر ثانیه) در حوضه سد اکباتان همدان در جدول ۵ ارائه شده است .

### ب- استخراج آبنمود واحد از آبنمود واحد لحظه ای

در این بررسی آبنمود واحد لحظه ای با استفاده از روش های مختلف (ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، ناش و روسو) بر حسب عکس زمان (بر ساعت) به ازای یک واحد بارش مازاد برای رگبارهای انتخابی محاسبه شد. حال چنانچه هدف، استخراج آبنمود واحد یک ساعته به ازای  $P_e$  واحد بارش اضافی باشد، باید آبنمود واحد لحظه ای استخراجی از مدل های مورد تحقیق را که بر حسب عکس زمان (بر ساعت) برآورد گردیده اند بر حسب متر مکعب بر ثانیه به دست آوریم :

$$u_{(t)} = (IUH_{(t)})(p_e)(A\Omega) \quad (24)$$

دراین رابطه،  $IUH_{(t)}$  ابعاد آبنمود واحد لحظه ای در زمان  $t$  بر حسب عکس زمان (بر ساعت) در روش های مختلف،  $A\Omega$  مساحت حوضه آبخیز بر حسب مترمربع و  $P_e$  بارش مازاد بر حسب متر است.

### ج - آبنمود واحد SCS

یکی از روش های تعیین آبنمود واحد حوضه های فاقد آمار، استفاده از آبنمود واحد بدون بعد SCS است، که با استفاده از آبنمودهای واحد تعداد بسیار زیادی از حوضه های آبخیز دارای آمار به دست می آید. با توجه به زمان اوج هیدروگراف شاخص حوضه (حشمت پور، ۱۳۸۱:۲۵۲) و همچنین زمان تمرکز به دست آمده از روش سرعت متوسط SCS برای حوضه (مقدم نیا، ۱۳۷۱:۱۹۶) مقدار  $\Delta D$  ۰/۹ ساعته به دست آمد. همچنین با استفاده از جدول بدون بعد SCS، آبنمود واحد ۰/۹ ساعته حوضه محاسبه شد. آبنمود واحد ۰/۹ ساعته به ۴ ساعته و سپس آبنمود واحد یک ساعته ۰/۹ واحد ساعته به ۴ ساعت تبدیل و سرانجام آبنمود واحد یک ساعته به روش SCS استخراج شد.

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

در این تحقیق، برای محاسبه ابعاد آبنمود رواناب خروجی وقایع انتخابی در روش های مختلف، به دلیل این که توزیع زمانی بارش در هایتروگراف هر رگبار یکنواخت نیست و در فواصل زمانی مختلف، بارش مازاد مقادیر متفاوتی را به

خود اختصاص می دهد، لذا از روش ماتریسی و حل همزمان معادلات استفاده شد. شکل کلی معادله به صورت زیر است :

$$[P]_{m,n} [U]_m = [Q]_m \quad (25)$$

#### ه - مقایسه آبنمودهای محاسبه ای و مشاهده ای

به منظور بررسی میزان کارایی آبنمودهایی استخراجی به روش های ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، ناش، روسو و SCS لازم است تا مشخصات برجسته آبنمودهای محاسبه ای و مشاهده ای 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 مدل ها نسبت به یکدیگر استفاده گردد. برای این منظور، از دو شاخص سنجش میانگین خطای نسبی (MRE) و میانگین توان دوم خطا (MSE) برای ارزیابی میزان کارایی مدل های به کارگرفته شده، استفاده گردید (عرفانیان، ۲۰۱:۱۳۷۷).

شاخص آماری MRE درصد خطای مقدار یک بعد برآوردی را حول مقدار متناظر همان بعد به صورت مشاهده ای و ثبت شده نشان می دهد و در شاخص MSE مقایسه بر مبنای میزان اریبی و نحوه پراکندگی ابعاد برآوردی هیدورگراف حول ابعاد مشاهده ای انجام می گیرد. با توجه به این که باید ابعاد هیدورگراف مشاهده ای و محاسبه ای در ساعت متناظر مقایسه شوند، از نظر تئوری بر حسب میزان کارایی مدل، ابعاد متناظر باید بر هم منطبق شوند، ولی در عمل کمی اریبی مشاهده شده که لازم است درصد آن تعیین گردد. به همین دلیل از شاخص های MSE و MRE که کارایی سنجش این صف را دارند، استفاده شده است. بدیهی است هر چه داده های به دست آمده از مدل های برآورد کننده به داده های مشاهده ای نزدیک تر باشد، نشان دهنده دقت، اعتبار و کارایی مدل است :

#### ۱- شاخص میانگین خطای نسبی (MIRE)

این شاخص آماری به صورت زیر محاسبه می شود (Nash, 1975):

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

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

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

که در فرمول های بالا،  $RE_i$  خطای نسبی در هر برآورد،  $n$  تعداد برآورد،  $REQP$  درصد خطای نسبی در برآورد دبی اوج،  $RETP$  درصد خطای نسبی در برآورد زمان اوج،  $QPC$  دبی اوج آبنمود محاسبه ای،  $TPO$  زمان اوج آبنمود مشاهده ای و  $TPC$  زمان اوج آبنمود محاسبه ای است (جدول ۶).

شاخص میانگین خطای نسبی، شاخصی بدون بعد است که درصد خطای دبی و زمان اوج برآورد را حول دبی و زمان اوج مشاهده ای نشان می دهد.

۲- میانگین توان دوم خطا (MSE)

میانگین توان دوم خطا به صورت زیر تعریف می شود:

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

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

که در این رابطه ها،  $SE_i$  مجموع مربع خطای بین ابعاد آبنمود مشاهده ای و محاسبه ای در هر فاصله زمان،  $n$  تعداد برآورد،  $Q_{oi}$  ابعاد آبنمود مشاهده ای و  $Q_{ci}$  ابعاد آبنمود محاسبه ای است. در شاخص آماری میانگین توان دوم خطا، مقایسه بر مبنای میزان اریبی و واریانس ابعاد برآوردی حول ابعاد مشاهده ای انجام می گیرد، به طوری که در مقایسه دو مدل با واریانس مساوی، مدلی که اریبی کمتر دارد و در دو مدل ناریب آنکه واریانس کمتری دارد، ارجح تر است (جدول ۷).

و- تعیین درصد کارایی نسبی مدل های مورد تحقیق

به منظور تعیین درصد برتری مدل های مورد تحقیق نسبت به هم در برآورد ابعاد آبنمود جریان خروجی در حوضه مورد مطالعه طبق تعریف از میزان میانگین توان دوم خطای هر مدل نسبت به مدل دیگر بر اساس رابطه زیر استفاده شده است (جدول ۸):

$$100 * (MSE2 / MSE1) = \text{درصد کارایی برآورد کننده (۱)}$$

نسبت به برآورد کننده (۲)

## بحث و نتایج

محاسبات موجود در جداول ۳، ۴، ۵ و نتایج حاصل از مقادیر میانگین خطای نسبی دبی اوج و زمان اوج و نیز درصد اختلاف آنها با مقادیر مشاهده‌ای (جدول ۶)، مقادیر میانگین توان دوم خطا در روش‌های مختلف برای سیل‌های مختلف (جدول ۷) و کارایی نسبی مدل‌های مورد تحقیق در برآورد آبنمود سیلاب‌های حوضه سد اکباتان همدان (جدول ۸) نشان می‌دهند که روش ژئومورفوکلیماتولوژی نسبت به روش‌های ژئومورفولوژی، ناش، روسو و SCS به ترتیب ۸۹/۹۱، ۳۱۷/۱۱، ۹۶/۹۹، ۳۶۱/۱۵ درصد و روش ژئومورفولوژی نسبت به روش‌های ناش، روسو و SCS ۲۸۱/۵۱، ۱۵۲/۷۱ و ۳۲۰/۵۰ درصد و روش روسو نسبت به روش‌های ناش و SCS به ترتیب ۶۸/۱۴ و ۲۰۹/۱۸۴ درصد مناسب‌تر و کارآمدتر می‌باشند. لذا می‌توان در این حوضه، روش ژئومورفوکلیماتولوژی را که مبتنی بر داده‌های ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی است برتر از سایر روش‌ها معرفی نمود. به عبارت دیگر پارامترهای اقلیمی و ژئومورفولوژی مورد استفاده در مدل‌های برآورد آبنمود جریان خروجی حوضه، مقادیر کمی تاثیرگذاری تلقی می‌شوند. دقت‌های به دست آمده در محاسبه ابعاد آبنمود برآوردی، برتری این نوع مدل‌ها را نسبت به روش‌های تجربی مطرح می‌کند. نتایج حاصل با نتایج پژوهش Valdars و همکاران (۱۳۳۴-۱۴۲۱:۱۹۷۹)، Gupta و همکاران (۸۶۲-۸۵۵:۱۹۸۰)، غیاتی (۱۳۷۵:۱۶۲)، عرفانیان (۱۳۷۷:۲۰۱) وحشمت پور (۱۳۸۱:۲۵۲) مطابقت دارد و نشانگر کارایی مدل آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتولوژی و ژئومورفولوژی است و با نتایج تحقیق Rodriguez-Iturb و همکاران (۱۹۷۹:۱۴۳۵-۱۴۴۴)، sorman (۱۹۹۵:۲۴۳-۲۸۷) و قهرمان (۱۳۷۴:۲۸-۵۶) دقیقاً همخوانی دارد و بیانگر کارایی مدل آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتولوژی و برتری آن بر همه مدل‌های دیگر حتی مدل ژئومورفولوژی است. به نظر می‌رسد پیدا کردن پارامترها و شاخص‌های کمی جدید ژئومورفولوژی و اقلیمی مسیر تازه‌ای را در برآورد دقیق‌تر آبنمود سیلاب‌ها باز خواهد کرد و با نمایش عکس‌العمل‌های هیدرولوژیکی واقعی حوضه‌های آبخیز، گام موثرتری را در ایجاد آمادگی‌های لازم برای مقابله با وقایع فرین‌ناشی از تغییرات اقلیمی در آینده و در نتیجه مدیریت مناطق آسیب‌پذیر و در معرض خطر به ویژه در مناطق فاقد آمار خواهد برداشت.

جدول ۳- مقادیر میانگین تعداد اتصالات درونی، احتمال اولیه و احتمال انتقال در حوضه آبریز سد اکباتان همدان

رتبه آبراهه	تعداد آبراهه	مساحت زهکشی	احتمال اولیه	میانگین اتصالات درونی	احتمال انتقال
۱	۲۷۸	۱۰۹/۵۲	۰/۴۹۴۳	-	$p_{12} = 0/751$ $p_{13} = 0/135p$ $p_{14} = 0/101p$ $p_{15} = 0/013p$
۲	۵۸	۵۵/۱۱	۰/۲۴۸۷	۵۳/۲۳۶	$p_{23} = 0/611p$ $p_{24} = 0/220p$ $p_{25} = 0/168p$
۳	۱۳	۲۸/۲۹	۰/۱۲۷۷	۷/۴۳۱	$p_{34} = 0/718p$ $p_{35} = 0/281p$
۴	۳	۱۴/۱۲	۰/۰۶۳۷	۳/۲۳۹	$p_{45} = 1p$
۵	۱	۱۴/۵۲	۰/۰۶۵۵	۳/۱۱۶	-
-	-	۲۲۱/۵۵	-	-	-

جدول ۴) مقدار تابع گاما برای نسبت های هورتونی در حوضه آبریز سد اکباتان

RA	RB	RL	a	Ta
۵/۴۳	۴/۱۵	۲/۱۱	۲/۸۵۶۲	۱/۸۷۳۱

جدول ۵- مقادیر سرعت اوج محاسبه شده برای سیل های انتخابی با استفاده از رابطه استدلالی و توانی بر

حسب متر بر ثانیه در حوضه سد اکباتان همدان

سال وقوع سیل	QP(m3/s)	$V = (0/47)^{0/5} Q^{0/3}$	$V = (0/47)^{0/5} (ALr)^{0/3}$	$V = 0/67 Q^{0/37}$
سیل ۱ (۱۳۵۱)	۱۴۵/۳	۳/۰۵۳	۳/۵۲۳	۴/۲۲۷
سیل ۲ (۱۳۵۲)	۳۲۵/۸	۳/۸۸۹	۳/۷۴۱	۵/۶۹۹
سیل ۳ (۱۳۵۸)	۱۶۸/۵	۳/۱۹۱	۳/۶۱۴	۴/۴۶۵

سیل ۴ (۱۳۶۰)	۲۶۵/۹	۳/۶۲۲	۳/۸۸۵	۵/۲۲۰
سیل ۵ (۱۳۶۴)	۲۹۴/۴	۳/۷۷۳	۳/۶۱۹	۵/۴۹۰
سیل ۶ (۱۳۶۶)	۲۷۹/۳	۳/۷۱۴	۳/۶۶۵	۵/۳۸۴
سیل ۷ (۱۳۷۲)	۲۹۱/۶	۳/۷۶۲	۳/۸۹۷	۵/۴۷۱
سیل ۸ (۱۳۷۸)	۳۰۱/۲	۳/۷۹۹	۱/۱۸۵	۵/۵۳۶

جدول ۶- مقادیر میانگین خطای نسبی (MRE)، دبی اوج (QP) برحسب متر مکعب بر ثانیه و زمان اوج (TP) برحسب ساعت و نیز اختلاف درصد آنها با مقادیر مشاهده ای

میانگین خطای نسبی	تاریخ سیل								معدل	
	سیل ۸ (۱۳۷۸)	سیل ۷ (۱۳۷۲)	سیل ۶ (۱۳۶۶)	سیل ۵ (۱۳۶۴)	سیل ۴ (۱۳۶۰)	سیل ۳ (۱۳۵۸)	سیل ۲ (۱۳۵۲)	سیل ۱ (۱۳۵۱)		
-	۲۶۹/۸۴	۳۳۱/۲۳	۲۶۱/۱۴	۳۰۱/۷	۲۷۰/۸	۱۹۷/۲۲	۳۳۷/۳۳	۱۶۵/۵	Qp	ژئومورفولوژی
۸/۵۱	۱۰/۴۱	۱۰/۱۶	۶/۵۰	۲/۵۰	۵/۴۱	۱۷/۰۵	۳/۵۱	۱۲/۵۶	REOp%	
-	۱۹	۱۲	۱۰	۱۶	۱۶	۱۱	۲۳	۱۹	TP	
۲/۵۱	۵/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۵/۸۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۱۷	۵/۰۰	RETp%	
-	۲۷۸/۸۲	۲۶۰/۹۲	۲۹۹/۶۳	۲۸۱/۵	۲۳۲/۱	۱۴۵/۱۶	۳۴۷/۵۳	۱۷۱/۰	Qp	ژئومورفولوژی
۹/۶۹	۷/۴۳	۱۰/۵۲	۷/۲۸	۴/۳۷	۹/۶۵	۱۳/۸۵	۶/۶۷	۱۷/۷۳	REOp%	
-	۱۸	۱۲	۱۰	۱۵	۱۶	۱۱	۲۵	۱۸	TP	
۴/۴۹	۱۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۷۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۱۷	۱۰/۰۰	RETp%	
-	۲۶۰/۹۲	۲۵۶/۵۸	۳۲۸/۵۷	۲۴۹/۷	۳۰۷/۵	۱۴۴/۵	۲۹۷/۶۲	۱۷۵/۱	Qp	ناش
۱۴/۱۵	۱۳/۳۷	۱۲/۰۱	۱۷/۶۴	۱۵/۱۸	۱۹/۷۳	۱۴/۲	۸/۶۵	۲۰/۴۵	REOp%	
-	۱۸	۱۱	۱۰	۱۴	۱۵	۱۱	۲۲	۱۸	TP	
۷/۵۶	۱۰/۰۰	۸/۳۳	۰/۰۰	۱۷/۶۴	۶/۲۵	۰/۰۰	۸/۳۴	۱۰/۰۰	RETp%	
-	۳۲۵/۸۱	۳۲۴/۵۲	۲۹۴/۲	۲۵۵/۳	۲۱۶/۲	۱۸۷/۱	۲۹۹/۳۴	۱۲۴/۵	Qp	روسر
۱۰/۹۲	۸/۱۷	۱۱/۲۹	۵/۳۴	۱۳/۲۷	۱۵/۸	۱۱/۰۸	۸/۱۷	۱۴/۲۸	REOp%	
-	۱۹	۱۲	۱۰	۱۶	۱۶	۱۱	۲۲	۱۹/۰۰	TP	
۳/۰۳	۵/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۵/۸۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۸/۳۳	۵/۰۰	RETp%	
-	۳۳۲/۰۱	۲۴۱/۰۹	۳۴۰/۲۷	۳۴۲/۲	۲۳۴/۵	۲۰۳/۹	۳۶۵/۶۸	۱۷۵/۴	Qp	SCS
۱۵/۹۷	۱۰/۲۳	۱۷/۳۲	۲۱/۸۳	۱۶/۳۷	۸/۰۷	۲۱/۰۵	۱۲/۲۴	۲۰/۷۸	REOp%	



جدول ۷- مقادیر میانگین توان دوم خطا (MSE) در مدل های مختلف برای سیل های منتخب درحوضه اکباتان همدان

میانگین توان دوم خطا	سیل ۸ (۱۳۷۸)	سیل ۷ (۱۳۷۲)	سیل ۶ (۱۳۶۶)	سیل ۵ (۱۳۶۴)	سیل ۴ (۱۳۶۰)	سیل ۳ (۱۳۵۸)	سیل ۲ (۱۳۵۲)	سیل ۱ (۱۳۵۱)	تاریخ سیل مدل
۴۷۵/۵۶	۹۸۳/۴۵	۸۷۷/۹۴	۳۲۹/۷۸	۵۴/۰۲	۱۹۴/۶	۸۲۴/۸۴	۱۳۰/۶۴	۴۰۹/۲۵	ژئومورفو کلیماتولوژی
۵۳۶/۹۷	۵۰۰/۸۶	۹۴۱/۲۶	۴۱۳/۳۱	۱۶۵/۶۴	۶۱۴/۵۴	۵۲۴/۴۱	۴۷۲/۱۹	۶۶۳/۵۸	ژئومورفوولوژی
۱۵۱۱/۵۵	۱۶۲۱/۵۷	۱۲۲۶/۴۸	۲۴۲۷/۵۳	۱۹۹۷/۲	۲۵۶/۴۸	۵۷۴/۰۸	۷۹۴/۱۱	۸۸۲/۶۸	ناش
۸۲۰/۹۳	۶۰۵/۶۵	۱۰۸۳/۷۷	۲۲۲/۴۵	۱۵۲۶/۶۴	۱۶۴۹/۹۸	۳۴۸/۵۷	۶۹۹/۸۶	۴۳۰/۵۶	روسو
۱۷۲۱/۳۴	۹۴۹/۲۶	۲۵۵۱/۲۶	۳۷۱۷/۳۴	۲۲۹۳/۳۵	۴۹۹/۵۲	۱۲۵۸/۱۲	۱۵۹۰/۴۱	۹۱۱/۴۴	SCS

جدول ۸- کارایی نسبی برآوردکننده اول نسبت به دوم (برحسب درصد) در بر آورد آبنمود سیلاب های حوضه سد اکباتان

SCS	روسو	ناش	ژئومورفوولوژی	ژئومورفو کلیماتولوژی	بر آوردکننده دوم بر آوردکننده اول
۱۹۵/۲۶	۱۳۷/۹۹	۱۶۸/۵۶	۱۰۹/۱۲	۱۰۰	ژئومورفو کلیماتولوژی
۱۷۸/۳۳	۱۲۱/۷۱	۱۵۶/۴۳	۱۰۰	۹۱/۳۳	ژئومورفوولوژی
۱۲۲/۲۴	۸۲/۲۵	۱۰۰	۷۵/۵۶	۶۱/۳۲	ناش

## منابع

- ۱- حشمت پور، ع (۱۳۸۱)، «بررسی کارایی آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در حوضه آبخیز کسپلیان»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مرتع و آبخیزداری، ص ۲۵۲.
- ۲- عباسی، ع (۱۳۷۱)، «تهیه و کالیبراسیون مدل کامپیوتری برآورد رواناب در حوضه های آبخیز کوچک»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی شریف، ص ۱۸۲.
- ۳- عرفانیان، م (۱۳۷۷)، «بررسی کارایی آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در حوضه آبخیز درحزین سمنان»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مرتع و آبخیزداری، ص ۲۰۱.
- ۴- غیائی، ن (۱۳۷۵)، «واسنجی آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در حوضه آبخیز امامه»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ص ۱۶۲.
- ۵- قهرمان، ب (۱۳۷۴)، «آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفوکلیماتیک»، *نشریه دانشکده مهندسی*، شماره ۱، صص ۵۶-۲۸.
- ۶- مقدم نیا، ع (۱۳۷۱)، «بررسی مقایسه ای زمان تمرکز، زمان تاخیر و زمان رسیدن تا اوج سیلاب بر اساس روش های تجربی و تجزیه هیدروگراف در دو منطقه آب و هوایی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، ص ۱۹۶.
- 7- Allam, M., (1990), "Case study of evaluation of geomorphologic rainfall-runoff model, in incorporating linear infiltration expression", *Hydrological Processes*, 8: 71-84.
- 8- Diaz-Grandos, M. A., Valdres, J. B., and Bras, R. L., (1984), "A physically based flood frequency distribution." *Water Resour. Res.*, 20(7):995-1002.
- 9- Gupta, V. K., Waymir, E. D., and Wang, C. T., (1980), "A representation of the instantaneous unit hydrograph from geomorphology." *Water Resour. Res.*, 16(5): 855 – 862.
- 10- Nash, J. E., (1957), "From the instantaneous unit hydrograph", *Intern General Assembly of Toronto. Compt. Rend*, ASH Publ., 3(42):114-118.

- 11- Rodriguez-Iturb, I., Deveto, G., valders, S., (1979), "Discharge response analysis and hydrologic similarity , the interrelation between the geomorphologic IUH and storm characteristics." *Water Resour. Res.* , 15(6):1435-1444.
- 12- Rodriguez-Iturb, I., Gonzales-Sanabria, M Cammano, G., (1982), "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". *Water Resour. Res.*, 121(4):243-287.
- 15- Strahler, A. N., (1957), "Quantitative analysis of watershed geomorphology", *Transactions of the Amerrican geophysical Union*, 8(6): 913-920.
- 16- Valders, J. B., Fiallo, Y., I., Rodriguez-Iturb, I.,(1979), "A rainfall-runoff analysis of geomorphologic IUH," *Water Resour. Res.*, 15(6):1421-1334.