پژوهش های آبخیزداری شماره ۹۲، پاییز ۱۳۹۰
(پژوهش و سازندگی)

تخمین مؤلفه های آب نگار واحد با استفاده از رابطه بین مولفه های باران نگار و آب نگارهای موجود در حوزه آبخیز معرف کسیلیان

• سیّدحمیدرضا صادقی
گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور (نویسنده مسئول)
• محبوبه معتمدنیا
دانش آموخته گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور
• حمیدرضا مرادی
استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور
تاریخ دریافت: شهریور ماه ۱۳۸۸ تاریخ پذیرش: بهمن ماه ۱۳۸۹
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۹۰۵۰۴۲
Email: sadeghi@modares.ac.ir

چکیده

برای تخمین سیلاب در مناطق فاقد اطلاعات می توان از روش های مختلف استفاده نمود. اما از بین آن ها تنها روش های منتهی به تهیه آب نگار قادرند جزئیات دقیقی از خصوصیات سیل را ارائه نمایند. برای تهیه آب نگار واحد نیاز به آمار و اطلاعات بارندگی و روان آب در حوزه آبخیز می باشد. تهیه آب نگار واحد برای کلیه رگبارهای یک حوزه آبخیز کار ساده ای نیست و نیاز به صرف وقت، هزینه و امکانات زیاد دارد. هم چنین محدودیت های مختلف نظیر کافی نبودن ایستگاه های آب سنجی و مشکل بودن جمع آوری داده های هیدرومتری، استفاده از مدل های هیدرولوژیکی ساده و مبتنی بر متغیرهای زودیافت برای برآورد آب نگار سیلاب بسیار کارآ و منطقی به نظر می رسد. در همین راستا تحقیق موجود درصدد تهیه آب نگار واحد مصنوعی با استفاده از داده های بارندگی و از طریق بررسی ارتباط آب نگار واحد ۲ ساعته و خصوصیات باران در حوزه آبخیز معرف کسیلیان بوده است. برای این منظور به ترتیب ۱۵، ۹ و ۱۲ ویژگی باران، آب نگار واحد و شاخص های زمانی رابط بین باران نگار و آب نگار واحد برای ۲۳ رگبار به شکل های مختلف رگرسیون دو و چند متغیره مد نظر قرار گرفت. نتایج ضمن تأیید امکان تهیه آب نگار واحد ۲ ساعته با استفاده از مؤلفه های باران نگار نشان دهندهٔ بیش ترین مشارکت زمان وقوع بیشینه شدّت ۳۰ دقیقه و دوام بارش در شبیه سازی آب نگار واحد بوده است.

کلمات کلیدی: بآب نگار واحد، ایستگاه های فاقد آمار، حوزه آبخیز معرف کسیلیان، مدل بارش-روان آب، مدل سازی هیدرولوژی

www.SID.ir

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 92 pp: 44-52

Estimation of unit hydrograph components using relationship between characteristics of available hyetographs and hydrographs in kasilian representative watershed

By: S.H.R. Sadeghi, (Corresponding Author; Tel: +989123905042) , Associate Professor, M. Moatamednia and H.R. Moradi Former M.Sc. Student and Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor.

Different methods can be used for estimation of floods in regions facing lack of data out of which the methods leading hydrographs are able to present accurate details on floods. Information and data on rainfall and runoff are required to develop watershed unit hydrograph. Providing the unit hydrograph (UH) for all storms of a watershed is not simple and it demands plenty of time, expenses and facilities. Because of various limitations like insufficient hydrometery stations and difficulties in collecting hydrometrical data, application of the simple hydrological models based on easily accessible data seems logical and useful in order to estimate the flood hydrograph. This study was therefore aimed to provide synthetic 2h-UH using rainfall data in Kasilian watershed. Towards this attempt, 15, 19 and 12 hyetograph, UH and time relating characteristics were respectively considered for 23 storms. The relationship was investigated by using bivariate and multivariate regressions. Results showed 2h-UH could be reproduced based on hyetograph components. The results also verified the effective roles of time of occurrence of I30 and rainfall duration in simulating 2h-UH of the study watershed.

Keywords: Data lacked watersheds, Hydrologic Modeling, Kasilian representative watershed, Rainfall-runoff model, Unit hydrograph

مقدمه

بررسی آب نگارها به واسطه تامین اطلاعات جامع در مدیریت صحیح منابع آب یک حوزه آبخیز حائز اهمیت فراوان است. آب نگارهای واحد یکی از شیوه های مهم تحلیل جریان های سیلابی در مطالعات سیلاب در ایستگاه های هیدرومتری محسوب می شود (۳۶). از آن جایی که تهیه آب نگار واحد برای کلیه رگبارهای یک حوزه آبخیز به دلیل محدودیت های مختلف ساده نیست، لذا استفاده از مدل های هیدرولوژیکی برای برآورد آب نگار سیلاب ضروری به نظر می رسد (۷، ۹، ۱۰ ، ۱۳). با توجه به دست رسی آسان و بیش تر به آمار بارندگی، تهیه مدل هیدرولوژیکی مبتنی بر مشخصه ها و اطلاعات بارندگی بسیار کاربردی و منطقی به نظر می رسد و راه گشای حل بسیاری از مسائل مربوط به مطالعات هیدرولوژیکی خواهد بود. هم چنین اهمیت این مسئله در مناطق با خطر وقوع سیل زیاد و خسارت های هنگفت مضاعف شده و از ارزش بسیار بالاتری برخوردار بوده و حفظ منابع مختلف انسانی و طبیعی را مهیا می کند (۳۳). در همین راستا، اغلب تحقیقات انجام شده به مدل های مبتنی بر خصوصیات فیزیکی حوزه متمرکز شده است. در این خصوص می توان به تحقیقات Gupia و همکاران (۲۶) در تهیه مدل آب نگار واحد لحظه ای در هلند، ملچینگ (۳۱) در کاربرد مدل بارش-روان آب ROBO در حوزه آبخیز ایلی نویز مرکزی، Fleurrant و Duchesne (۲۴) در ارتباط بین پارامترهای ژئومورفولوژیک و مؤلفه های آب نگار، Amanda و همکاران (۱۹) در بیان رابطه بین پارامترهای ژئومورفولوژی و عکس العمل هیدرولوژیکی حوزه آبخیز ایلی نویز امریکا، Jena و Tiwari (۲۹) در مدل سازی بین پارامترهای آب نگار واحد مصنوعی و پارامترهای ژئومورفولوژیکی دو حوزه و زیر حوزه های آن ها در هندوستان اشاره کرد. هم چنین Singh و همکاران (۳۵) در هندوستان برای تهیه آب نگار واحد مصنوعی، مدل ترکیبی HM [۳] را با مدل Nash ترکیب و مدل ترکیبی توسعه یافته EHM [۴] را تهیه نمودند. کلولاند و همکاران (۲۲) اقدام به تهیه موفقیت آمیز آب نگار واحد به وسیله مدل رقومی ارتفاع [۵] در ۱۲۶ حوزه آبخیز در تگزاس نمودند.

در ایران نیز موسوی و همکاران (۱۶) مبادرت به تحلیل سیلاب های زیر حوزهٔ پلاسجان در حوزه آبخیز سد زاینده رود با استفاده از آب نگار های واحد با پایه های زمانی متفاوت نمودند. نتایج تحقیق موید عمل کرد متفاوت آب نگار های واحد مورد مطالعه در برآورد سیلاب بوده است. حشمت پور و همکاران (۴) میزان کارآیی تئوری های آب نگار واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، Nash، Rosso و SCS در حوزه آبخیز معرف کسیلیان (مازندران) در برآورد آب نگار خروجی را محاسبه کردند. نتایج نشان داد که تئوری آب نگار واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک نسبت به دیگر روش ها در برآورد ابعاد آب نگار خروجی خصوصاً دبی و زمان اوج آن از کارآیی بالاتری برخوردار بوده است. Sadeghi و دهقانی (۷) در حوزه آبخیز بازفت از طریق استفاده از آب نگار واحد لحظه ای مبادرت به تهیه موفقیت آمیز آب نگار سیل نمودند. هم چنین صادقی و همکاران (۹) مبادرت به تهیه آب نگار سیل در حوزه آبخیز کسیلیان با استفاده از ۱۵ ویژگی باران نگار، ۱۱ ویژگی آب نگار و ۱۲ شاخص زمانی رابط بین باران نگار و آب نگار برای ۴۹ رگبار نمودند. نتایج ایشان ضمن تأیید امکان تهیه آب نگار با استفاده از اجزای باران نگار نشان داد که با داشتن فقط مدت بارش مازاد می توان به ساده ترین شکل آب نگار مثلثی و با مدت و مقدار بارش مازاد و زمان وقوع بیشینه ۱۵ دقیقه ای به کامل ترین شکل آب نگار در منطقه مورد مطالعه دست یافت. افضلی (۱) به تعیین ارتباط معنی دار بین پارامترهای فیزیکی حوزه و مؤلفه های مختلف آب نگار واحد در سه استان گیلان، مازندران و گلستان

Archive of SID

www.SID.ir

پرداخت. نتایج وی ضمن دلالت بر کارآیی بیش تر مدل های رگرسیونی دو متغیره، حاکی از ارتباط بسیار معنی دار متغیرهای تغییر شکل یافته محیط، ارتفاع متوسط، شیب متوسط و طول آبراهه اصلی حوزه آبخیز با مؤلفه های آب نگار واحد دو ساعته منطقه مورد مطالعه بوده است.

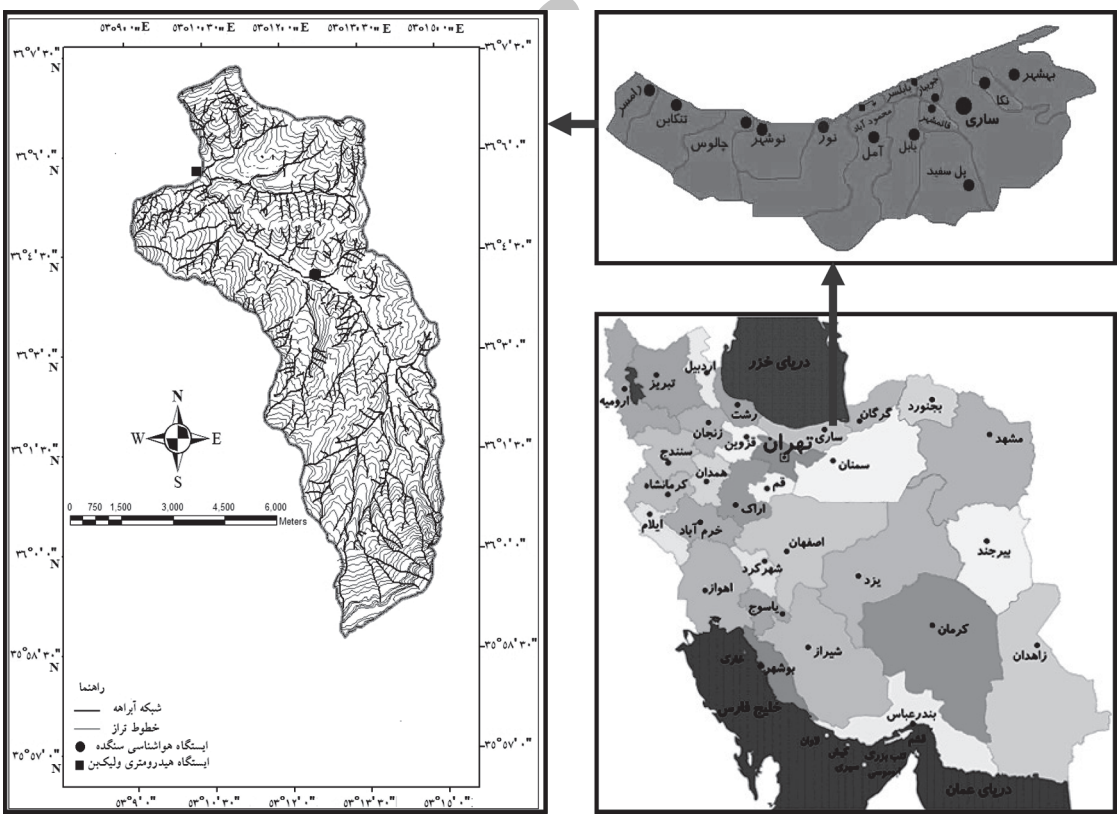
مرادی و همکاران (۱۲) نیز از روش های مختلف تعیین ضرایب ذخیره در مدل تهیه آب نگار واحد مبتنی بر آب نگار واحد لحظه ای کلارک در حوزه آبخیز کسیلیان نمودند.

بررسی تحقیقات صورت گرفته در این زمینه نشان می دهد که اغلب تحقیقات انجام شده در خصوص تهیه آب نگار سیل در زمینه تهیه مدل های منطقه ای مبتنی بر خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز صورت پذیرفته است. از طرفی تهیه آب نگار واحد با استفاده از داده های زودیافت و غالباً ثبت شده بارندگی در حوزه های آبخیز از ارزش کاربردی زیادی برخوردار می باشد. از همین رو تحقیق حاضر با هدف بررسی ارتباط اجزای مختلف آب نگار واحد با استفاده از مؤلفه های پویای بارندگی در حوزه آبخیز کسیلیان انجام شده است. فرضیه مورد استفاده در این تحقیق را می توان به صورت تهیه مؤفقیت آمیز آب نگار واحد مصنوعی با استفاده از مؤلفه های باران ارائه نمود.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز معرف کسیلیان، دومین آبخیز معرفی است که توسط وزارت نیرو در ایران تجهیز شده است. حوزه آبخیز مذکور قسمتی از آبریز مازندران است که بین عرض جغرافیایی "۳۰ ′۵۸ °۳۵ و "۱۵ ′۷ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی "۴۴ ′۸ °۵۳ و "۴۲ ′۱۵ °۵۳ شرقی و در ۱۸ کیلومتری شرق پل سفید قرار گرفته است. رودخانه کسیلیان یکی از شاخه های رودخانه تالار می باشد که از دامنه های شمالی کوه گلرد سرچشمه می گیرد و در جهت شمال غربی جریان یافته و روستاهای سنگده، ورمزکلا، ولیک بن، پاشاکلا و چند روستای دیگر را مشروب می کند و با شاخه کوچکی به نام سوخته سرا تلاقی کرده و از این محل به غرب تغییر مسیر می دهد و در شیرگاه به رودخانه تالار پیوسته و نهایتاً به دریای خزر وارد می شود. پایین ترین حد ارتفاعی آبخیز از سطح دریا ۱۱۰۰ متر و مساحت آبخیز ۶۶/۷۸ کیلومترمربع و میانگین بارندگی سالانه آن با روش تیسن ۸۱۳/۸۰ میلی متر است (۱۴). طبقه بندی اقلیمی منطقه با روش دومارتن و آمبرژه در ارتفاعات مختلف از نیمه مرطوب تا مرطوب متغیر است (۴ ، ۵). لازم به ذکر است برای انجام این تحقیق از آمار و اطلاعات ایستگاه هواشناسی سنگده و آب سنجی ولیک بن استفاده شده است. شکل ۱ شمای کلی منطقه به همراه موقعیت ایستگاه های هواشناسی و آب سنجی حوزه مورد مطالعه را نشان می دهد.

اطلاعات مورد نیاز برای انجام این تحقیق شامل آب نگار و باران نگار مربوط به هر رگبار از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۶ بوده که از اداره آب منطقه ای استان مازندران، سازمان تحقیقات منابع آب تهران و تحقیقات اخیر انجام شده (۳) جمع آوری شد. در مرحله بعد، به منظور اطمینان از وابستگی آب نگار به رگبار انتخابی از داده های با آب نگار های منفرد و نسبتاً زنگوله ای شکل



شکل ۱- سیمای عمومی، وضعیت شبکه زهکشی و موقعیت ایستگاه های هواشناسی و آب سنجی حوزه آبخیز کسیلیان

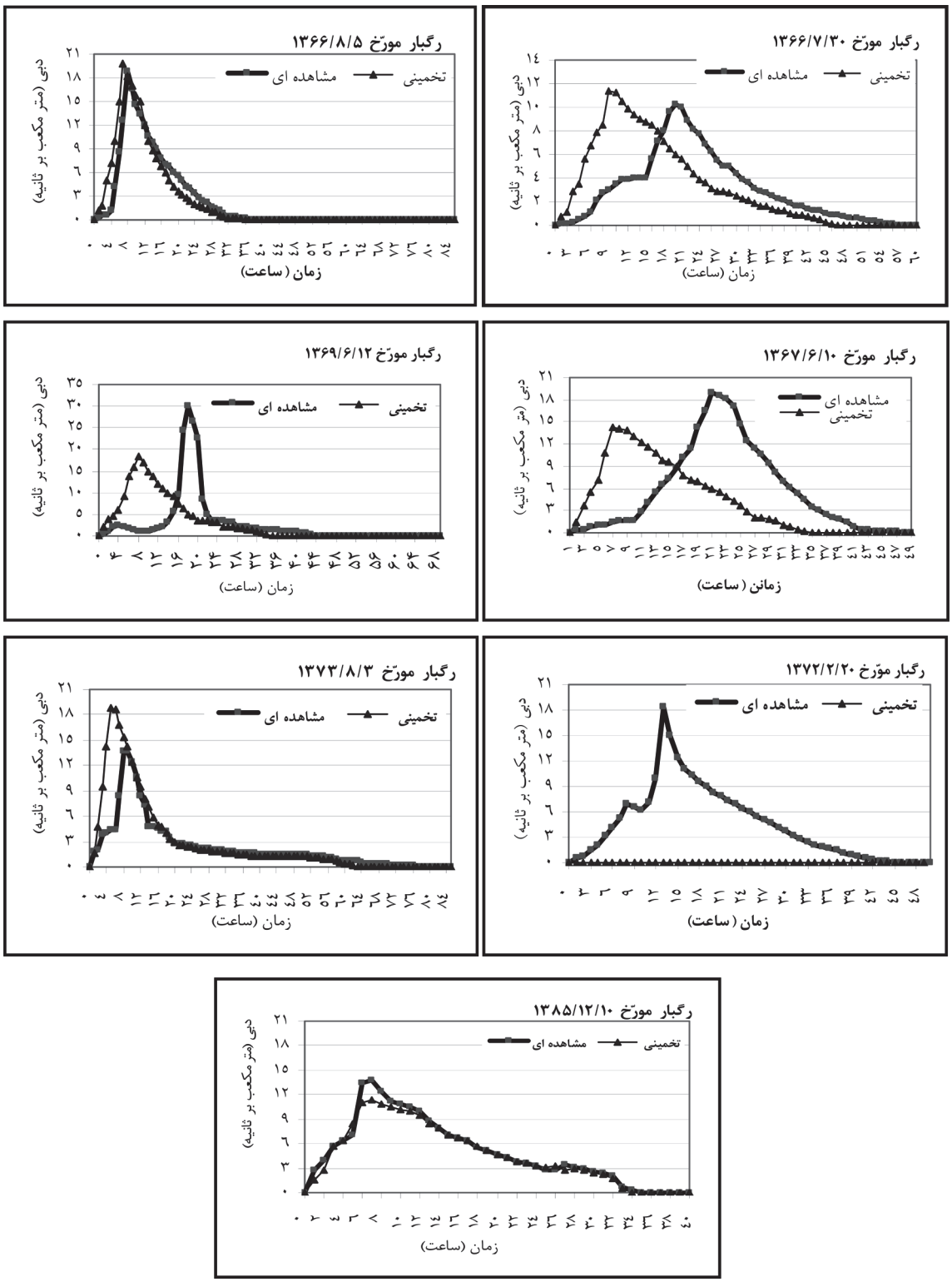
www.SID.ir
Archive of SID

جدول ۱- روابط برتر تخمین مؤلفه های مختلف آبنگارهای واحد ۲ ساعته در حوزه آبخیز کسیلیان

شماره رابطه	معادله	ضریب همبستگی	سطح معنی داری	خطا (٪)		مجذور میانگین مربعات	ضریب کارایی
				تخمین	تائید		
۴	$T_b=78/85-14/99(T)+1/43(T)^2-0/03(T)^3$	**۰/۷۵**	۰/۰۱۰	۱۴/۴۴	۲۳/۵۵	۷/۸۷	۰/۵۶
۵	$T_p=14/55-14/07(\log(t_{max30}))-20/03(\log(t_{max30}))^2+24/65(\log(t_{max30}))^3$	**۰/۸۲**	۰/۰۰۰	۸۴/۹۲	۷۹/۸۲	۱۳/۲۷	۰/۱۰
۶	$Q_p=33/19-15/39(P_e)+3.24(P_e)^2-0/18(P_e)^3$	**۰/۷۳**	۰/۰۲۰	۲۷/۶۴	۴۳/۸۳	۳/۷۹	۰/۴۳
۷	$Q_f=11/58+4/24(I_{ave})-4/53(I_{ave})^2+0/94(I_{ave})^3$	**۰/۷۶**	۰/۰۱۰	۲۱/۵۲	۲۵/۵۹	۲/۴۹	۰/۵۸
۸	$T_d=1/27+12/82/(P)$	**۰/۵۷**	۰/۰۲۰	۵۳/۳۱	۶۴/۴۸	۱/۲۹	۰/۳۵
۹	$W_{25\%}=40/76-1/34Q_p$	**۰/۹۱**	۰/۰۰۰	۱۶/۱۲	۲۵/۶۴	۳/۲۳	۰/۸۱
۱۰	$W_{50\%}=25/58-0/87Q_p$	**۰/۹۱**	۰/۰۰۰	۱۵/۲۵	۴۵/۸۹	۲/۱۶	۰/۸۰
۱۱	$W_{75\%}=13/54-0/45Q_p$	**۰/۸۷**	۰/۰۰۰	۱۳/۲۰	۶۱/۸۵	۱/۰۵	۰/۸۲
۱۲	$C_h=2/18(I_{max15})^{0/85}$	**۰/۶۵**	۰/۰۰۰	۵۹/۴۴	۳۲/۸۰	۷/۱۱	۰/۰۹
۱۳	$T_1=1/87+33/63/(T)$	**۰/۵۹**	۰/۰۱۰	۱۳۱/۱۳	۶۶/۳۹	۷/۷۷	۰/۳۵
۱۴	$T_2=e^{3/03-0/14(C_2)}$	**۰/۶۲**	۰/۰۱۰	۴۴/۶۵	۸۸/۹۹	۶/۸۴	۰/۱۳
۱۵	$T_3=-0/5+(31/04/Q_f)$	**۰/۶۴**	۰/۰۰۰	۴۲/۲۲	۵۹/۷۴	۱/۷۵	-۰/۲۹
۱۶	$T_4=5/43+22/64/(T)$	**۰/۵۶**	۰/۰۲۰	۶۹/۳۶	۶۲/۸۲	۵/۶۴	۰/۳۲
۱۷	$T_5=11/94-14/19(\log(t_{max30}))-39/37(\log(t_{max30}))^2+36/39(\log(t_{max30}))^3$	**۰/۷۲**	۰/۰۵۰	۱۸۷/۶۳	۸۴/۴۳	۶/۸۰	۰/۵۲
۱۸	$T_6=0/43+4/51(\log(t_{max15}))$	**۰/۶۲**	۰/۰۰۰	۷۳/۴۱	۱۶۷/۶۸	۳/۳۷	۰/۳۸
۱۹	$T_C=16/31-1/03(C_1)$	**۰/۶۱**	۰/۰۱۰	۷۴/۰۸	۵۷/۴۰	۶/۴۶	۰/۳۷
۲۰	$T_L=6/34+0/57(C_{pe})$	**۰/۴۹**	۰/۰۵۰	۶۰/۱۷	۱۰۹/۸۵	۶/۱۱	۰/۲۴
۲۱	$T_7=0/43+0/89T_6$	**۰/۹۲**	۰/۰۰۰	۲۵/۹۵	۵۱/۰۹	۲/۶۳	۰/۸۵
۲۲	$T_8=19/16-1/94(C_1)+0/04(C_1)^2$	**۰/۷۱**	۰/۰۴۰	۴۰/۲۷	۷۲/۲۸	۱/۳۲	۰/۹۷
۲۳	$T_9=-31/17+37/21(P_e)-9/09(P_e)^2+0/61(P_e)^3$	**۰/۷۰**	۰/۰۴۰	۱۳۴/۳۶	۴۵۷/۶۸	۶/۲۳	۰/۴۸
۲۴	$T_{10}=1/55+3/04(\log(t_{max15}))$	**۰/۴۹**	۰/۰۵۰	۱۰۲/۵۸	۱۱۸/۸۱	۳/۱۴	۰/۲۴

در روابط بالا Tb زمان پایه، T دوام بارش کل،Tp زمان تا اوج، tmax۳۰ زمان وقوع بیشینه شدت ۳۰ دقیقه ای رگبار، Qp دبی اوج، Pe مقدار بارش مازاد، Qfدبی در نقطه عطف،Iave شدت متوسط، Tdفاصله زمانی دبی در نقطه عطف تا دبی اوج، P مقدار بارش کل، W۲۵ عرض۲۵ درصد آب نگار واحد، W۵۰ درصد عرض۵۰ درصد آب نگار واحد، W۷۵ درصد عرض۷۵ درصد آبنگار واحد، Ch مرکز ثقل آب نگار واحد، Imax۱۵ بیشینه شدت ۱۵ دقیقه ای رگبار،T۱ انتهای بارش کل تا نقطه عطف، T۲ مرکز ثقل بارش کل تا مرکز آب نگار، C۲ مقدار بارش در چارک دوم، T۳ مرکز ثقل بارش کل تا اوج آب نگار، T۴ انتهای بارش کل تا مرکز ثقل آب نگار، T۵ انتهای بارش کل تا اوج آب نگار، T۶ ابتدای بارش کل تا ابتدای آب نگار، tmax۱۵ زمان وقوع بیشینه شدت ۱۵ دقیقه ای رگبار، Tc زمان تمرکز، C۱ مقدار بارش در چارک اول، TL زمان تأخیر، Cpe مرکز ثقل بارش مازاد، T۷ مرکز ثقل بارش مازاد تا اوج آب نگار، T۸ انتهای بارش مازاد تا مرکز ثقل آب نگار، T۹ انتهای بارش مازاد تا اوج آب نگار، T۱۰ ابتدای بارش مازاد تا ابتدای آب نگار می باشند. واحد تمام متغیرهای زمانی، مقادیر بارش، شدت بارش و دبی به ترتیب ساعت، میلی متر، میلی متر بر ساعت و مترمکعب بر ثانیه می باشد.

www.SID.ir



شکل ۲- آبنگارهای مشاهده ای و تخمینی رگبارهای مورد مطالعه در حوزه آبخیز کسیلیان

www.SID.ir

(۹، ۱۱، ۱۷) استفاده گردید. با توجه به موارد ذکر شده تعداد ۵۹ رگبار در فاصله زمانی مذکور برای اهداف این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تهیه آب نگار واحد آبخیز مورد مطالعه، ابتدا آب پایه برای هر یک از آب نگار های سیل متعلق به آبخیز مورد مطالعه با استفاده از خط شیب روبه بالا به دلیل هم گونی روش کار و تطابق بهتر آن با شکل عمومی آب نگار ها جدا و سپس حجم روان آب مستقیم محاسبه گردید. سپس ارتفاع روان آب حاصل از تقسیم حجم روان آب مستقیم به سطح حوزه تعیین و نهایتاً آب نگار واحد مرتبط از تقسیم دبی آب نگار مستقیم به ارتفاع متوسط روان آب به دست آمد (۶، ۱۱، ۱۵، ۳۷). در ادامه آب نگار واحد متوسط هر پایه زمانی، از طریق محاسبه متوسط زمان تا اوج، زمان پایه و دبی اوج و نیز عرض های آب نگار های مورد استفاده و از طریق چشمی و جابه جایی دبی اوج محاسبه و مقدار واحد ارتفاع روان آب آب نگار حاصل نیز کنترل گردید (۶، ۲۸). سپس تمام متوسط آب نگار های مذکور با استفاده از منحنی S به آب نگار واحد ۲ ساعته به دلیل رعایت شرط زمانی مناسب بارش مؤثر به عنوان ۰/۲ تا ۰/۳ زمان تأخیر حوزهٔ آبخیز (۳۷) تبدیل شد. در مرحله بعد خطای نسبی دبی اوج، زمان پایه و زمان تا اوج این نوع آب نگار های تبدیلی نسبت به آب نگار واحد ۲ ساعته محاسبه و ارزیابی های لازم صورت گرفت. به منظور بررسی ارتباط بین اجزای باران نگار و آب نگار های واحد حوزه آبخیز مربوطه و با توجه به خطاهای نسبی تبدیل آب نگار های واحد به ۲ ساعته، آب نگار های واحد مختلف و مناسب به دلیل برخورداری از حداقل خطا به آب نگار واحد ۲ ساعته تبدیل شدند. با توجه به موارد ذکر شده تعداد ۲۳ رگبار از ۵۹ رگبار انتخاب شدند. لازم به ذکر است از تعداد مذکور ۱۶ رگبار برای مدل سازی و ۷ رگبار در مرحله تأیید مورد استفاده قرار گرفتند.

سپس ۳۶ مشخصه برای هر رگبار در سه دسته کلی اجزای باران نگار، آب نگار واحد و شاخص های رابط بین باران نگار و آب-نگار تعیین و محاسبه شد. اجزای باران نگار شامل مقدار بارش کل، دوام بارش کل، مقدار بارش مازاد، دوام بارش مازاد، شدت متوسط، بیشینه شدت ۳۰ دقیقه ای، بیشینه شدت ۱۵ دقیقه ای، زمان وقوع بیشینه شدت ۳۰ دقیقه ای، زمان وقوع بیشینه شدت ۱۵ دقیقه ای، مقدار بارش در چارک اول، دوم، سوم و چهارم، مرکز ثقل باران نگار کل و مرکز ثقل باران نگار مازاد بوده است. متغیرهای تعیین کننده مهم شکل کلیه آب نگار های واحد شامل دبی اوج، عرض های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از دبی اوج، زمان تا اوج، زمان پایه، مرکز ثقل آب نگار واحد، دبی در نقطه عطف و فاصله زمانی آن تا اوج انتخاب و برای ارزیابی آن ها در رابطه با شکل آب نگار واحد استفاده شد. شاخص های مختلف زمانی رابط بین باران نگار کل و مازاد با آب نگار واحد ۲ ساعته شامل فاصله زمانی بین انتهای باران نگار تا نقطه عطف آب نگار واحد، فاصله زمانی بین مرکز ثقل باران نگار تا مرکز ثقل آب نگار واحد، فاصله زمانی بین مرکز ثقل باران نگار تا اوج آب نگار واحد، فاصله زمانی بین انتهای باران نگار تا مرکز ثقل آب نگار واحد، فاصله زمانی بین انتهای آب نگار تا اوج آب نگار واحد و فاصله زمانی بین ابتدای آب نگار تا ابتدای آب نگار واحد به منظور تعیین موقعیت زمانی آب نگار واحد نسبت به باران نگار مولد آن مدنظر قرار گرفت. در مرحله بعد به منظور تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته و دست یابی به ارزیابی سریع متغیرهای مورد نظر و هم چنین مشارکت عوامل مهم کنترل کننده مؤلفه آب نگار واحد از رگرسیون دو متغیره[۶] و چند متغیره[۷] استفاده شد.

در رگرسیون دومتغیره، ارتباط بین تک تک متغیرهای وابسته شامل ۹ ویژگی آب نگار واحد و هم چنین ۱۲ شاخص زمانی رابط بین باران نگار و آب نگار واحد، با متغیرهای مستقل شامل ۱۵ ویژگی از باران نگار به شکل دوتایی و پس از تهیه بانک اطلاعاتی در نرم افزار Excel ۲۰۰۳ و SPSS ۱۲ بررسی شد. تهیه مدل های رگرسیونی در واقع از بررسی ارتباط مستقیم متغیرها با یک دیگر و یا شکل های تغییر یافته آن ها و به صورت تصادفی و از دو سوم داده های موجود و در حالت های خطی، لگاریتمی، معکوس، درجه دو، درجه سه، ترکیبی، توانی، حالت S، منحنی رشد و نمایی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت مدل های با ضریب همبستگی بالاتر، خطای تخمین و تائید کم تر و ضریب کارآیی بالاتر به عنوان مدل های نهایی انتخاب شد (۱، ۸، ۱۰، ۲۳، ۲۵).

جهت تعیین ارتباط خطی بین متغیّرهای مستقل و وابسته، آزمون ارتباط (خطی چندگانه) نیز مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله به منظور تأیید آزمون رگرسیون و تثبیت فرضیّه های مرتبط با آن آزمون نرمال بودن داده های مستقل و وابسته با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرونوف، 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 Durbin-Watson و هم چنین تحلیل نقاط پرت با استفاده از آماره Case Wise Diagnostics (۲۷) انجام گرفت.

بعد از تأیید تمامی فرضیه های مذکور اقدام به انجام رگرسیون بین متغیرهای مستقل و وابسته شد. در این تحقیق از روش آماری تجزیه و تحلیل بدون عاملی و هم از تجزیه و تحلیل عاملی به دلیل زیاد بودن تعداد متغیرهای مستقل، استفاده گردید. نهایتاً انتخاب مدل مناسب و مؤثرترین متغیرهای مستقل مرتبط، رگرسیون چند متغیره به روش پس رو و پیش رو اجرا شد. رگرسیون چندمتغیّره حاصل نیز برای حالت های مختلفی نیز انجام و نهایتاً مدل های نهایی با استفاده از آماره های ارزیابی انتخاب شدند. ارزیابی کارآیی مدل های به دست آمده با استفاده از مقادیر قابل قبول شاخص های خطای نسبی کم تر از ۴۰ درصد (۲۳، ۳۰) و مجذور میانگین مربعات خطای کم تر (۸) و ضریب کارآیی بالا و ترجیحاً بیش تر از ۶۰ درصد (۲۵) بر اساس روابط زیر صورت گرفت.

$$RE = \left|\frac{Qo - Qe}{Qo}\right| \times 100 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{i=1} (Qo - Qe)^2}{n}} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

$$CE = \frac{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1} (Q_0 - \overline{Q}_0)^2 - \frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1} (Q_0 - Q_e)^2}{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1} (Q_0 - \overline{Q}_0)^2} \qquad \text{رابطه(۳)}$$

www.SID.ir
Archive of SID

کــه در روابط بالا RE خطای نســبی به درصــد، RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، CE ضریب کارایی، مقدار مشــاهده ای دبی، میانگین مقادیر مشــاهده ای دبی، مقــدار تخمینی دبی و n تعداد مشــاهدات می باشــد. در مرحله بعد ضمن تحلیل نهایی نتایج به دست آمده در خصوص اختلاف متصور تخمین، مدل برتر به همراه استدلال های منطقی برای منطقه مورد مطالعه ارائه شــد. هم چنین مقایسه کیفی و کمی هفت آب نگار بازسازی شــده مورد استفاده در مرحله تأیید بر اســاس روابط نهایی در حالت های اســتفاده از ســاده ترین و دقیق ترین مدل های مربوطه به منظور ارزیابی نهایی نتایج حاصل طی تحقیق صورت پذیرفت.

نتایج

بــرای تعییــن مدل های بهینه بــرای تهیه آب نگار واحد با اســتفاده از اجزای بــاران نگار، ارتباط بین متغیرهای مســتقل (اجزای باران نگار) و وابســته (اجزای آب نگار واحد و شــاخص های زمانی بین آب نگار واحد و باران نگار) به دو روش رگرسیون دو و چند متغیره و به شکل های مختلف بررســی شد. ســپس از میان روابط به دست آمده برای هر متغیر وابسته، با توجه به معیارهای ارزیابی مثل ضریب همبســتگی، خطای نســبی تخمین و تأییــد، مجــذور میانگین مربعات خطا و ضریــب کارآیی مدل های نهایی و بهینه برای حوزه آبخیز کســیلیان به همــراه آماره های ارزیابی آن ها در جدول ۱ ارائه شده است. هم چنین نتایج ارزیابی نرمال بودن داده ها دلالت بر نرمال بودن تمامی داده های مورد مطالعه و ضرورت نرمال ســازی زمان وقوع بیشینه شدت ۳۰ دقیقه ای رگبار، زمان وقوع بیشینه شدت ۱۵دقیقه ای رگبار برای آب نگار واحد ۲ ساعته از طریق لگاریتم گیری داشتند.

در ایــن تحقیق علاوه بر روش بدون تجزیه و تحلیل عاملی در شــیوه پس رو و پیش رو از روش تجزیه و تحلیل عاملی آن نیز اســتفاده شــد. با اســتفاده از این روش تعداد زیادی از متغیرها را می توان به تعداد کم تری کاهش داد و به این طریق به علت عدم ارتباط درونی متغیرهای مســتقل، از بروز روابط به ظاهر دارای همبســتگی بالا اما غیرمنطقی جلوگیری شده و خلاصه ای از داده های اصلی تهیه می شــود. نتایج نشــان داد که کاهش تعداد متغیرهای مســتقل باعث افزایش خطاهــا و کاهش دقت در مدل ها شــده است. لازم به ذکر است که علی رغم حجم بالای مدل ها برای برخی از متغیرهای وابسته از قبیل عرض ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد دبی اوج، مرکز ثقل بارش کل و بارش مازاد تا اوج آب نگار، رابطه معنی دار و منطقی به دست نیامد که اســتفاده از معادلات پیاپی برای دســت یابی به معادلات مناسب (۳۲) را ایجــاب نمود. بدین ترتیب که روابــط دوتایی بین خود متغیرهای وابســته پس از تشــکیل ماتریس همبستگی و بیش ترین همبستگی آن ها بررسی و نتایج حاصل هم چنان در جدول ۱ ارائه شده است. در نهایت تأیید مدل ها به صورت کیفی نیز با روی هم انداختن آب نگار های مشــاهده ای و تخمینی و مقایســه چشمی به صورت ارائه شده در شکل ۲ برای ۷ رگبار باقی مانده انجام شد.

بحث و جمع بندی

با توجه به جدول ۱ مشــخص می شــود که متغیرهای عرض ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصــد دبــی اوج، مرکز ثقل بارش کل و بــارش مازاد تا اوج آب نگار، رابطه معنی دار و منطقی به دست نیامد که خود دلالت بر عدم توانایی هر یک از متغیرهای مســتقل مورد اســتفاده در تحقیق در تخمین متغیرهای وابســته مذکور دارد. هم چنین بیش ترین مشــارکت متغیّرهای مستقل به ترتیب مربوط به بیشــینه زمان وقوع شدت ۳۰ دقیقه و دوام بارش بوده در حالی که کم ترین آن مربوط به چارک سوم و چهارم است که اصلاً در مدل ســازی وارد نشــده اند. یافته های فعلی با نتایج تحقیق صادقی و همکاران (۹) در رابطه با تهیّه آب نگار ســیل با اســتفاده از مؤلفه مدت زمان بارش مؤثر و مقدار بارش مازاد و زمان وقوع بیشینه ۱۵ دقیقه ای در حوزۀ آبخیز کسیلیان هم راستا می باشد.

از طرفی تنوع شــرایط حاکــم بر آب نگار های تجزیه و تحلیل شــده، نحــوه جداســازی جریان آب پایــه و نیز عکس العمل هــای متفاوت حوزه آبخیــز بــه ازای ورودی های مختلف را می توان به عنــوان منابعی دیگر از عمل کرد ضعیف برخی از مدل های به دســت آمده تصور نمود. هم چنین نتایج مقایسه کیفی آب نگارهای واحد مشاهداتی و تخمینی بیان گر میزان حداکثر خطا در دبی اوج، زمان پایه و زمان تا اوج در رگرسیون دو متغیره به ترتیب ۳۸/۸۲، ۲۹/۱۷ و ۶۳/۱۶ درصد در رگرسیون چند متغیّره به ترتیب ۹۷/۰۲، ۱۲۶/۳۲ و ۲۵۰ درصد است.

دقــت در ایــن نتایــج و در رگبارهــای ۱۳۶۶/۷/۳۰، ۱۳۶۷/۶/۱۰ و ۱۳۶۹/۶//۱۲ علی رغم مناســب بودن آماره های ارزیابی در مقایسه کیفی، نشــان گر عدم امکان تفکیک صحیح آب پایه بوده اســت. در همین راســتا حذف عرض های اولیه و تجدید نظر در تهیه آب نگار مستقیم و به تبع آن در آب نگار واحد، شــرایط ارتقای عمل کرد مدل را مهیا ســاخته به نحوی کــه میزان خطای زمان تــا اوج تا حد زیادی و به مقــدار ۱۱/۹۹درصد در رگرســیون دو متغیره و ۵۵/۶۲ درصد در رگرســیون چنــد متغیره کاهش یافته که نشــان دهنده اهمیت نحوه جداســازی جریان پایه از آب نگار کل در تهیــه آب نــگار واحد بوده که با نتایج حاصل از تحقیق ســینگ (۳۶) و صادقی و دهقانی (۷) مبنی بر اهمیت جداســازی آب پایه و تأثیر مشخص زمان از شــروع بارش مازاد بر میزان روان آب هم خوانی داشــته است. هم چنین کلیه روابط به دســت آمده بیــن اجزای مختلف باران نگار و آب نگار در حوزه آبخیز کسیلیان به صورت توانی و غیرخطی است که نشان دهنده ارتباط غیرخطی این دو مقوله با یک دیگر داشــته که با یافته های Singh (۳۶) و Saghafian (۳۴) هم راستاست.

با توجه به شــکل ۲ مشــخص می شــود که آب نگارهای مشاهده ای مربوط به فصل ســرد ســال هم خوانی بیش تری با آب نگار واحد تخمینی دارنــد در حالــی که در مورد آب نگارهای دو فصل بهار و تابســتان این هم خوانی کم تر می باشد که می تواند به دلیل نزول قسمت اعظم بارندگی در فصل ســرد ســال و ذوب آن در فصل گرم در اثر نزولات گرم روی آن و هم چنین تأثیر رطوبت پیشــین خاک دانســت که با یافته های Benkhaled و همکاران (۲۰) در الجزیره و ویســکرمی (۱۸) در استان لرستان و صادقی و همکاران (۹) در تهیه آب نگار ســیل در کســیلیان مطابقت دارد. در واقع شــدت بارندگی زیاد موجب عکس العمل ســریع و تنــد آبخیز و تهیه آب نگار مشــاهده ای نوک تیز شــده در حالی که این مســئله در مدل ســازی لحاظ نشــده اســت. از طرفی عدم امکان شبیه ســازی آب نگارهای واحد مشاهده ای ۲ ساعته توسط روابط مبتنی بر خصوصیات فیزیکی حوزه های آبخیز شمال کشور (۱) نیز خود دلیلی دیگر بر ضرورت لحاظ و مدل سازی روابط ویژگی های باران و آب نگار واحد است.

Archive of SID

در جمع بندی تحقیق حاضر با هدف بررسی ارتباط آب نگار واحد و باران در حوزه آبخیز معرف کسیلیان، فرضیه متصور تحقیق در خصوص امکان ساخت آب نگار واحد مصنوعی با استفاده از مؤلفه های باران با توجه به دست یابی به مدل های قابل استفاده در تبیین مؤلفه های مختلف آب نگار واحد ۲ ساعته متوسط به عنوان یک آب نگار واحد نماینده برای حوزه آبخیز مورد مطالعه، تأیید می شود. هم چنین تهیه مدل های مناسب برای بازسازی آب نگار واحد سیلاب در مقاطع زمانی مختلف، ارزیابی نقش شیوه های مختلف جداسازی آب پایه در تهیه آب نگار واحد سیل و ارزیابی تأثیر رگبارهای مختلف از لحاظ نحوه توزیع زمانی، شدت و مقدار در عمل کرد تهیه آب نگار واحد و مدل سازی مؤلفه های موجود در راستای تحقیق انجام شده پیشنهاد می گردد.

پاورقی ها

1- Unit Hydrographs
2- Illinois
3- Hybrid Model
4- Extended Hybrid Model
5- Digital Elevation Model
6- Bivariate
7- Multivariate
8- Back ward
9- For ward

منابع مورد استفاده

۱- ابریشمی، ح. و محمدی، ت.، (۱۳۷۴) کاربرد تحلیلی رگرسیون، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۱۷۶ ص.

۲- افضلی، ع.، (۱۳۸۶) مدل سازی منطقه ای مؤلفه های هیدروگراف واحد مصنوعی با استفاده از پارامترهای فیزیکی حوزه آبخیز، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۶۲ ص.

۳- اسدی، ه.، (۱۳۸۷) ارزیابی روش های تهیه منحنی های زمان-مساحت در تخمین سیلاب حاصل از آبنمود واحد لحظه ای در حوزه آبخیز کسیلیان، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس ۷۴ ص.

۴- حشمت پور، ع.، محسنی ساروی، م.، سعدالدین، ا. و عرفانیان، م.،(۱۳۸۱) بررسی کارایی هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در برآورد دبی سیلاب، منابع طبیعی ایران، ۵۵ (۱): ۳-۲۵.

۵- سعادتی، ح.، غلامی، ع.، شریفی، ف. و ایوب زاده، س.ع.، (۱۳۸۵) شبیه سازی دبی روزانه و بیلان آبی در کاربرهای اراضی حوزه آبخیز معرف کسیلیان، منابع طبیعی ایران، ۵۹(۲): ۳۰۱-۳۱۳.

۶- سینگ، وی. پی.، (۱۳۸۱) سیستم های هیدرولوژیکی (مدل سازی بارندگی-رواناب)، ترجمه: نجفی م.ر.، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۰۵۶ ص.

۷- صادقی، س.ح.ر. و دهقانی، م.، (۱۳۸۵) دقت روش های تخمین ضریب ذخیره آبنمود واحد لحظه ای در بازسازی آبنمود واحد سیل، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳(۳): ۱۵۲-۱۶۰.

۸- صادقی، س.ح.ر.، مرادی، ح.ر.، مزین، م. و وفاخواه، م.، (۱۳۸۴) کارایی روش های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدل سازی بارش-رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسیلیان)، منابع طبیعی ایران، ۱۲(۳): ۸۱-۹۰.

۹- صادقی، س.ح.ر.، مزین، م. و مرادی، ح.ر.، (۱۳۸۶) تهیه آبنمود با استفاده از اجزای مختلف بارندگی در حوزهٔ آبخیز کسیلیان، منابع طبیعی ایران، ۶۰(۱): ۳۳-۴۳.

۱۰- صادقی، س.ح.ر. و معتمدنیا، م.، (۱۳۸۷) تهیه و تحلیل سنجه دبی در مقیاس رگبار در حوزه آبخیز جنگلی آموزشی کجور، در مجموعه لوح فشرده اولین کنفرانس بین المللی تغییرات زیست محیطی منطقه خزری، بابلسر، دانشگاه مازندران، ۳ تا ۴ شهریور ۱۳۸۷، ۶ ص.

۱۱- علیزاده، ا.، (۱۳۸۲) اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ شانزدهم، ۸۱۵. ص.

۱۲- مرادی، ح.ر.، تلوری، ع.، اسدی، ه.، صادقی، س.ح.ر. و معتمدنیا، م.، (۱۳۸۷) تهیه و تحلیل سنجه دبی در مقیاس رگبار در حوزه آبخیز جنگلی آموزشی کجور، در مجموعه لوح فشرده اولین کنفرانس بین المللی تغییرات زیست محیطی منطقه خزری، بابلسر، دانشگاه مازندران، ۳ تا ۴ شهریور ۱۳۸۷، ۶ ص.

۱۳- مرید، س. و ریاضتی، د.، (۱۳۸۲) مقایسه مدل های تحلیل منطقه ای سیلاب و بارش-رواناب در شرق استان هرمزگان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰(۲): ۱۸۱-۱۹۳.

۱۴- مقدم نیا، ع.، (۱۳۷۶) بررسی مقایسه ای زمان تمرکز، زمان تاخیر و زمان رسیدن تا اوج سیلاب بر اساس روش های تجربی و تجزیه آبنمود در دو منطقه آب و هوایی، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۶۳ ص.

۱۵- مهدوی، م.، (۱۳۸۱) هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۳۷ ص.

۱۶- موسوی، س.ف، نکویی مهر، م. و مهدوی، م.،(۱۳۷۷) بررسی و آزمون تطابق هیدروگراف های واحد مصنوعی و طبیعی در حوزه آبخیز سد زاینده رود (زیر حوزه پلاسجان)، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۲(۲): ۹۳-۱۰۶.

۱۷- میرباقری، س.ا.، (۱۳۷۷) هیدرولوژی مهندسی، جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شیراز، ۵۶۲ ص.

۱۸- ویسکرمی، ا.، (۱۳۷۸) بررسی روابط مربوط به کاهش های هیدرولوژیک جهت تعیین هیدروگراف سیلاب در حوزهٔ آبخیز کشکان (لرستان)، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۷ ص.

19- Amanda B., Patricia P.K., Saco M., Rhoads B.L. and Yen B.C., (2004) Hydrodynamic and Geomorphologic Dispersion: Scale Effects in the Illinois River Basin, *Journal of Hydrology,* 288: 237–257.

20- Benkhaled A., Remini, B. and Mhaigue, M., (2004) *Influence of Antecedent Precipitation Index on the Hydrograph Shape*, In: Proceedings of the British Hydrological Society Conference, Imperial College London, 12-16 July 2004: 81-87.

21- Campolor M.A. and Solodati A., (1999) River Flood Forecasting with a Neural Network Model, *Water Resources Research*, 35:1191-1197.

22- Cleveland G.T., Thompson D.B., Fang X. and He X., (2008)

Archive of SID

Synthesis of Unit Hydrographs from a Digital Elevation Model, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering,* 134(2): 212-221.

23- Das G., (2000) *Hydrology and Soil Conservation Engineering* Prentice-Hall of India Press, 489p.

24- Fleurrant C. and Duchesne, J., (2003) Geomorphological Unit Hydrograph Models Derive Statistical Physics and Fractal Geometry, *European Geophysical Society,* 5: 210-219.

25- Green I.R.A. and Stephenson D., (1986) Criteria for Comparison of Single Event Model, Hydrological *Sciences Journal,* 31:395-411.

26- Gupta V.K., Waymire. E. and Roddriguez-Iturbo I., (1986) *On Scales Gravity and Network Structure in Basin Runoff*. In: Gupta, V., Rodriguez- Iturbo, I. and Wood. E. (Eds). Scale Problems in Hydrology. D. Rcidel. Dordrecth. Holland. pp. 159-180.

27- Hair J.F., Anderson R.E., Tatham R.L. and Black W.C., (1995) *Multivariate Data Analysis* (4th edition). Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 74 pp.

28- Hjlmfelt A.T. and Cussidy, J.J., (1975) *Hydrology for Engineering and Planners,* Iowa State University Press, 180p.

29- Jena, S.K. and Tiwari, K.N., (2006) Modeling Synthetic Unit Hydrograph Parameters with Geomorphologic Parameters of Watersheds. *Journal of Hydrology,* 319: 1-14.

30- Liu X. and Li J., (2008) Application of SCS Model in Estimation of Runoff from Small Watershed in Loess Plateau of China, *Chinese Geographical Sciences*, 18(3): 235–241.

31- Melching C.S., (1991) Output Reliability as Guide for Selecting of Rainfall-runoff Models. *Journal of Water Resources Planning and Management,* 117 (3):91-105.

32- Sadghi, S.H.R., (2000) *Rainfall-Runoff Relationship for Amameh Watershed in Iran,* In: Proceeding of International Water Resources Management for Sustainable Development, India, 796-804.

33- Sadeghi, S.H.R., (2004) *Study on Consequent Flood Occurrence in a Part of Northern Iran*, In: Interpraevent Proceedings, Italy, May 24-28, 2004, 1(3):251-258.

34- Saghafian, B., (2006) Nonlinear Transformation of Unit Hydrograph, *Journal of Hydrology,* 330: 596–603.

35- Singh, P.K., Bhunya, P.K., Mishra, S.K. and Chaube U.C., (2007) An Extended Hybrid Model for Synthetic Unit Hydrograph Derivation, *Journal of Hydrology* 336, 347– 360.

36- Singh, V.P., (1992) *Elementary Hydrology*. Economy Edition, New Delhi, India, 973p.

37- Subramanya, K., (2001) *Engineering Hydrology*, Tata McGraw-Hill, 392p.

Archive of SID