پژوهش های آبخیزداری شماره ۸۶، بهار ۱۳۸۹
(پژوهش و سازندگی)

تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی حوزه های آبخیز شمالی کشور با استفاده از ویژگی های فیزیوگرافی

• **سیدحمیدرضا صادقی**، دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، (نویسنده مسئول)
• **علی افضلی**، دانش آموخته گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور
• **مهدی وفاخواه**، استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور
• **عبدالرسول تلوری**، عضو هیأت علمی گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز
تاریخ دریافت: بهمن ماه ۱۳۸۶ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۸۷
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۹۰۵۰۴۲
Email:sadeghi@modares.ac.ir

چکیده

استفاده از هیدروگراف واحد به عنوان یکی از روش های برآورد سیلاب، مستلزم وجود ایستگاه های هیدرومتری، جمع آوری داده ها و اطلاعات مشاهده ای می باشد. از این رو، تهیه هیدروگراف واحد با استفاده از ویژگی های فیزیکی حوزه آبخیز به دلیل دسترسی و دقت قابل قبول در اغلب مناطق فاقد ایستگاه هیدرومتری ضروری است. تحقیق حاضر به منظور تعیین رابطه بین ویژگی های فیزیکی تعدادی از حوزه های آبخیز منتخب استان های گیلان، مازندران و گلستان با مساحت حدود ۱۷۷۰۰۰ کیلومتر مربع و مؤلفه های مختلف نشان دهنده شکل و مختصات زمانی هیدروگراف واحد و به تبع آن امکان سنجی تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی صورت پذیرفت. برای انجام تحقیق حاضر، نه ویژگی فیزیوگرافی حوزه آبخیز و هشت ویژگی هیدروگراف واحد مدنظر قرار گرفت. ارتباط بین این متغیرها به صورت رگرسیون دو و چند متغیره و با استفاده از اشکال ساده و تغییر یافته و پس از اعمال تجزیه و تحلیل های خوشه ای و عاملی مورد بررسی قرار گرفت. سپس مدل های به دست آمده به کمک سه معیار خطای نسبی، مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب کارآیی مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی نتایج به دست آمده ضمن تأیید امکان تهیه مصنوعی هیدروگراف واحد در منطقه مورد بررسی با استفاده از ویژگی های فیزیکی حوزه آبخیز با تاکید بر محیط حوزه آبخیز در تخمین مؤلفه های هیدروگراف و شیب متوسط حوزه آبخیز در برآورد متغیرهای زمانی آن، مؤید کارآیی بیش تر مدل دو و چند متغیره به ترتیب در تخمین متغیرهای زمانی و دبی هیدروگراف های واحد شبیه سازی شده دو ساعته و نهایتاً امکان شبیه سازی هیدروگراف های مشاهداتی با میانگین ضریب کارآیی ۰/۳۲ ± ۰/۵۲ بوده است..

کلمات کلیدی: حوزه های آبخیز شمالی البرز، مدل سازی هیدرولوژیک، ویژگی های فیزیوگرافی، هیدروگراف واحد مصنوعی.

Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 86 pp: 15-23

Development of synthetic unit hydrograph for northern Iranian watersheds using physiographical characteristics

By: S.H.R. Sadeghi, Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Noor (Corresponding Author; Tel: 0989123905042)

A. Afzali, Former Master Student, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Noor

M. Vafakhah, Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Noor

A.R. Telvari, Member of Scientific Board of Islamic Azad University Ahwaz Branch. Iran.

Application of unit hydrographs as one of flood estimation techniques requires hydrometry stations and observed data collection. Application of watershed physiographical characteristics is therefore supposed as an applicable substitution because of their accessibility and accuracy. The present research has been conducted to regress different shape and time components of unit hydrograph into physiographical characteristics of the some selected watersheds in northern Iran with an area of ca. 177000 km^2 extended in Golestan, Mazandaran and Guilan Provinces. For this purpose, 9 physical characteristics of the watersheds and 8 characteristics of unit hydrograph were taken into account. Different statistical analyses of bivariate and multivariate regressions using simple and transformed forms of data, clustering and principle components were applied to study the relationships. The obtained models were evaluated with the help of relative error, root mean square error and efficiency coefficient. The results verified the possibility of development of synthetic unit hydrographs by using watershed physiographical characteristics emphasizing on watershed perimeter for estimation of hydrograph components and watershed mean slope for prediction of time related factors. The priority of bivariate and multivariate models was also ascertained for estimation of time and discharge components of the 2h unit hydrographs, respectively, with an average value of efficiency coefficient of 0.52 ± 0.32.

Keywords:Hydrologic Modeling, Northern Alborz Watersheds, Physiographic Parameters, Synthetic Unit Hydrograph.

Archive of SID

مقدمه

طراحی اکثر تأسیسات هیدرولیکی نظیر سرریزها، مجاری فاضلاب های شـهری، سازه های کنترل سیلاب و بسـیاری دیگر از پروژه های مهندسی مثـل زهکش های طولی جاده ها و پل های کوچک و بزرگ نیازمند برآورد مشـخّصه های مختلف خصوصاً دبی بیشینه سیل است (۴). دست یابی به مشـخصات مختلف سـیل در صورت وجود آمار کافی از جریان سیلاب ها، از طریق تحلیل فراوانی آنها به سـادگی امکان پذیر اسـت (۲). حال آن که دست یابی به این اطلاعات در مناطق فاقد آمار به سادگی میسّر نمی باشد. برای برآورد سیلاب حداکثر لحظه ای می توان از فرمول های تجربی[۱]، تهیه هیدروگراف مصنوعی[۲]، روش شـبیه سـازی[۳]، تخمین آماری دبی حداکثر لحظه ای[۴]، آنالیز منطقه ای[۵] و روش شـاخص سیلاب[۶] استفاده نمود که هر کدام در شرایطی خاص قابلیت کاربرد دارند. در این میان، روش های منجر به هیدروگراف یا آبنمود، اطلاعات کاملی از ویژگی های سیل در زمان های مختلف رخ داد واقعه را ارائه می دهند (۱۳).

در این راسـتا، مدل هایی بین ویژگی های سیل و ویژگی های فیزیکی حوزه آبخیز تهیه و از آنها استفاده شده است که در این خصوص می توان به تحقیقات پیش آهنگ Synder (۲۶) اشاره نمود که با استفاده از ویژگی های طول آبراهه، فاصله مرکز ثقل تا خروجی، شاخص ذخیره، مساحت و معرفی ضرایـب منطقه ای مبادرت به معرفی شـیوه تهیه هیدروگراف مصنوعی به کمـک متغیر زمان تأخیر، دبی اوج و زمان پایه نمود. Hickok و همکاران (۱۸) در راستای تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی منطقه ای از ویژگی های فیزیکی شامل مساحت، شیب آبراهه، تراکم زهکشی و محیط استفاده نمود. در ایـن تحقیق، مقایسـه هیدروگراف تخمینی با مقدار مشـاهده ای مؤید اختلاف کم بین شـکل ایـن دو هیدروگراف بود. Gray (۱۶) نیز روشـی بـرای تعیین هیدروگراف واحد برای حوزه های آبخیز غرب امریکا ارائه داد که بـرای تعیین مؤلفه های هیدروگراف واحد از همبسـتگی این مؤلفه ها با ویژگی های فیزیکی پارامتر شکل، زمان اوج و نسبت زمان تا اوج استفاده کرد. در این خصوص نتایج نشان داد که اختلاف بین مقادیر برآورد شده با اندازه گیری شـده کـم بـود. Roddriguez - Iturbo و Valdes (۲۳) در تحقیقی رابطه بین زمان تا اوج هیدروگراف، میانگین دبی اوج و حجم با ویژگی های فیزیکی حوزه آبخیز (مساحت، شکل، شیب، تراکم زهکشی و ارتفاع) و هم چنین رابطه آنها به صورت ترکیبی را با هم مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند

که پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز به ویژگی های فیزیوگرافی آن بستگی دارد. هم چنین این محققین دریافتند که هیدروگراف واحد لحظه ای می تواند با ویژگی های مستقل و ثابت حوزه آبخیز مانند ضریب دوشاخه شدن، ضریب طول آبراهه و ضریب مساحت برفی ارتباط داشته باشد. رابطه ریاضی هیدروگراف واحد لحظه ای با عرض حوزه آبخیز نیز توسط Gupta و همکاران (۱۷) بررسی شد. آن ها اهمیت محل اتصال آبراهه ها با خروجی حوزه آبخیز را آزمون نموده و تأثیر آن روی شکل هیدروگراف و دبی اوج را تایید کردند. Yenlee (۲۷) مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی لحظه ای در دو حوزهٔ آبخیز تپه ماهوری در شرق امریکا و هم چنین دو حوزه آبخیز در Illinois را مورد آزمایش قرار داد کارآیی خوب آن برای تحلیل رابطهٔ بارش و روان آب را تأئید نمود. Kalina و همکاران (۲۰) نیز با تعیین هیدروگراف از طریق ویژگی های ژئومورفولوژیکی چند حوزه آبخیز در امریکا و مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده، به این نتیجه رسیدند که شکل هیدروگراف هم بستگی بالایی با ویژگی های ژئومورفولوژیکی حوزه آبخیز داشته است. Fleurrant و Duchesne (۱۵) با بررسی ارتباط بین شبکه رودخانه ای و پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز در قالب هیدروگراف ، به این نتیجه رسیدند که ارتباط بین ویژگی های ژئومورفولوژیک و مؤلفه های هیدروگراف معنی دار است. تاثیر معنی دار ویژگی های ژئومورفولوژی بر عکس العمل هیدرولوژیکی و خصوصاً دبی های با فراوانی زیاد در حوزه آبخیز ایلینویز امریکا توسط Amanda و همکاران (۱۲) مورد تأئید قرار گرفت. Jena و Tiwari (۱۹) نیز پس از مدل سازی روابط بین اجزای هیدروگراف واحد مصنوعی و ویژگی های فیزیکی مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، ضریب دوشاخه شدن آبراهه و شیب آبراهه در دو حوزه آبخیز و زیر حوزه های هندوستان به این نتیجه رسیدند که هیدروگراف واحد مصنوعی حاصل از کاربرد ویژگی های مورد استفاده مطابقت زیادی با مقادیر مشاهده ای آنها داشته است. هم چنین کارآیی ویژگی های خاک، ارتفاع و کاربری اراضی حوزه های آبخیز و تهیه شده از تصاویر ماهواره ای در تخمین ویژگی های هیدروگراف واحد توسط Littlewood و همکاران (۲۱) در دو حوزه آبخیز کشور برزیل پس از واسنجی مدل و مقایسه با مدل های دیگر تایید گردید.

در ایران نیز هاشمی (۱۱)، با بررسی رابطه دبی متوسط سیلاب با بعضی از ویژگی های فیزیکی حوزه آبخیز، به این نتیجه رسید که شکل حوزه آبخیز و مستند بر شاخص ضریب گراولیوس تاثیر زیادی بر دبی متوسط سیلاب های حداکثر لحظه ای دارد. دیندارهاسو (۳) در کاربرد روش اشنایدر در حوزه آبخیز لیقوان به این نتیجه رسید که تخمین دبی اوج هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژیک و زمان تا اوج با روش مذکور، تطابق خوبی با مقادیر مشاهده ای داشته است. عبدالهی (۷) نیز هیدروگراف استنتاجی از مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیکی را با مقادیر مشاهده ای در حوزه آبخیز خان میرزا مقایسه کرد. نتایج این بررسی نشان داد که در بیش تر موارد دبی های اوج برآوردی با استفاده از مدل های تجربی کم تر از میزان واقعی آنها بوده است. هم چنین شاه محمدی حیدری و بهنیا (۵) پس از بررسی ۱۱ ایستگاه هیدرومتری در شرق و جنوب شرق جلگه خوزستان رابطه ای بین مساحت و دوره برگشت به دست آوردند که برای محاسبه دبی حداکثر سیلاب در منطقه مذکور و برای حوزه های آبخیز تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع قابل استفاده بود.

بررسی مطالعات و تحقیقات صورت گرفته نشان می دهد که در زمینه تهیه هیدروگراف واحد با استفاده از ویژگی های مختلف فیزیوگرافی در حوزه های آبخیز خصوصاً در داخل کشور کار زیادی صورت نگرفته حال آن که دست یابی به هیدروگراف های مزبور با استفاده ویژگی های زودیافت فیزیوگرافی از لحاظ مدیریتی بسیار ارزش مند می باشد. از این رو، این تحقیق با هدف دست یابی به مدل یا مدل های مناسب برای تعیین اجزای مختلف هیدروگراف واحد با استفاده از ویژگی های فیزیوگرافی حوزه های آبخیز شمال کشور به واسطه امکان دست رسی به اطلاعات پایه و نیز وجود مطالعات زمینه ای لازم انجام پذیرفت. فرضّیه مورد نظر در این بررسی را می توان در امکان پیش بینی تعیین رفتار هیدرولوژیکی حوزه آبخیز با استفاده از ویژگی های فیزیوگرافی آن بیان نمود.

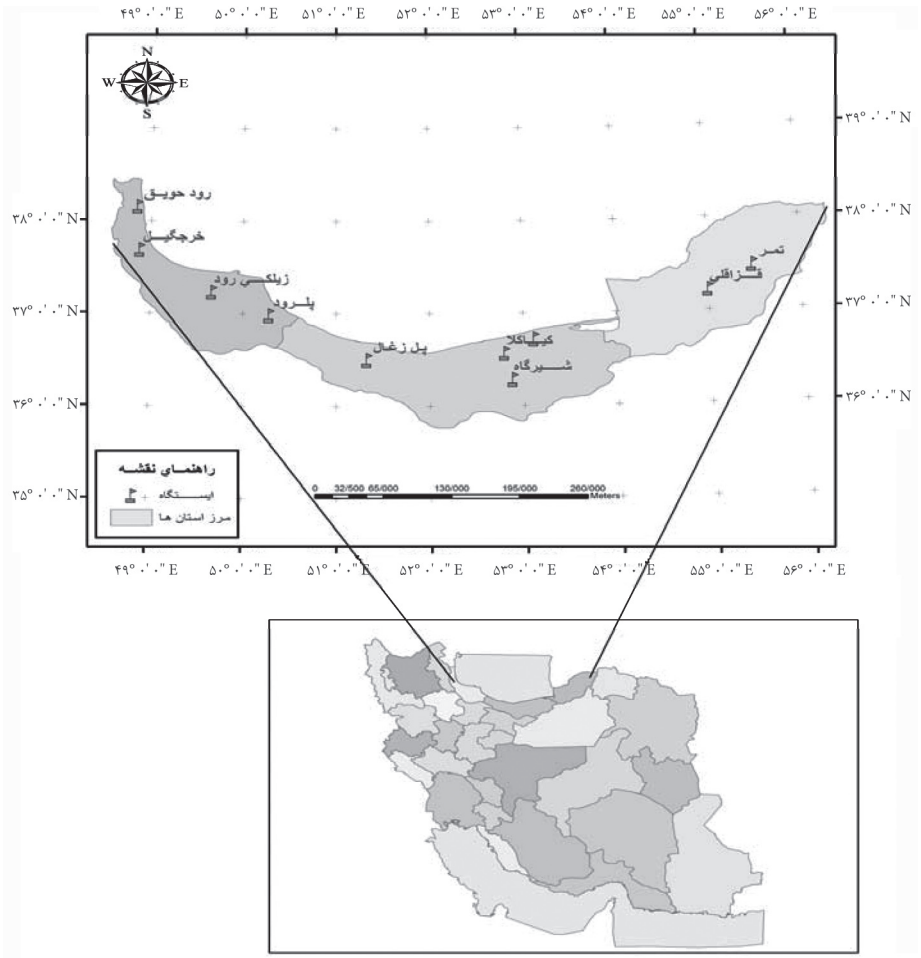
مواد و روش ها

منطقهٔ مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه به عنوان جزئی از حوزهٔ آبخیز بزرگ دریای خزر می باشد که دارای کشیدگی شرقی-غربی بوده و در بین طول های۴۴ تا ۵۹ درجه شرقی و عرض های بین ۳۵ تا تقریباً ۴۰ درجه شمالی قرار گرفته است. مساحت آن ۱۷۷۰۰۰ کیلومترمربع است که از این مقدار ۱۳۲۵۰۰ کیلومترمربع در ارتفاعات و ۴۴۵۰۰ کیلومترمربع در دشت ها گسترده شده است. حوزهٔ آبخیز بزرگ دریای خزر در شمال کشور واقع شده است و استان های مازندران و گیلان را به طور کامل و قسمت های عمده ای از استان های گلستان، آذربایجان شرقی و زنجان و هم چنین بخش هایی از استان های خراسان، کردستان، آذربایجان غربی را در بر می گیرد. ارتفاع متوسط حوزهٔ آبخیز در حدود ۱۰۵۰ متر از سطح آزاد آب ها بوده و ۱۰/۹ درصد از وسعت ایران را شامل می شود. محیط این حوزه آبخیز ۴۴۲۵ کیلومتر، طول کلی آبراهه های اصلی آن ۸۲۰۰ کیلومتر و ضریب گراولیوس منطقه ۲/۹۴ است. حوزه آبخیز دریای مازندران از رطوبت نسبی بالایی برخوردار و میزان نزولات جوّی سالانه آن ۴۳۷ میلی متر و از شرق به غرب کاملا متفاوت است. شکل ۱ سیمای کلی منطقه مورد تحقیق را نشان می دهد.

اطلاعات مورد نیاز برای انجام این تحقیق شامل ویژگی های فیزیکی حوزه آبخیز، هیدروگراف و هایتوگراف مربوط به هر رگبار بود. هیدروگراف و هایتوگراف لازم با مراجعه به سازمان های هواشناسی کشور و تماب و هم چنین اداره های آب منطقه ای استان های گیلان، مازندران و گلستان و پارامترهای فیزیکی حوزه های آبخیز با استفاده از نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه و اطلاعات موجود (۱۰) تهیه شد. با مراجعه به اداره های متولی و اطلس منابع آب ایران، تعداد ۸۱ ایستگاه هیدرومتری در منطقه شناسایی شد که با بررسی های صورت گرفته از قبیل موجودیت آمار بارش و روان آب، فعال بودن فعلی ایستگاه، پراکنش مناسب در منطقه، هم زمانی مناسب آمار ثبت شده بارش و روان آب و هم زمانی داده های ایستگاه های مختلف، نهایتاً ۱۰ ایستگاه هیدرومتری شامل ایستگاه های تمر و قزاقلی در استان گلستان، کردخیل، تالار شیرگاه، کیاکلا و پل زغال در استان مازندران و ایستگاه های پلرود، خرجگیل، رود حویق و زیلکی رود در استان گیلان به صورت پراکنش یافته در شکل ۱ انتخاب و هیدروگراف های این ایستگاه ها مورد بررسی قرار گرفت.

Archive of SID



شکل۱-موقعیت کلی منطقه تحقیق و ایستگاه های هیدرومتری انتخابی در استان های گیلان، مازندران و گلستان

روش کار

برای انجام تحقیق، در ابتدا کلیه آمار و اطلاعات ایستگاه های انتخابی از مراکز متولی و ذیربط جمع آوری و در نهایت با توجه به دقت تهیه آنها، جزئیات مورد نظر و هم چنین هم زمانی با بارش به وقوع پیوسته، حداکثر تعداد ممکن هیدروگراف و هایتوگراف مشخص گردید. در مرحله بعد، به منظور اطمینان از وابستگی هیدروگراف به رگبار انتخابی از داده های با هیدروگراف منفرد و نسبتاً زنگوله ای شکل به سبب سادگی و امکان تحلیل ساده تر استفاده گردید. پس از طی این مراحل، تعداد ۴۴ واقعه سیل و هایتوگراف و هیدروگراف مربوطه، برای آغاز این تحقیق به دست آمد. در مرحله بعد، دبی پایه هیدروگراف ها با استفاده از روش های خط مستقیم، خط شیب رو به بالا، خط شیب رو به پایین و نقاط شکستگی روی شاخه خشکیدگی (۲۴) جدا و سپس حجم رواناب مستقیم محاسبه گردید و از تقسیم حجم رواناب مستقیم به سطح حوزه آبخیز ارتفاع متوسط روان آب مشخص و نهایتاً هیدروگراف واحد مرتبط از تقسیم دبی هیدروگراف مستقیم به ارتفاع متوسط روان آب به دست آمد (۹). برای تعیین هایتوگراف مربوط به بارش مازاد نیز از شاخص فی استفاده شد. مدّت زمان مناسب بارش موثر رگبارهای مورد مطالعه به منظور امکان مدل سازی لازم نیز بر اساس دامنه تغییر آنها در رگبارهای مورد بررسی و غالبیت توزیع آن ها و هم چنین لحاظ نسبت مناسب حدود ۰/۲ تا ۰/۳ از زمان تاخیر (۲۵) انتخاب گردید. متغیرهای تعیین کننده مهم شکل کلیه هیدروگرا های به دست آمده شامل دبی اوج، زمان پایه، عرض های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، زمان تا اوج، زمان پایه، دبی در نقطه عطف و زمان تا خشکیدگی (۲۶) انتخاب و برای ارزیابی آنها در خصوص شکل هیدروگراف واحد استفاده گردید. به منظور تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته، از تحلیل ارتباط رگرسیونی دو و چند متغیره به ترتیب برای دست یابی به ارزیابی سریع متغیرهای مورد نظر و هم چنین مشارکت عوامل مهم کنترل کننده مولفه های هیدروگراف واحد استفاده گردید. کلیه تجزیه و تحلیل های آماری با استفاده از نرم افزارSPSS نسخه ۱۲ (۱) استفاده شد.

در مرحله بعد، به منظور تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته، از رگرسیون دو و چند متغیره استفاده گردید. در رگرسیون دو متغیره، ارتباط بین هر یک از نه متغیر وابسته ویژگی های هیدروگراف واحد با هشت متغیر مستقل ویژگی های فیزیوگرافی حوزه آبخیز به شکل دوتایی و در

حالت های خطی، لگاریتمی، معکوس، درجه دو، درجه سه، ترکیبی، توانی، حالت S، منحنی رشد و نمایی بررسی شد (۶). هم چنین به منظور تعیین ارتباط مجموعه ای از متغیرهای مستقل با هر یک از متغیرهای وابسته، از رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شد. در همین راستا و به منظور انجام تحلیل رگرسیون، پیش شرط های پیشنهادی شامل آزمون نرمال بودن داده های مستقل و وابسته، همگنی واریانس خطاها، عدم خود هم بستگی بین خطاها، نرمال بودن خطاها و تحلیل نقاط پرت به ترتیب با استفاده از آزمون کلموگروف- اسمیرونف، رسم نمودار مقادیر خطای استاندارد شده در مقابل مقادیر پیش بینی استاندارد شده، آماره دوربین- واتسون، آزمون کلموگروف- اسمیرونف و آماره تشخیص انجام گرفت (۶ ، ۸).

به منظور تعیین مناطق همگن برای ایستگاه های مورد بررسی و نیز کاهش تعداد متغیرهای مستقل به ترتیب از تجزیه و تحلیل خوشه ای و عاملی استفاده گردید (۶ ،۱۰). سپس روش های معمول انجام آزمون رگرسیون چند متغیره شامل گام به گام و پس رو به دلیل نتایج بهتر در تحقیقات پیشین (۶) مورد استفاده قرار گرفت و به این ترتیب برای هر متغیر وابسته یک، دو یا چند رابطه به دست آمد. از میان روابط به دست آمده، با توجه به درجه آزادی n-۲ مدل های با ضریب تبیین مساوی یا بزرگ تر از ۰/۴۱ و ۰/۳ به ترتیب در سطح معنی داری احتمال ۱ و ۵ درصد (۹) انتخاب و سرانجام مدل های با ضریب تبیین تعدیل شده بالاتر به عنوان مدل های برتر در این مرحله برگزیده شدند. سپس انتخاب نهایی مدل ها با استفاده از سه معیار خطای نسبی[۷]، مجذور میانگین مربعات خطا[۸] و ضریب کارآیی[۹] (۶ ، ۸) بر اساس روابط۱ تا ۳ صورت گرفت:

$$RE = 100\left|\frac{Q_o - Q_e}{Q_o}\right| \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n}^{i=1}(Q_o - Q_e)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$C_E = \frac{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}\left(Q_0 - Q_o^-\right)^2 - \frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_o - Q_o)^2}{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}\left(Q_o - Q_o^-\right)} \quad (۳)$$

که در آن ها RE خطای نسبی، RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، C_E ضریب کارآیی، Q_o مقدار مشاهده ای متغیر، Q_e میانگین مقادیر مشاهده ای متغیر، مقدار تخمینی متغیر و n تعداد مشاهدات می باشد. اعتبار نهایی مدل به دست آمده با توجه به مقادیر قابل قبول خطای تخمین و تایید کم تر از ۴۰ درصد (۱۴)، مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا کوچک تر و ضریب کارآیی بیش از ۶۰ درصد و نزدیک به یک (۸) استفاده گردید. هم چنین برای تایید مدل ها از روش کیفی، علاوه بر روش کمی، استفاده شد. در این روش، وضعیت عمومی و ظاهری هیدروگراف های واحد مشاهده ای و تخمینی با یک دیگر مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفت (۶). از مجموع ۴۴ سری داده جمع آوری شده، به ترتیب ۳۴ و ۱۰ مورد از آنها برای مراحل واسنجی و تائید مدل های نهایی استفاده شد.

نتایج

به منظور رسیدن به مدل های مناسب برای تهیه هیدروگراف واحد با استفاده از ویژگی های فیزیکی در حوزه های آبخیز استان های گیلان، مازندران و گلستان، ارتباط بین متغیرهای مستقل (ویژگی های فیزیکی) و وابسته (اجزا هیدروگراف واحد) به شکل های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بررسی زمان موثر هیدروگراف های واحد مشاهده ای دلالت بر دامنه تغییر آنها از ۱ تا ۶/۵ ساعت و غلبه مدت بارش موثر حدود ۲ ساعت داشته و لذا کلیه هیدروگراف های حاصل به زمان مورد نظر با استفاده از روش تجمیع و یا منحنی S (۹ ، ۲۵) تبدیل و برای مدل سازی استفاده شد. سپس از میان روابط به دست آمده برای هر متغیر وابسته، با توجه به ضریب همبستگی، خطای نسبی تخمین و تایید، مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب کارآیی، مدل های نهایی برای منطقه شمال کشور به شرح ارائه شده در جدول ۱ انتخاب شدند.

همان طور که در روش انجام تحقیق آمده است، قبل از اقدام به آزمون رگرسیون خطی چند متغیره، روش تجزیه و تحلیل های خوشه ای و عاملی روی متغیرهای مستقل، به منظور تهیه مناطق همگن احتمالی و کاهش تعداد آن ها اجرا گردید. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل خوشه ای، عدم امکان همگن بندی هیدرولوژیک را تایید نمود. محدودیت تعداد ایستگاه های مورد تحقیق و واقع شدن بعضاً تنها یک ایستگاه در یک طبقه همگن امکان استفاده از تحلیل خوشه ای را سلب نمود. عدم امکان همگن بندی هیدرولوژیک به ظن قوی به دلیل بزرگی بیش از حد منطقه مورد مطالعه و تفاوت در مقادیر قابل ملاحظه متغیرهای محاسباتی و یا وجود خطاهای انسانی بوده است. لذا کلیه ایستگاه های مورد مطالعه در قالب یک منطقه مورد تحقیق و برای ارزیابی های بعدی استفاده شد. اجرای تجزیه و تحلیل عامل اصلی نیز منجر به ایجاد چهار محور شد که از هرکدام یک متغیر با بیش ترین ضریب همبستگی و شامل محیط حوزه آبخیز، شیب متوسط حوزه آبخیز، طول آبراهه اصلی و ارتفاع متوسط وزنی حوزه آبخیز به عنوان نماینده آن محور انتخاب شد. نتایج حاصل از انجام روش تجزیه و تحلیل عاملی نشان داد که در اغلب موارد سطح معنی داری آزمون بیش از ۵ درصد بوده است. استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره به دو روش گام به گام و پس رو نیز بیان گر برتری روش رگرسیون پس رو در تخمین متغیرهای مورد بررسی به صورت ارائه شده در جدول ۱ بوده است. دلیل این امر را می توان به روی کرد مورد نظر در تهیه رگرسیون و ورود ابتدایی کلیه متغیرها و سپس حذف تدریجی عوامل با درجه تاثیر کم تر نسبت داد.

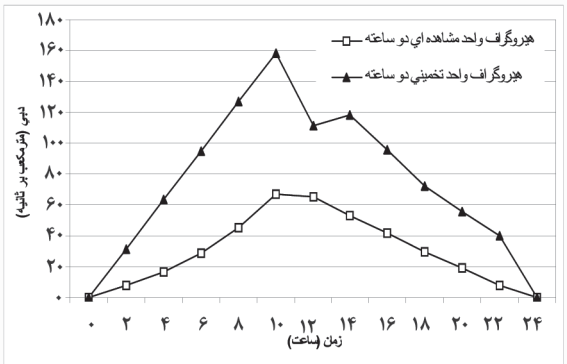
با محاسبه مقدار ضریب رگرسیون استاندارد در روابط چند متغیره خطی مشخص گردید که تاثیر پارامتر محیط حوزه آبخیز در این روابط بیش از سایر عوامل است. هم چنین نتایج به دست آمده از محاسبه ضریب کارآیی مدل های نهایی به دست آمده در مرحله تایید دست یابی به مقادیر حداقل و حداکثر به ترتیب ۰/۰۴۳و حداکثر ۰/۹۰۱ به ترتیب برای وقایع مورخ ۷۵/۱/۲۵ و ۶۲/۷/۱۶ در ایستگاه های زیلکی رود و کردخیل و مقدار میانگین ۰/۳۲ ± ۰/۵۲ را تأئید نموده است. ارزیابی کیفی نیز با روی هم

Archive of SID

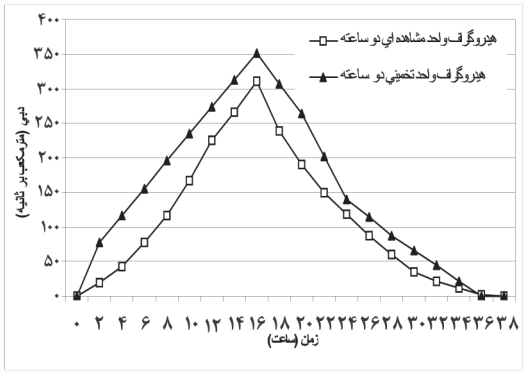
جدول ۱-مدل های رگرسیونی نهایی برای تخمین مولفه های هیدروگراف واحد دو ساعته گلستان

شماره رابطه	متغیّر وابسته	مدل	ضریب تبیین تعدیل شده	مرحله تخمین		مرحله تائید	
				درصد خطا	مجموع میانکین مربع خطا	درصد خطا	مجموع میانکین مربع خطا
۴	دبی اوج	$Q_P = ۲/۲۰۵P - ۰/۱۶۵E_W - ۲/۹۱۲S_W - ۲/۶S_۱$	۰/۹۳۱**	۳۱/۵۸	۰/۱۶۷	۱۴/۶۵	۰/۱۶۰
۵	زمان تا اوج	$\sqrt{T_p} = ۲/۴۵ + \frac{۱۴/۸۶}{S_w}$	۰/۲۵۱*	۴۷/۴۵	۰/۱۹۰	۱۳/۱۳	۰/۰۵۹
۶	دبی عرض ٪۲۵	$W_{۲۵۰/۰} = ۰/۵۵۱P - ۰/۰۴۱E_W - ۰/۷۲۸S_W - ۰/۶۵۱S_۱$	۰/۹۳۱**	۳۱/۸۵	۰/۱۹۸	۱۴/۶۳	۰/۱۷۰
۷	دبی عرض ٪۵۰	$W_{۵۰/۰} = ۱/۱۰۳P - ۰/۰۸۲E_W - ۱/۴۶S_W - ۱/۰۳۱S_۱$	۰/۹۳۲**	۳۰/۵۹	۰/۰۳۶	۱۲/۸۵	۰/۰۳۷
۸	دبی عرض ٪۷۵	$W_{۷۵۰/۰} = ۱/۶۵P - ۰/۱۲۴E_W - ۲/۱۸۴S_W - ۱/۹۵S_۱$	۰/۹۳۱**	۳۱/۴۸	۰/۱۶۰	۱۴/۸	۰/۱۵۰
۹	زمان پایه	$T_b = ۱۵/۷۶ + \frac{۱۹۸/۴}{S_w}$	۰/۳۶۶*	۱۰/۳۷	۰/۰۸۹	۱۳/۷۴	۰/۰۶۹
۱۰	دبی نقطه عطف	$Q_f = ۱/۶۱P$	۰/۷۶۵**	۹۶/۳۸	۰/۶۰۰	۱۳/۹۲	۰/۱۱۰
۱۱	زمان تا شاخه خشکیدگی	$\sqrt{T_d} = ۳/۱۵ + \frac{۱۲/۴}{S_w}$	۰/۳۰۰*	۲۲/۸۸	۰/۰۳۹	۴۰/۹۷	۰/۳۵۰

انداختن هیدروگراف های مشاهده ای و تخمینی و مقایسه چشمی انجام و نتایج این بخش نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. متذکر می شود که شکل مذکور در برگیرنده هیدروگراف های بازسازی شده در مرحله تایید بوده و عمل کرد بررسی عمومی مدل های تهیه شده در شبیه سازی هیدروگراف های مشاهده ای در مرحله واسنجی به مراتب بهتر بوده است.

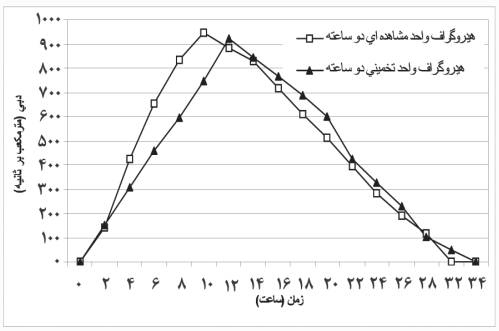


رگبار مورخ ۱۳۷۵/۱/۲۵ ایستگاه زیلکی رود، گیلان

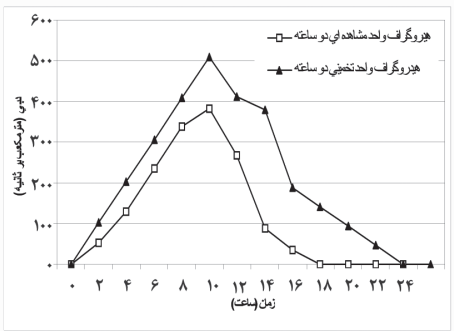


رگبار مورخ ۱۳۷۶/۷/۶ ایستگاه قزانقلی، گلستان

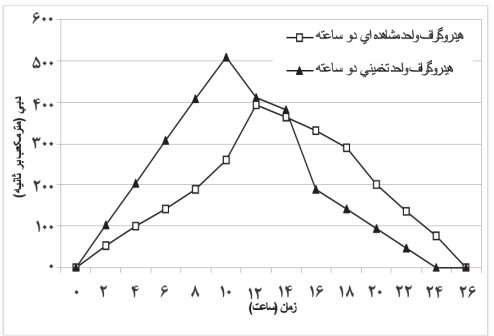
شکل۱-هیدروگراف مشاهده ای و تخمینی رگبارهای مرحله تایید



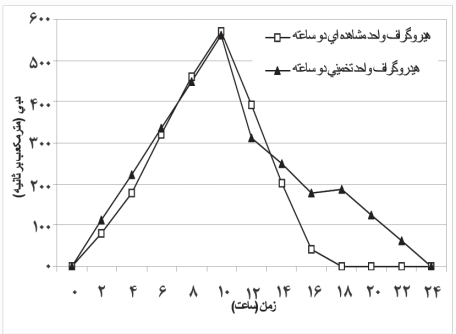
رگبار مورخ ۱۳۶۲/۷/۱۶ ایستگاه کردخیل، مازندران



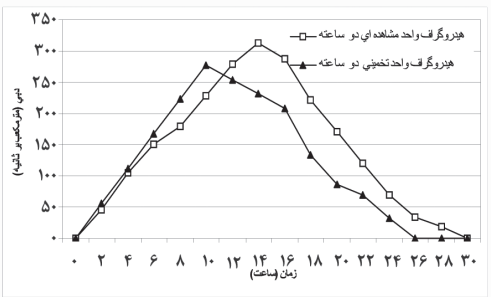
رگبار مورخ ۱۳۷۶/۱۲/۲۷ ایستگاه تالار، مازندران



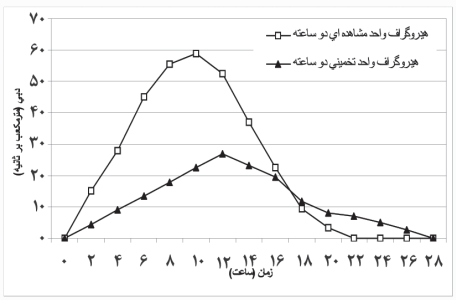
رگبار مورخ ۱۳۷۶/۶/۲۳ ایستگاه تالار، مازندران



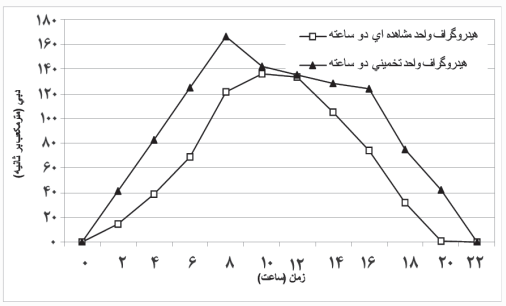
رگبار مورخ ۱۳۷۵/۱۱/۱۷ ایستگاه کیاکلا، مازندران



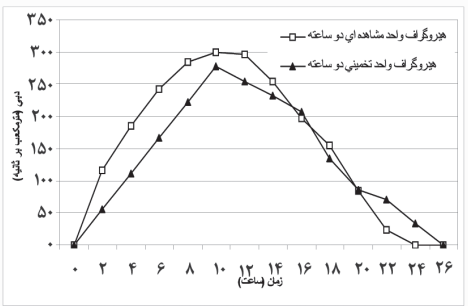
رگبار مورخ ۱۳۷۷/۴/۹ ایستگاه پل‌رود، گیلان



رگبار مورخ ۱۳۷۱/۶/۲۴ ایستگاه رود حویق، گیلان



رگبار مورخ ۱۳۷۴/۱۱/۱۲ ایستگاه خرجگیل، گیلان



رگبار مورخ ۱۳۷۵/۷/۷ ایستگاه پل‌رود، گیلان

www.SID.ir

بحث و نتیجه گیری

نتایـج به دسـت آمده از تحلیل رگرسـیون دو و چند متغیره نشـان می دهد که عمل کرد مدل های دو متغیره به رغم استفاده از متغیر یگانه در تخمین متغیرهای وابسـته هیدروگراف واحد بـا ضریب تبیین حداقل ۰/۲۳۱ در سطح اعتماد ۹۹ درصد، خطای تخمین حداکثر ۳۷۴/۶ درصد و مجموع میانگین مربعات خطای حداکثر ۳/۷۴ در مقایسه با رگرسیون های چنـد متغیره بسـیار بالاتر بوده که بـا تاکیدات صادقـی و همکاران (۶) در تحلیـل ارتباط مولفه هـای هیدروگراف و باران نـگار در حوزه آبخیز کسـیلیان کامـلاً مطابق می باشـد. علت ایـن امر را می تـوان کم بودن تعـداد متغیرها در رگرسـیون دو متغیره و طبعـاً کاهش ارتباطات درونی متغیرها با یک دیگر و یا دامنه تغییر متغیر مورد نظر دانسـت. هم چنین در راسـتای تاکیـدات وفاخـواه (۱۰) و صادقی و همـکاران (۶)، توانایی مدل های رگرسـیون چند متغیره با شـیوه پس رو در تحلیل رگرسـیون چنـد متغیره نیز مورد تایید قـرار گرفت. علاوه بر یافته های فوق، ارتباط غیرخطـی و نیـز خطای تایید کـم تر مدل های تغییر شـکل یافته اغلب روابـط دو و چنـد متغیره در تبییـن ویژگی های هیدروگـراف واحد دو سـاعته مورد تایید قرار گرفت که با نظرات Singh (۲۴) مبنی بر ارتباط غیرخطی اغلب متغیرهـای هیدرولوژیک و هم چنین Melching (۲۲) مبنـی بـر درصد خطـای تخمین و تاییـد کم تر مدل های تغییر شـکل یافته هم خوانی دارد. به طور کلی نتایج رضایت بخش به دسـت آمده در ارتباط با امکان شـبیه سـازی هیدروگراف واحد با اسـتفاده از متغیرهای فیزیوگرافی حوزه آبخیز با یافته های بسـیاری از تحقیقات گذشته (برای مثال Gupta و همکاران؛ Kalina و همکاران) (۲۰،۱۷) هم سـو اسـت اگرچه نتایج به دسـت آمده از لحـاظ متغیرهای برآورد کننده مولفه های مختلف هیدروگراف واحد متفاوت می باشـد.

یافتـه هـای تحقیق حاضر مبنی بر نقش معنـی داری محیط و طول شـیب حـوزه آبخیز در کنترل دبـی اوج هیدروگراف واحد بـا یافته های Synder (۲۶)؛ Hickok (۱۸)، Gray (۱۶)، Gupta (۱۷)، Fleurrant و Duchesen (۱۵) مبنـی بر تبعیـت مولفه های مختلف هیدروگراف واحد لحظه ای از شـیب کانال اصلی، طول، مسـاحت، شکل و تراکم زهکشـی و پهنای حوزه آبخیز در کشـورهای امریکا، هلند و هند مطابقت ندارد. نتایج تحقیقات انجام شـده در برخی از نقاط کشـور مثل دینداراهسو (۳) نیز بر عدم توانایی مدل اشنایدر در بازسازی هیدروگراف واحـد و طبعاً عدم کارآیـی متغیرهای مورد نظـر در روش مذکور (طول آبراهـه اصلی، طول آبراهه اصلی از نقطه خروجی حوزه آبخیز تا نقطه ای در مقابل مرکز ثقل حوزه آبخیز و مسـاحت حوزه آبخیز) در شـبیه سازی هیدروگراف واحد دلالت دارد. یافته های تحقیق فعلی به دلیل دست یابی به متغیرهای برآورد کننده متفاوت با پارامترهای مورد اسـتفاده در روش Synder بـا آن موافـق نبوده حال آن که با یافتـه های Roddriguez Iturbo - و Valdes (۲۳)؛ Jena و Tiwari (۱۹)؛ Littlewood و همکاران (۲۱) در خارج از کشور و هم چنین عبدالهی (۷) در ایران مبنی بر توانایی روش های ژئومورفولوژیک مبتنی بر سـایر ویژگی های فیزیکی و تأکیدات به عمل آمده در خصوص کنترل نسبی مولفه های هیدروگراف واحد توسـط متغیرهای به دست آمده طی تحقیق حاضر به انضمام برخی دیگر از متغیّرهای فیزیوگرافی هم خوانی دارد. از طرفی به اسـتناد تحلیل به عمل آمده با اسـتفاده از ضرایب رگرسـیون اسـتاندارد شده مرتبط با عوامـل موثـر فیزیوگرافی حوزه آبخیـز در روابط چند متغیـره می توان اسـتنباط نمود که عامل محیط حوزه آبخیـز تقریباً نیمی از نقش کنترل کنندگـی کلیـه متغیّرهای دبی اوج (رابطـه ۴)، دبی در عرض ۲۵ درصد (رابطه ۶)، ۵۰ درصد رابطه ۷ و ۷۵ درصد رابطه ۸ را عهده دار است. طول آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط و شیب متوسط حوزه آبخیز به ترتیب عوامل کنتـرل کننده بعدی متغیرهای مذکور می باشـند. هم چنین با توجه به نتایج مربوط به رگرسـیون های دو متغیره برتر در جدول مذکور می توان اسـتنباط نمود که عوامل زمانی هیدروگراف واحد دو سـاعته حوزه های آبخیز مورد مطالعه مشـخصاً تابع شیب متوسط حوزه آبخیز بوده حال آن که دبی در نقطه عطف هم چنان توسـط عامـل محیط حوزه آبخیز تحت کنترل می باشـد.

مقایسـه کیفی هیدروگراف های واحد مشـاهده ای و تخمینی دلالت بـر تطابق عمومی شـکل آن ها با یک دیگر داشـته و حداکثر اختلاف ها در زمـان هـای وقوع اوج هیدروگـراف ها و پایه به ترتیب ۲ و ۶ سـاعت می باشـد. هم چنین دقت در هیدروگراف های ارائه شده و نتایج ارزیابی کارآیی مدل ها نشـان می دهد که کارآیی مدل های به دسـت آمده در بازسـازی سیل های بزرگ از دقت بیش تری نسبت به سیل های کوچک (رگبارهای مورخ ۱۳۷۵/۱۱/۲۵، ۱۳۷۶/۱۲/۲۷ و ۱۳۷۱/۶/۲۴) برخوردار اسـت. این یافتـه ضمن عدم تطابق با ایده آمانـدا و همکاران (۱۲) مبنی بر تاثیرگـذاری بیش تر عوامل ژئومورفولوژی بر سـیلاب های کوچک بر اهمیـت بیش تر متغیرهـای غیرفیزیوگرافی (پوشـش گیاهی و مدیریت اراضی) بر کنترل این گونه سـیل ها تاکید دارد.

جمع بندی

تحقیق حاضر با هدف بررسی ارتباط متغیرهای هیدروگراف واحد و ویژگی های فیزیوگرافی ناحیه شمال کشـور و خصوصاً استان های گیلان، مازندران و گلستان به منظور امکان سـنجی بازسازی هیدروگراف های واحد با استفاده از ویژگی های زودیافـت فیزیوگرافی و طبعاً ارزیابی سـیلاب در منطقهٔ مذکـور با موفقیت انجام پذیرفت. ارزیابی نتایج به دست آمده دلالت بر پذیرش فرضیه متصور برای تحقیق مبنی بر امکان پیش بینی رفتار هیدرولوژیک حوزه آبخیز با استفاده از ویژگی های فیزیوگرافی آن دارد. تفاوت در نتایج به دسـت آمده با یافته های محققین پیشین نیز مشـخصاً دلالت بر ضرورت انجام مطالعات منطقه ای و لحاظ متغیرهای کنترل کننده مؤلفه های هیدروگراف سیل در هر منطقه دارد. با استفاده از نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر می توان جمع بندی نمود که به رغم تعداد بسـیار کم وقایع قابل اسـتفاده در تجزیه و تحلیل های هیدرولوژیک به واسـطه پراکندگی داده ها، عدم مدیریت اطلاعاتی و هم چنین پیچیدگی شـرایط حاکم، امکان شـبیه سازی هیدروگراف های واحد دو سـاعته و طبعاً سایر هیدروگراف های سیل برای منطقه شمالی کشور با تاکید بر استان های گیلان، مازندران و گلستان به کمک تنها چهار عامل محیط، ارتفاع متوسـط وزنی، شیب متوسط و طول آبراهه اصلی وجود دارد. اگر چه دسـت یابی به جمع بندی های نهایی و جامع مسـتلزم تداوم تحقیقات در این زمینه و با استفاده از بانک های اطلاعاتی کامل و گسترده می باشد.

پاورقی‌ها

1- Empirical Models

Archive of SID

2- Synthetic Hydrograph
3-Simulation Methods
4-Instantaneous Maximum Discharge
5-Regional Analysis
6-Flood Index
7-Relative Error
8-Root Mean Square Error
9-Coefficient of Efficiency

منابع مورد استفاده

۱- اسماعیلیان، م. (۱۳۸۴) کتاب آموزشی SPSS۱۲، چاپ اول، انتشارات ناقوس، ۵۹۹ ص.

۲- افشار، ع. (۱۳۶۹) هیدرولوژی مهندسی، مرکز نشر دانشگاهی، ۴۵۹ص.

۳- دیندارهاسو، ا. (۱۳۷۹) واسنجی هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی حوزه آبخیز لیقوان، دانشگاه تربیت مدرس، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۷۵ص.

۴- رحیمیان، ر. (۱۳۷۴) بررسی مدل های مختلف هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژیکی و کاربرد آن ها جهت سنتز هیدروگراف در حوزه های آبخیز فاقد آمار، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه شیراز، ۱۰۱ص.

۵- شامحمدی حیدری، ز. و بهنیا، ع.ک. (۱۳۸۴) تعیین مدل منطقه ای برآورد سیلاب حداکثر در حوزه های فاقد آمار شرق و جنوب شرق جلگهٔ خوزستان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۴۹(۵): ۱۰۱-۱۰۷.

۶- 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)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲ (۳): ۸۱-۹۰.

۷- عبداللهی، خ. (۱۳۸۱) مدل سازی رواناب بر اساس ویژگی های ژئومورفولوژیکی برای حوزه آبخیز خانمیرزا با استفاده از GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۷۷ ص.

۸- مزین، م. (۱۳۸۲) بررسی روابط بین اجزای مختلف بارندگی و رواناب در حوزه آبخیز کسیلیان، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۸۱ ص.

۹- مهدوی، م. (۱۳۸۱) هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۷ص.

۱۰- وفاخواه، م. (۱۳۷۹) تجزیه و تحلیل ناحیه ای رسوب در منطقه شمال (مازندران و گرگان)، طرح تحقیقاتی، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس ، ۱۰۰ص.

۱۱- هاشمی، ع، ا. (۱۳۷۶) بررسی رابطه دبی متوسط سیلاب با بعضی از پارامترهای فیزیکی حوزه (مطالعه موردی استان سمنان)، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تهران، ۹۴ص.

12-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.

13-Campolor, M.A. and Solodati, A. (1999) River flood forecasting with a neural network model. *Water Resource Research*, 35:1191-1197.

14-Das, G. (2000) *Hydrology and soil conservation Engineering*, Asoke K. Ghosh, Prentice-Hall of India, 489 p.

15-Fleurrant, C. and Duchesne, J. (2003) Geomorphological unit hydrograph models derive statistical physics and fractal geometry, *European Geophysical Society*, 5:1101-1107.

16-Gray, D.M. (1961) Synthetic unit hydrograph for small watersheds, Journal of Hydraulic Division, *ASCE*, 87(4):33-54.

17-Gupta, V.K., Waymire, E. and Roddriguez-Iturbo, I. (1986) *On scales gravity and network structure in basin runoff*. In: Scale Problems in Hydrology, Gupta, V., Rodriguez-Iturbo, I. and Wood, E. (Eds). Holland, 1986:159-180.

18-Hickok, R.B., Koppel, R.V. and Rafferty, B.R. (1959) Hydrograph synthesis for small arid land watersheds, *Agricultural Engineering*, 40 (10):608-611.

19-Jena, S.K. and Tiwari, K.N. (2006) Modeling synthetic unit hydrograph parameters with geomorphologic parameters of watersheds, *Journal of Hydrology*, 319:1-14.

20-Kalina, L., Govindarajua, R.S. and Hantushb, M.M. (2003) Effect of geomorphology resolution on modeling of runoff hydrograph and sedimentograph over small watershed. *Journal of Hydrology*, 276:89-111.

21-Littlewood, I.G., Clarke, R.T., Collischonn, W. and Croke, B.F.W. (2007) Predicting daily streamflow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments, *Environmental Modelling & Software*, 22(9):1229-1239.

22-Melching, C.S. (1991) Output reliability as guide for selecting of rainfall-runoff models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 117 (3):383-393.

23-Roddriguez- Iturbo, I. and Valdés, J.B. (1979) The geomorphologic structure of hydrologic response, *Water Resources Research*, 15 (6):1409-1420.

24-Singh, V.P. (1992) *Elementary hydrology. Eastern Economy Edition*, New Delhi, India, 973p.

25-Subramanya, K. (2003) *Engineering Hydrology*. TATA McGraw Hill, 392 P.

26-Synder, F.F. (1938) *Synthetic unit-Hydrographs*, Transactions of American Geophysics Union 19: 447-454.

27-Yen, B.C. and Lee, K.T. (1997) Unit hydrograph derivation for ungauged watersheds by stream-order laws, *Journal of Hydrology*, 2(1): 1-9.

Archive of SID