

ارایه مدل برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای در حوضه‌های فاقد آمار مبتنی بر مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی، اشنایدر، SCS و مثلثی مطالعه موردی: حوزه آبخیز کن

علی اصغر محمدی*

دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه آبخیزداری، تهران

حسن احمدی

استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه آبخیزداری، تهران

چکیده

با توجه به اهمیت برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای در حوزه‌های آبخیز جهت مطالعات آبخیزداری، در مقاله حاضر سعی بر این بوده است تا با ایجاد ارتباط بین پارامترهای ثابت (ژئومرفولوژی) و پارامترهای متغییر در زمان (هیدرولوژی) به توان مدل‌هایی را ارایه کرد که با حداقل وابستگی به اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژیکی، برآوردهای هیدرولوژیکی را انجام دهند. لذا با استفاده از مدل‌های برآورد هیدروگراف واحد مصنوعی در حوزه آبخیز کن (رودخانه سولقان) و مقایسه با میزان دبی اوج خروجی بهترین مدل را از میان چهار مدل مورد مطالعه بدست آمد. نتایج حاصل از برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای برای حوزه کن از نظر شاخص‌های میانگین خطای نسبی (RME) و جذر میانگین توان دوم خطا (RMSE) نشان دهنده این است که به ترتیب مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی (با RME برابر با ۱۷.۹۹ و RMSE برابر با ۱۵.۴۶)، اشنایدر (با RME برابر با ۵۹.۶۶ و RMSE برابر با ۲۶.۸۳)، SCS و مثلثی دارای بهترین برآورد بوده‌اند. قابل ذکر است با توجه به تعداد وقایح کم مربوط به دبی حداکثر لحظه‌ای ثبت شده در این حوضه (۱۱ واقعه) نمی‌توان مدل دبی حداکثر لحظه‌ای را بدست آورد. در نهایت با استفاده از عوامل موجود در هر یک از مدل‌های مورد مطالعه با ۸۲ واقعه ثبت شده و سایر پارامترهای موثر مدل دبی حداکثر روزانه بدست آمد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر ارایه مدل منطقه‌ای برآورد دبی حداکثر بوده است که جهت رسیدن به این هدف از عوامل موثر در مدل‌های موجود در این زمینه شامل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی، اشنایدر، SCS، مثلثی و سایر عوامل موثر استفاده شده است.

واژگان کلیدی: دبی، مدل، هیدروگراف، حوزه آبخیز.

مقدمه

با توجه به این که کشور ما از نظر متوسط بارندگی سالانه تقریباً معادل ۲۴۰ میلی‌متر است و این مقدار در حدود کمتر از یک سوم مقدار بارندگی متوسط سالانه در سطح دنیا (۸۶۰ میلی‌متر) است و همچنین از جنبه دیگر این که نزولات جوی از لحاظ زمانی و مکانی با نیازهای کشاورزی، که مصرف کننده عمده آب در کشور است، مطابقت ندارد (علیزاده، ۱۳۷۹)، این نکته را به ذهن متبادر می‌کند که می‌بایست خود را با این واقعیت تلخ بیشتر آشنا کرده و در واقع خود را با آن سازگار نمائیم. یکی از

Email: AliAsgharMohammady@yahoo.com

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۴۱۵۲۸۰۰

راه حل‌های منطقی سازگاری با خشکی، این است که از منابع آب موجود (چه سطحی و چه عمقی) استفاده مفید صورت گیرد و این استفاده بدون شناخت پدیده‌های هیدرولوژی منطقه عملی و میسر نخواهد شد. لذا با تمام اهمیتی که آب در مسایل زیستی و اقتصادی کشور دارد به علت عدم شناخت و یا به عبارت بهتر کاربرد علم هیدرولوژی در سطح کشور هر ساله شاهد سیلاب‌های مهیب در نقاط مختلف کشور و همچنین بعضا خشکسالی‌هایی نیز در بعضی از همان مناطق هستیم. هر چند که در سال‌های اخیر تا اندازه‌ای به مسئله آب و اهمیت آن پرداخته شده است ولی با توجه به کمبود و حتی نبود اطلاعات ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی، نایستی بدون مطالعه و شناخت پدیده‌های ژئومرفولوژی و ویژگی‌های هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز (به عنوان کوچکترین واحد طبیعی هیدرولوژی) اقدام به اجرای طرح‌های آبی و کنترل سیلاب کرد. لذا بررسی حوزه آبخیز با تاکید بر ویژگی‌های ژئومرفولوژی از جمله عواملی هستند که بر چگونگی ویژگی‌های دبی رودخانه اصلی و سرشاخه‌های آن و همچنین تولید رسوب تاثیر می‌گذارند (احمدی، ۱۳۸۵). به این ترتیب در صورتی که منطقه وسایل مورد نیاز جهت برداشت داده‌های مورد نیاز برای استخراج هیدروگراف واحد طبیعی را نداشته باشد، می‌توان از روش‌هایی که متخصصین هیدرولوژیست جهت تعیین هیدروگراف واحد مصنوعی ابداع کرده‌اند و مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشند، استفاده کرد.

شرمن (Sherman, 1932)، با در نظر گرفتن عوامل متعدد موثر در شکل هیدروگراف که در بسیاری از موارد مربوط به ویژگی‌های فیزیکی حوزه مانند مساحت، شکل و شیب بوده و در اغلب موارد نیز ثابت باقی می‌مانند به این نتیجه رسیدند که می‌بایست شکل هیدروگراف برای رگبارهای با ویژگی‌های مشابه یکسان باشد. لذا هیدروگراف واحد را تعریف و ارایه کردند (مهدوی، ۱۳۷۸). یکی از کارشناسان گروه مهندسی ارتش آمریکا بنام اشنایدر در سال ۱۹۳۸ روشی را پیشنهاد کرد که بر طبق آن می‌توان بعضی از مشخصه‌های هیدروگراف واحد را بدست آورد. این روش حاصل تحقیقات انجام گرفته در مورد چندین حوزه آبخیز در ارتفاعات آیلشین در آمریکا می‌باشد (علیزاده، ۱۳۷۹). ماکوس (Mockus, 1957)، با بررسی اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط سرویس حفاظت خاک آمریکا در حوزه‌های مختلف، هیدروگراف بی‌بعد را ارایه کرد. این بررسی‌ها نشان داد چنانچه محورهای هیدروگراف سیل بدست آمده در شرایط مختلف را بی‌بعد کنیم تمامی آن‌ها دارای شکل تقریباً یکسانی خواهند بود (مهدوی، ۱۳۷۸). مساله هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی برای اولین بار در سال ۱۹۷۹ توسط رودریگوئز-ایتورب از دانشگاه کاراس ونزوئلا و موسسه ام-ای-تی آمریکا ارایه شد. اما در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های معنی‌داری در یافته‌های توپوگرافی رواناب ناشی از ارتقاء مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی (GIUH) صورت گرفته است. به طوری که در دو دهه گذشته استفاده از ویژگی‌های ژئومرفولوژی حوزه آبخیز در شبیه سازی‌های رواناب توجه بسیاری از هیدرولوژیست‌ها را به خود جلب کرده است (به عنوان مثال Gupta و همکاران ۱۹۸۰، Rodrigues-Iturb و همکاران ۱۹۸۲، Bars & Krishen، ۱۹۸۳، Dooge & Chutha، ۱۹۹۰، Lee و همکاران ۱۹۹۷، Maidment & Olivera، ۱۹۹۹، Berod و همکاران ۱۹۹۹) (Lee & Chin-Hsin Chang, K wan Tun Lee) (۲۰۰۵). کارونن و همکاران (Karonen & etal, 1998) به این طریق عنوان کرده‌اند، ایده اولیه‌ای که از آن هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH)^۲ بدست آمده است، از قانون هورتن در مورد ترکیب و ساخت حوضه بوده که توصیف کننده مهندسی شبکه آبره‌ها می‌باشد، و نتایج حاصل از پاسخ ژئومرفولوژی، به نام هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی خوانده می‌شود. رحیمیان و زارع (۱۳۷۴)، در حوضه پس کوهک شیراز در مقایسه نتایج حاصل از هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی با

¹ - Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph

² - Instantaneous Unit Hydrograph

روش‌های SCS^۳، اشنایدر و مثلثی به این نتیجه رسید که هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی دارای انطباق بیشتری با هیدروگراف مشاهده‌ای است. غیائی (۱۳۸۳)، با استفاده از روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی و ژئومرفوکلیماتولوژی ۶ مورد هیدروگراف برای حوزه‌های آبخیز کسلیان و ليقوان تهیه و با هیدروگراف‌های SCS، اشنایدر، مثلثی و هیدروگراف‌های مشاهده‌ای مقایسه کرده است و به این نتیجه رسیده که از لحاظ برآورد دبی تا اوج هیدروگراف‌های روش‌های GIUH، GIUH نوع گاما، مثلثی و SCS، از نظر برآورد حجم سیلاب روش‌های اشنایدر، SCS، مثلثی، GIUH نوع گاما و GIUH و در نهایت از لحاظ برآورد زمان تا اوج سیلاب روش‌های اشنایدر، SCS، مثلثی، GIUH نوع گاما و GIUH به ترتیب اولویت برای حوزه آبخیز ليقوان پیشنهاد می‌گردد. منتظری و همکاران (۱۳۸۳)، در تحقیقی که تحت عنوان تعیین هیدروگراف واحد لحظه‌ای با استفاده از روش کلارک و تکنیک‌های GIS در حوزه آبخیز سد کارده انجام داده‌اند به این نتیجه رسیدند که با استفاده از امکانات GIS جهت استخراج پارامترهای مورد نیاز برای هیدروگراف مصنوعی کلارک و مقایسه با هیدروگراف مشاهده‌ای در خروجی حوضه، تطابق خوبی بین هیدروگراف داده‌های مشاهده‌ای و واحد مصنوعی کلارک وجود داشته است. کی وان تون لی و چین-اچ سین چانگ (K wan Tun Lee & Chin-Hsinchang, 2005) در مطالعه‌ای تحت عنوان ترکیب مکانیسم جریان زیرسطحی با ژئومرفولوژی بر پایه مدل‌سازی هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH) در حوزه آبخیز Heng-chi در شمال تایوان (با چهار رتبه آبراهه ای و به وسعت ۵۳ کیلومترمربع) به بررسی و کارایی مدل پیشنهادی پرداخته است و به این نتیجه رسیدند، در زمانی که رواناب به صورت مقدماتی در قسمتهای پائین حوزه آبخیز در نزدیکی مناطق مسکونی اتفاق می‌افتد مدل بارش روانابی که تنها رواناب سطحی را در نظر می‌گیرد، ناکافی است و نشان دادند که با اصلاح GIUH می‌توان به نتایج بهتری دست یافت. IUH جریان سطحی در این مطالعه می‌تواند به صورت نسبی نشان‌دهنده اختلاف در شرایط زبری سطحی و IUH جریان زیر سطحی می‌تواند نشان دهنده اختلاف در شرایط خاک باشد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر ارایه مدل منطقه‌ای برآورد دبی حداکثر بوده است که جهت رسیدن به این هدف از عوامل موثر در مدل‌های موجود در این زمینه شامل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی، اشنایدر، SCS، مثلثی و سایر عوامل موثر استفاده شده است.

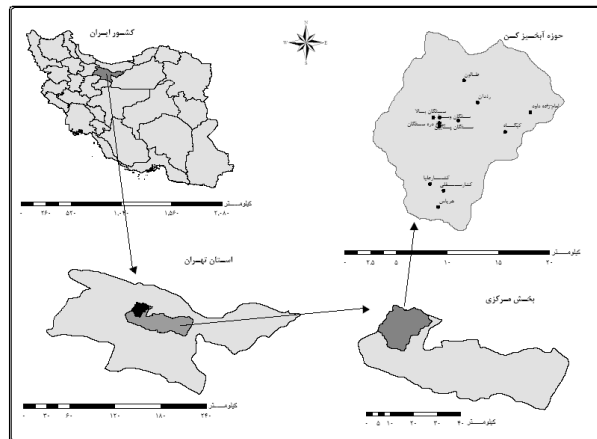
مواد و روش‌ها

– ویژگی‌های منطقه تحقیق

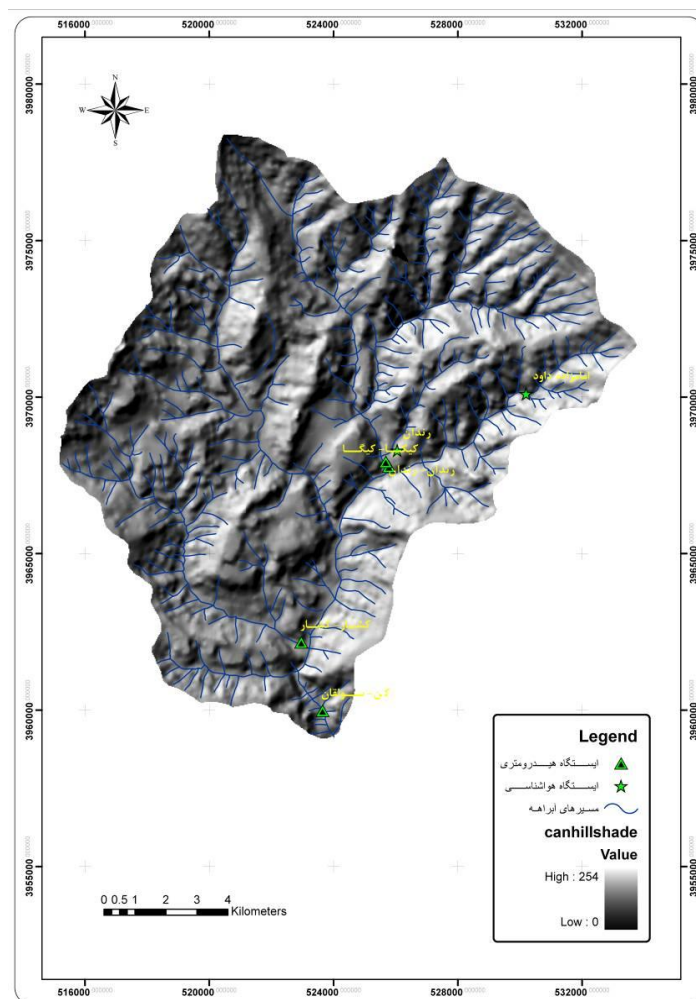
این حوضه دارای مساحت ۲۰۴۷۸/۸۵ هکتار در دامنه‌های جنوبی توچال رشته کوه البرز و در موقعیت جغرافیائی ۳۵ ۵۸ تا ۳۵ ۴۶ عرض جغرافیائی و ۵۱ ۲۳ تا ۵۱ ۱۰ طول جغرافیائی واقع شده است. حوزه آبخیز کن از جنوب به شهر تهران از شرق به حوضه درکه از شمال به حوضه جاجرود و از غرب به حوضه رودخانه کرج ارتباط دارد. رودخانه‌های حوضه از مناطق مرتفع سرچشمه گرفته و به همین دلیل از شیب بالائی برخوردار هستند. مهمترین آبراهه حوضه رود کن می‌باشد که از ارتفاعات مشرف با امامزاده داوود سرچشمه گرفته و تا خروجی حوضه (مناطق مسکونی کن) ادامه دارد. از دیگر آبراهه‌های مهم حوضه می‌توان به لالون، تالون و کشار اشاره کرد. تنها مسیر ارتباطی آسفالتی حوضه جاده تهران- امامزاده داوود است که تمام طول آن از کنار دره رودخانه کن می‌گذرد و مسیرهای فرعی عمدتاً خاکی ماشین رو است. حداقل ارتفاع حوضه ۱۳۹۴/۸۲ متر در خروجی حوضه و حداکثر ارتفاع حوضه ۳۸۰۰/۱۹ متر می‌باشد. از مناطق مسکونی واقع در این حوضه شامل: طالون، رندان، امامزاده داوود، سنگان بالا، باغ دره سنگان، امامزاده عقیل، سنگان وسط،

³ - Soil Conservation Service

سنگان پائین، کیگا، کشار علیا، کشار سفلی و هریاس واقع در بخش کن و دهستان سولقان شهرستان تهران و استان تهران با جمعیت ۲۴۸۹ واقع شده است. (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۱: موقعیت جغرافیائی حوزه آبخیز کن



شکل ۲: موقعیت ایستگاه‌های بارانسنجی و هیدرومتری در حوزه آبخیز کن

– روش تحقیق

۱- استخراج اطلاعات بارش و دبی همزمان سیلاب: در این رابطه با استفاده از آمار دبی سیلابی و بارش ثبت شده در ایستگاه‌های متعلق به آب منطقه‌ای استان تهران و سازمان تحقیقات منابع آب (تماب) برای حوزه آبخیز کن ۲۲ واقعه همزمان بارش و دبی همزمان استخراج شد که از این بین ۱۱ واقعه برای این تحقیق مناسب تشخیص داده شد که تاریخ هر یک در جدول (۱) ارایه شده است.

جدول ۱: تعداد و تاریخ وقایع هریک از حوزه‌های مورد مطالعه

حوزه آبخیز کن	
تاریخ وقایع	تعداد واقعه
۲۱ / آذر / ۷۹	۱۱
۲۷ و ۲۸ / آبان / ۸۰	
۱۷ و ۱۸ / دی / ۸۰	
۱۳ و ۱۴ / فروردین / ۸۱	
۲۳ و ۲۴ / فروردین / ۸۱	
۳۰، ۲۹، ۲۸ و ۳۱ / فروردین / ۸۱	
۶ و ۷ / فروردین / ۸۲	
۲۷ و ۲۸ / فروردین / ۸۲	
۲ / اردیبهشت / ۸۲	
۲۶ و ۲۷ / فروردین / ۸۴	
۶ و ۷ / اردیبهشت / ۸۶	

۱- تهیه نقشه رقومی توپوگرافی استخراج شده توسط سازمان جغرافیائی کشور و همچنین استخراج و تکمیل نقشه آبراهه‌های موجود در حوزه آبخیز کن (شکل ۲) که شامل مساحت، شیب متوسط اراضی حوضه، شیب متوسط وزنی آبراهه‌های اصلی در خروجی حوضه، طول آبراهه بالاترین رتبه حوضه، طول آبراهه از مرکز ثقل تا خروجی حوضه (شکل ۳)، شیب آبراهه بالاترین رتبه، تعداد آبراهه‌های هر رتبه (جهت تعیین نسبت انشعاب)، طول آبراهه‌های هر رتبه (جهت تعیین نسبت طول) و مساحت حوزه آبخیز هر رتبه (جهت تعیین نسبت مساحت) می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲: پارامترهای ژئومرفولوژیکی محاسبه شده برای حوزه آبخیز کن

رتبه آبراهه	تعداد آبراهه	طول آبراهه (km)	متوسط طول آبراهه (km)	مساحت آبخیز بالادست آبراهه (ha)	متوسط مساحت آبخیز بالادست آبراهه (ha)	طول آبراهه اصلی از ورودی تا خروجی (km)	فاصله آبراهه اصلی از خروجی تا مرکز ثقل حوضه (km)	شیب متوسط اراضی حوضه (m/m)	شیب متوسط آبراهه اصلی در خروجی حوضه (m/m)
۱	۳۵۹	۲۳۲/۵۴۲	۰/۶۴۷	۱۳۷۸۵/۳۳	۳۸/۳۹	۲۳/۰۰۹	۱۲/۱۸۱	۰/۴۷۳	۰/۰۲
۲	۶۴	۶۹/۲۹۶	۱/۰۸	۱۱۴۵۳/۰۲	۱۷۸/۹۵				
۳	۱۳	۳۰/۶۴۹	۲/۳۵۷	۹۹۹۲/۸۱	۷۶۸/۶۷				
۴	۴	۲۸/۵۱۹	۷/۱۳	۱۴۱۳۴/۲	۳۵۳۳/۵۵				
۵	۱	۱۲/۲۹۵	۱۲/۲۹	۲۰۴۷۸/۸۵	۲۰۴۷۸/۸۵				

قابل ذکر است که نسبت انشعاب (R_b) عبارت است از نسبت تعداد آبراهه هر رتبه به تعداد شاخه‌های رتبه

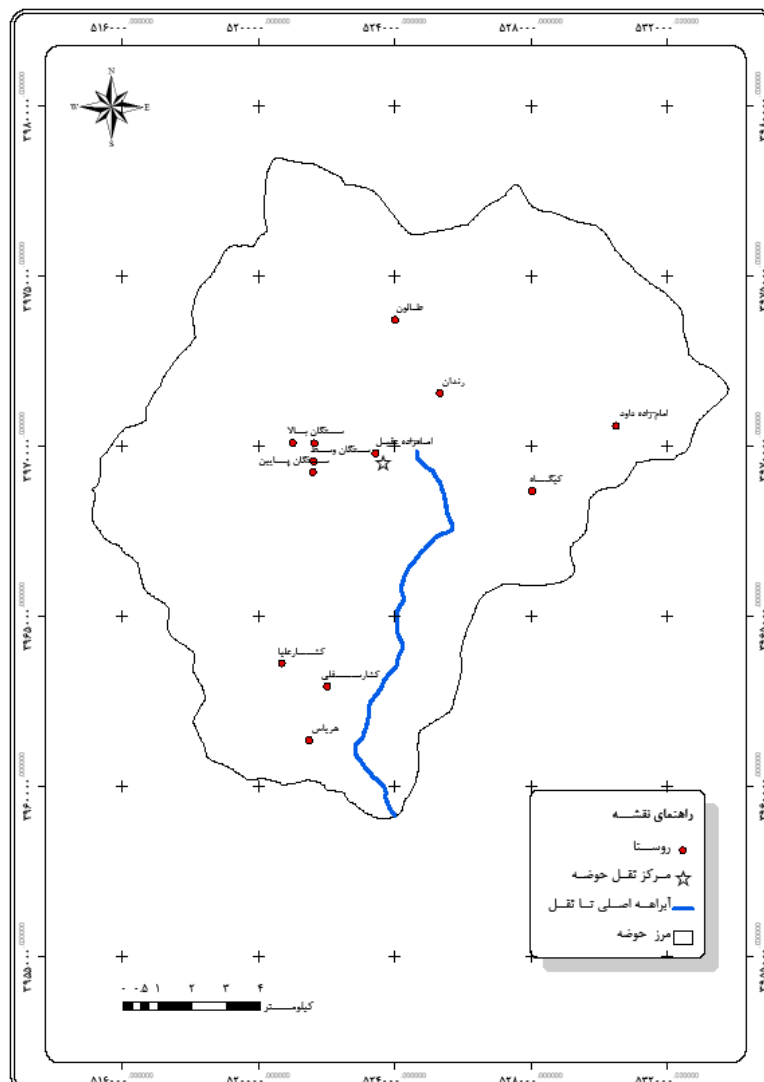
$$(R_b = N_u / N_{u+1}) \text{ بالاتر}$$

نسبت طول (R_l) عبارت است از تناسب موجود بین افزایش طول ($R_l = L_u / L_{u-1}$)

نسبت مساحت (R_a) عبارت است از تناسب موجود بین افزایش مساحت ($R_a = A_u / A_{u-1}$)

باید توجه داشت که هر مسیر شامل سطح آبراهه با درجه خاص است که بر یک آبراهه وارد می‌شود و از طریق آبراهه‌های با درجه بالاتر به خروجی حوضه می‌رسد. به عنوان مثال مسیر ۱۲۵ در حوضه کن شامل سطح آبراهه‌های ۱ بوده که وارد آبراهه درجه ۲ شده و سپس وارد درجه ۵ می‌گردد. لذا برای هر حوضه می‌تواند حداکثر تعداد $2^{\Omega-1}$ مسیر وجود داشته باشد (زانگ و دیگران، ۲۰۰۳) که در حوضه کن ۱۶ مسیر وجود دارد. برای محاسبه مساحت هر رتبه، جدول مساحت مسیرهای مختلف استخراج گردید. در محاسبه مساحت مسیرهای مربوطه، مساحت مسیرهای بالادست که به آنها وارد می‌شود نیز منظور شد (شکل ۴).

N_u ، L_u و A_u به ترتیب تعداد آبراهه‌های با رتبه U ، طول آبراهه‌های با رتبه U و مساحت حوزه آبخیز بالا دست با رتبه U می‌باشند. N_{u+1} تعداد آبراهه‌های با رتبه $U+1$ ، L_{u+1} طول آبراهه‌های با رتبه $U-1$ ، A_{u-1} مساحت آبراهه‌های با رتبه $U-1$ می‌باشند.



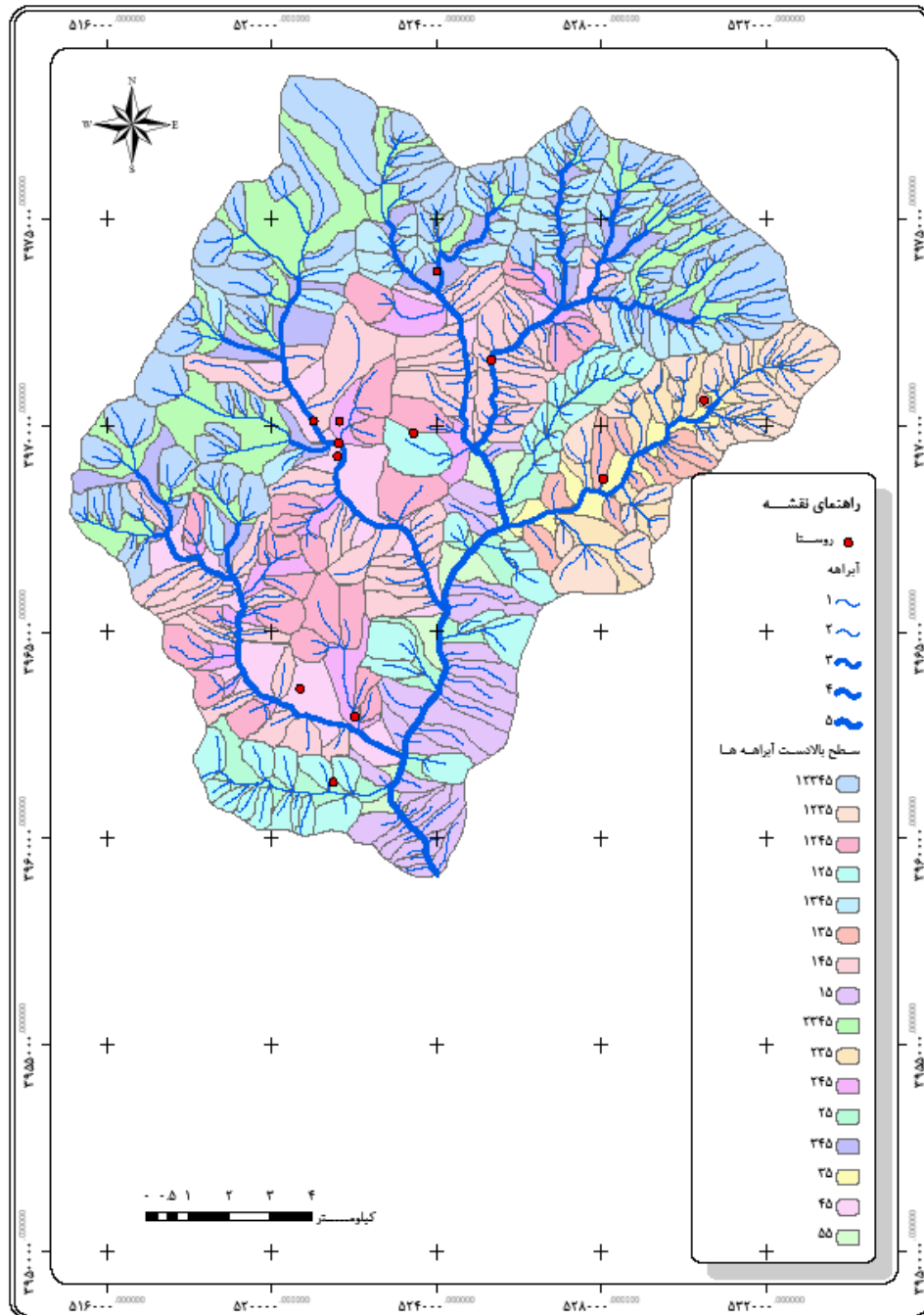
شکل ۳: آبراهه اصلی از نقطه ثقل تا خروجی حوضه

۱- تعیین سرعت جریان برای یک رگبار مشخص: جهت تعیین این پارامتر از رابطه پارامتر موج جنبشی ارائه شده توسط Rodriguez- Iturbe (۱۹۹۳) به شرح زیر استفاده شده است.

$$V_{\Omega} = 0.665 \alpha_{\Omega}^{0.6} (i_r A)^{0.4}$$

$$\alpha_{\Omega} = S_{\Omega}^{0.5} / n B^{2/3}$$

در V_{Ω} = سرعت جریان (m/s)، i_r = شدت بارش (cm/h)، A = مساحت حوضه (km^2)، S_{Ω} = شیب آبراهه اصلی (m/m) در خروجی حوضه، n = ضریب زبری مانینگ و B = عرض جریان در خروجی حوضه (m) می باشد. پارامترهای ذکر شده برای حوزه های آبخیز مورد مطالعه در جدول (۳) آورده شده است.



شکل ۴: سطح بالادست هریک از رتبه های آبراهه های

جدول ۳: پارامترهای مورد نیاز برای اندازه‌گیری سرعت جریان از طریق پارامتر موج جنبشی

تاریخ واقعه	شدت رگبار I_r (cm/h)	مساحت حوضه (km^2)	شیب سطح آبراه اصلی $S_{\Omega}(\%)$	ضریب زبری (n)	عرض متوسط جریان (m)
۲۱ / آذر / ۷۹	۰/۲۷	۲۰۴۷۸/۸۵	۲/۳۶	۰/۰۵۲	۱۰/۰۴
۲۷ و ۲۸ / آبان / ۸۰	۰/۳۹۲				
۱۷ و ۱۸ / دی / ۸۰	۰/۲۵۶				
۱۳ و ۱۴ / فروردین / ۸۱	۰/۴۹۱				
۲۳ و ۲۴ / فروردین / ۸۱	۰/۲۱				
۳۰، ۲۹، ۲۸ و ۳۱ / فروردین / ۸۱	۰/۳۵۵				
۷ و ۸ / فروردین / ۸۲	۰/۲۶۷				
۲۷ و ۲۸ / فروردین / ۸۲	۰/۵۷۶				
۲ / اردیبهشت / ۸۲	۰/۲۷۶				
۲۶ و ۲۷ / فروردین / ۸۴	۰/۲۴۹				
۶ و ۷ / اردیبهشت / ۸۶	۰/۲۵۶				

۲- برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای با استفاده از مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی (GIUH) با استفاده از رابطه ارائه شده توسط (Rodrigues-Iturbe و همکاران ۱۹۸۲).

$$q_p = 1.31/L_{\Omega}[R_L^{0.43}V]$$

که L_{Ω} طول بزرگترین رتبه آبراهه (km)، V همان طوری که قبلاً بیان شد، سرعت اوج به صورت (m/s) در نظر گرفته شده است. دبی اوج، q_p ، به صورت hr^{-1} می‌باشد.

$$Q_p/Q_e = t_r * q_p (1 - t_r * q_p / 4) \quad Q_e = i_r * A \quad \rightarrow \quad t_b \geq t_r$$

Q_p = دبی اوج هیدروگراف خروجی (m^3/s)، Q_e = دبی موثر (m^3/s)، q_p = دبی اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی (h^{-1})، t_r : مدت بارش موثر (h)، i_r = شدت بارش (cm.h) و A = مساحت حوزه (km^2) می‌باشد.

۳- برآورد دبی حداکثر دیگر مدل‌های مورد مطالعه شامل اشنایدر، SCS و مثلثی با استفاده از روابط ارائه شده در منابع از جمله مهدوی (۱۳۷۸) و علیزاده (۱۳۷۹) می‌باشد.

۴- ارایه مدل برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای.

نتایج

مطابق روش تحقیق بعد از بدست آوردن عوامل هریک از مدل‌های مورد مطالعه، هریک از مدل‌ها اجرا شد که نتایج حاصل از برآورد دبی اوج چهار مدل مورد مطالعه برای حوزه آبخیز کن همراه با تاریخ نتایج در طی جداول (۴) ارایه شده است.

حال با بدست آوردن نتایج حاصل از اجرای مدل‌ها مطابق با شرح خدمات میزان صحت نتایج حاصله، از بررسی میانگین خطای نسبی (RME) و جذر میانگین توان دوم ختاء (RMSE) حاصل از مقایسه بین مقادیر برآورد شده دبی اوج چهار مدل مورد مطالعه و مقادیر اندازه‌گیری شده دبی اوج در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۴: تاریخ وقایع و دبی اوج برآورد شده چهار مدل مورد مطالعه برای حوزه آبخیز کن(سولقان)

تاریخ واقعه	Qp	Qp(GIUH)	Qp(Sny)	Qp(SCS)	Qp(Tri)
۲۱ / آذر / ۷۹	۴۹.۰۰۸	۴۸.۵۸	۶۷.۱۷۵	۱۱۸.۳۸	۱۱۹.۷۷
۲۷ و ۲۸ / آبان / ۸۰	۵۶.۷۱	۵۴.۴۱	۷۲.۴۱۵	۹۲.۵۴۹	۹۳.۷۳۳
۱۷ و ۱۸ / دی / ۸۰	۶۹.۸۹	۴۸.۵۸	۶۵.۵۹	۱۱۰.۶۹	۱۱۱.۹۷۴
۱۳ و ۱۴ / فروردین / ۸۱	۷۹.۷۱	۸۳.۹۱	۷۰.۵۸	۱۳۷.۴۹۲	۱۳۹.۱۴۶
۲۳ و ۲۴ / فروردین / ۸۱	۵۱.۸۱	۴۲.۶۶	۶۲.۶۴	۹۷.۹۶	۹۹.۰۷
۳۰، ۲۹، ۲۸ و ۳۱ / فروردین / ۸۱	۴۴.۴۱	۴۷.۸۶	۷۲.۴۱	۱۴۶.۵۶	۱۵۱.۳۹
۷ و ۸ / فروردین / ۸۲	۹۵.۸۹	۵۴.۴۱	۶۲.۶۴	۹۷.۹۶	۹۹.۰۷۵
۲۷ و ۲۸ / فروردین / ۸۲	۷۰.۱۰۸	۷۲.۴۶	۷۴.۳۴۸	۱۶۳.۹۵	۱۶۶.۰۰۱
۲ / اردیبهشت / ۸۲	۳۵.۰۸۷	۳۴.۵۹	۷۲.۴۱۵	۱۴۹.۵۶	۱۵۱.۳۹
۲۶ و ۲۷ / فروردین / ۸۴	۳۰.۰۲۲	۳۰.۱۴۳	۷۲.۱۴۵	۱۴۹.۵۶۱	۱۵۱.۳۹۲
۷ و ۸ / اردیبهشت / ۸۶	۲۲.۷۴	۴۱.۷۳	۶۸.۸۳۵	۸۳.۴۸	۸۴.۵۲۲

جدول ۵: مقایسه مدل های مورد مطالعه در حوزه های آبخیز مورد نظر از نظر شاخص های میانگین خطای نسبی (RME) و جذر

میانگین توان دوم خطا (RMSE)

حوزه آبخیز کن(سولقان)		مدل های مورد مطالعه
RMSE	RME	
۱۵.۴۶	۱۷.۹۹	GIUH
۲۶.۸۲	۵۹.۶۶	اشنایدر
۷۶.۰۰۲	۱۶۲.۶۳۱	SCS
۷۷.۴۴۴	۱۶۵.۸۲۱	مثلی

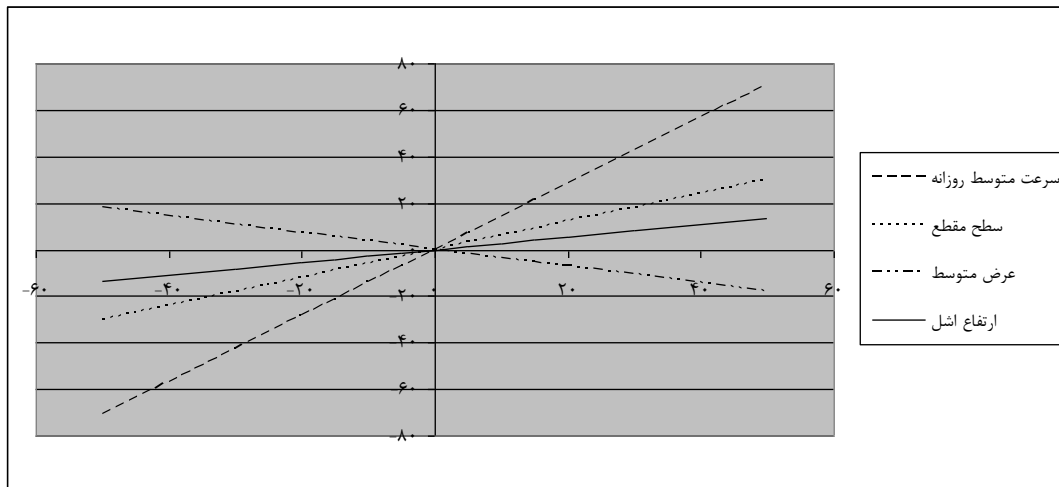
با توجه به جدول فوق مشاهده می شود که به ترتیب مدل های هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومرفولوژی، اشنایدر، SCS و مثلی دارای بهترین برآورد بوده اند. همچنین با توجه به جداول (۵) مشاهده می شود که دو مدل هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومرفولوژی و اشنایدر دارای نتایج تا حدودی مشابه به هم می باشند.

نتایج حاصل از بررسی ها (جدول ۱) نشان دهنده این است که برای حوزه آبخیز کن واقع امکان ایجاد رابطه رگرسیونی به دلیل کمبود وقایع وجود ندارد لذا اقدام به ارایه مدل برآورد دبی حداکثر روزانه شد. بدین ترتیب برای حوزه آبخیز کن ۸۲ واقعه سیلاب روزانه با در نظر گرفتن همخوانی بین هایتوگراف بارش و هیدروگراف سیلاب مناسب تشخیص داده شده و همراه با عوامل محاسبه شده برای مدل های مورد مطالعه در این تحقیق و عوامل اندازه گیری شده ای چون: دبی حداکثر روزانه به عنوان پارامتر وابسته و سرعت جریان روزانه (V)، سطح مقطع جریان (A)، محیط خیس شده (B)، ارتفاع جریان در مقطع (H)، نسبت طول و نسبت انشعاب به عنوان پارامتر مستقل رابطه رگرسیونی ایجاد شد.

$$Q_p = 6.092V + 1.2A - 0.249B + 0.015H - 4.424$$

$$R^2 = 0.952 \quad R = 0.976$$

جهت تعیین میزان اثر گذاری عوامل مورد استفاده در مدل ها، به بررسی آنالیز حساسیت عوامل مدل دبی حداکثر روزانه در حوزه آبخیز کن پرداخته شد. با توجه به شکل (۵) مشاهده می شود که عواملی چون V (سرعت جریان)، A (سطح مقطع) و تا حدی B (عرض مقطع) دارای بیشترین تاثیر در جواب مدل می باشند لذا اندازه گیری صحیح و با دقت آن ها موجبات کارایی و صحت بیشتر مدل را فراهم خواهد آورد.



شکل (۵): نمودار آنالیز حساسیت عوامل مدل دبی حداکثر روزانه در حوزه آبخیز کن

در انتها جهت کامل شدن جزء جزء موارد پژوهش، به تحلیل وقایع برای نتایج حاصل از هریک از مدل‌ها پرداخته شد. به طوری که با توجه به نتایج بدست آمده در بخش‌های قبلی به این نتیجه رسیده شد که بهترین مدل برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی (GIUH) می‌باشد. لذا به بررسی هریک از وقایع در حوزه‌های کن پرداخته شد (جدول ۶). با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود که در تمامی وقایعی که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی (محاسبه شده توسط مدل) وجود داشته است به صورت $Q_{po} > Q_{pe}$ (مقادیر مشاهده‌ای بیشتر از تخمینی توسط مدل) بوده است که همراه با علل آن در جدول مذکور ارایه شده است. تنها در یک واقعه در تاریخ ۶ و ۷ اردیبهشت ۸۶ در حوزه آبخیز کن بوده است که مقادیر $Q_{po} < Q_{pe}$ (مقادیر مشاهده‌ای کمتر از تخمینی توسط مدل) بوده است. همان طوری که در جدول (۶) ذکر شده علت آن آبیگری از انهار در فصولی چون اردیبهشت برای آبیاری باغات بوده است.

جدول ۶: تحلیل وقایع با اختلاف معنی‌دار مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی (GIUH) در حوزه آبخیز کن

مدل	حوزه آبخیز	تاریخ واقعه	مشکل	علت
GIUH	کن	۱۷ و ۱۸ دی / ۸۰	$Q_{po} > Q_{pe}$	بارش با تداوم بالا
		۲۳ و ۲۴ فروردین / ۸۱	$Q_{po} > Q_{pe}$	ذوب برف همراه با بارندگی با تداوم بالا
		۷ و ۸ فروردین / ۸۲	$Q_{po} > Q_{pe}$	ذوب برف همراه با بارندگی با تداوم بالا
		۷ و ۸ اردیبهشت / ۸۶	$Q_{po} < Q_{pe}$	آبیگری از انهار

– بحث و نتیجه گیری

با ملاحظه به جدول (۵) میتوان نتیجه‌گیری کرد که مدل ژئومرفولوژی، اشنایدر، SCS و مثلثی به ترتیب بهترین برآوردها را داشته‌اند و با ملاحظه به جداول (۴ و ۵) دو مدل ژئومرفولوژی و اشنایدر تا حدی دارای نتایج یکسان بوده‌اند. کومار و همکاران (۲۰۰۲)، در مطالعه‌ای که با استفاده از داده‌های بارش - رواناب در تعدادی از حوزه‌های آبخیز انجام دادند، هیدروگراف واحد مدل‌سازی شده و پارامترهای مدل ژئومرفولوژی با مدل کلارک همبستگی داده شد. اما در

مطالعه ما، در کنار پارامترهای ژئومرفولوژی از پارامترهای مدل های SCS، اشنایدر و مثلثی جهت مدل سازی تخمین دبی پیک نیز استفاده شد. موسی (۲۰۰۸)، خصوصیات هیدرولوژیکی چون شبکه های آبراهه و شیب، هیدرولیک جریان و توزیع مکانی بارش از مدل ژئومرفولوژی در هفت حوضه جنوب غربی فرانسه را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد، تقسیم حوضه به زیرحوضه ها در دو نقطه از شبکه های آبراهه برای تعیین مدل ژئومرفولوژی کافی می باشد اما در مطالعه حاضر برای صحت و دقت بیشتر، حوضه را به ۱۶ زیرحوضه براساس رتبه بالادست آبراهه ای ($2^{\Omega-1} = 2^{5-1} = 16$) تقسیم کردیم. همچنین تحلیل پاسخ های مدل ژئومرفولوژی نشان دهنده این بوده است که بیشترین حساسیت به توپولوژی آبراهه، توزیع مکانی بارش و ویژگی های هیدرولیکی جریان مربوط بوده است. بنابراین با ملاحظه به شکل (۵) در این مورد (ویژگی های هیدرولیکی جریان) دارای تطابق با مطالعه حاضر بوده است.

در مطالعه ای که در حوزه آبخیز پسکوهک توسط رحیمیان و زارع (۱۳۷۴) انجام شده است، برای مقایسه نتایج GIUH با روش های SCS، اشنایدر و مثلثی به این نتیجه رسیده اند که GIUH دارای بهترین همخوانی با هیدروگراف مشاهده شده بوده است. بنابراین این مطالعه با نتایج ما همخوانی داشته است. جاین و سینها (۲۰۰۳)، قوانین هورتن با کاربردهایشان در مدل ژئومرفولوژی را بر روی حوضه های فاقد آمار با رتبه ۵ در رشته کوه هیمالیا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دهنده این بوده است که دبی با دوره بازگشت ۵۰ ساله دارای تطابق خوبی با داده های مشاهده ای بوده است. بنابراین این مطالعه با نتایج ما همخوانی داشته است. کومار و همکاران (۲۰۰۷)، جهت استخراج هیدروگراف رواناب در حوزه آبخیز آچار هندوستان از مدل ژئومرفولوژی استفاده نمودند. مقایسه نتایج از طریق توابع خطاء (مانند میانگین ریشه خطای استاندارد) در شش واقعه دارای بهترین نتایج بوده است. بنابراین این مطالعه با نتایج ما همخوانی داشته است.

قیاسی (۱۳۸۳)، در پروژه تحقیقاتی با عنوان " کاربرد هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومرفولوژی در حوزه های آبخیز کسلیان و لیقوان " با دو روش (GIUH و GCIUH) برای حوضه های معرف کسلیان در شمال ایران و لیقوان در شمال غرب ایران، هیدروگراف ها تخمین زده شدند. سپس با سایر روش های مصنوعی چون اشنایدر، SCS و مثلثی مقایسه شدند. در این تحقیق ذکر شده است که GIUH با روسو همچنین مورد نیاز است. سپس این روش ها با هیدروگراف مشاهده شده مقایسه شدند، نتایج قابل قبول بوده و آن ها هیچ گونه اختلاف معنی داری نداشتند. سایر نتایج این پروژه تحقیقاتی نشان دهنده این بوده است که برای تخمین دبی حداکثر، هیدروگراف های GIUH، مثلثی، SCS و اشنایدر به ترتیب دارای بهترین برآوردها بوده اند. بنابراین نتایج قیاسی برای GIUH با نتایج ما همخوانی دارد اما در رابطه با دومین مدل از بین بهترین مدل های تخمینی همخوانی نداشته است. منتظری و همکاران (۱۳۸۳)، نتایجشان نشان دهنده این بوده است که تکنیک های GIS برای استخراج پارامترهای مورد نیاز هیدروگراف مصنوعی کلارک و مقایسه آن با هیدروگراف مشاهده شده در خروجی حوزه آبخیز، همخوانی خوبی بین داده های هیدروگراف مشاهده شده و هیدروگراف واحد مصنوعی کلارک بدست داده است. بنابراین در این مطالعه نیز از این گونه تکنیک ها استفاده شد.

در انتها با توجه به این که در سطح اکثر حوضه های آبخیز کشور ایستگاه های هیدرومتری وجود ندارد و یا دارای آمار ناقص می باشند می توان این گونه نتیجه گیری کرد که در صورت وجود ایستگاه های باران سنجی ثبات از مدل هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومرفولوژی به علت داشتن دقت بالاتر استفاده شود و اگر در سطح حوزه ای هر دو مورد ایستگاه هیدرومتری و ایستگاه باران سنجی وجود نداشته باشد از روش اشنایدر استفاده نمود. لذا با توجه به وجود مشکلات ذکر شده در فوق توصیه می شود جهت اطمینان بیشتر از مدل هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومرفولوژی در سایر حوزه های آبخیز کشور استفاده نمود و نتایج آن را مورد آزمون قرار داد.

منابع

- ۱- احمدی، حسن، (۱۳۸۵): ژئومرفولوژی پیشرفته، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، جزوه درسی دوره دکتری آبخیزداری.
- ۲- رحیمیان، ر و زارع، م، (۱۳۷۴): کاربرد هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی جهت سنتز هیدروگراف در حوضه‌های فاقد آمار، مجموعه مقالات سومین سمینار هیدرولوژی وزارت نیرو، صص ۲۲۷-۲۰۳.
- ۳- علیزاده، امین، (۱۳۷۹): چاپ دوازدهم، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).
- ۴- غیائی، نجفقلی، (۱۳۸۳): واسنجی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی و ژئومرفوکلیماتولوژی در حوضه‌های کسلیان و ليقوان، گزارش نهائی طرح تحقیقاتی پژوهشکده حفات خاک و آبخیزداری.
- ۵- مهدوی، محمد، (۱۳۷۸): هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۶- منتظری و همکاران، (۱۳۸۳): تعیین هیدروگراف واحد لحظه‌ای با استفاده از مدل کلارکو تکنیک‌های GIS در حوزه آبخیز سد کارده، کنفرانس ملی آبخیزداری، مدیریت خاک و منابع آب، کرمان، ایران، صص ۲۰۷-۱۹۸.
- 7- Berod, D.D. Singh, V. P. and Musy, A. (1999): A Geomorphologic Kinematic-Wave (GKW) Model for Estimation of Flood From Small Alpine Watersheds. *Hydrol. Processes*. 13: 1391-1416.
- 8- Chutta, P., Dooge, J. C. I. (1990): The Shape Parameters of The Geomorphologic Unite Hydrograph, *J. Hydrology*. V.117, Pp. 81-97.
- 9- Jain, V. Sinha, R., 2003, Derivation of Unit Hydrograph From GIUH Analysis for A Himalayan River, *Water Resource Management*, 17: 355- 375.
- 10- Karronen & Etal. (1998): A Hydrological Model for Predicting Run off From Different Land Use Areas, *Journal of Hydrology*, V.217, Pp. 253-265.
- 11- Kumar, R. C. Chatterjee. C., Lohani, A. K., Sing, R. D. and Kumar, S., (2007): Run off Estimation for an Ungagged Catchment Using Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) Models, *Hydrol. Process* 21: 1829-1840.
- 12- Kwan Tun Lee & Chin-Hsin Chang. (2005): Incorporating Subsurface-Flow Mechanism into Geomorphology-Based IUH Modeling, *Journal of Hydrology*, Pp. 91-105.
- 13- Mossa, R., (2008): Distribution on The Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph Transfer Function. *Hydro l. Process* 22: 395-419.
- 14- Olivera, F. & Maidment, D. (1999): Geographic Information systems (GIS) - Based Spatially Distributed Model for Runoff Routing. *WATER RESOUR RES*. 4: 1135-1146.
- 15- Rodriguez- Iturbe, I., Gonzales- Sanabria, M. Bras. R., (1982): A Geomorphoclimtic Theory of The Instantaneous Unit Hydrograph, *Water Resources Research*, 18(4), 877-886.
- 16- Ignacio - Rodriguez- Iturbi. (1993): The Geomorphological Unit Hydrograph, *Channel Network Hydrology*, Pp. 43-68.
- 17- Vijay K. Gupta, Ed. Way Mire, C.T. Wang, (1980): A Representation of an Instantaneous Unit Hydrograph From Geomorphology, *Water Resources Research*, Vol. 16, No 5, 855-862.
- 18- Yen, B.C. & Lee, K.T. (1997): Unit Hydrograph Derivation for Un Gauged Watersheds by Stream-Order Laws. *J. of Hydro 1. Eng.* 1: 1-9.