

ارزیابی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH) در حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب)

فرج‌ا... محمودی - استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا

مجتبی یمانی - دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا

شهرام بهرامی* - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم سبزوار

دریافت مقاله: ۸۵/۳/۲۸ تایید نهایی: ۸۵/۱۱/۲۵

چکیده

در این تحقیق با هدف بررسی نقش عوامل و اشکال ژئومورفولوژی در ویژگی‌های سیلاب، مدل GIUH در حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب) ارزیابی شده است. مدل GIUH بر اساس عوامل ژئومورفولوژی کمی حوضه‌ها، هیدروگراف سیل را برآورد می‌کند. به منظور بررسی این مدل، ابتدا داده‌های ژئومورفولوژی کمی حوضه مانند RB (نسبت انشعابات)، RA (نسبت مساحت)، RL (نسبت طول)، LΩ (طول آبراهه بالاترین درجه) و سپس داده‌های بارش رواناب و معادلات دبی - سرعت، به دست آمد و مقادیر QP (دبی اوج) و TP (زمان تا اوج) برای پنج واقعه بارش - رواناب استخراج شد. مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و محاسبه‌ای نشان می‌دهد که مقادیر QP محاسبه‌ای تقریباً به مقادیر QP مشاهده‌ای نزدیک می‌باشند در حالی که مقادیر TP محاسبه‌ای بیشتر از TP مشاهده‌ای می‌باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کارایی مدل GIUH در برآورد دبی پیک سیلاب، نسبتاً مناسب است، در حالی که کارایی آن در برآورد شکل کامل هیدروگراف پایین است. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که اشکال خاص ژئومورفولوژی مانند چاله‌ها، درز و شکاف‌های آهکی و تکتونیک، باعث کاهش سرعت و ضریب رواناب شده و بنابراین مقادیر QP و TP سیلاب را تحت تاثیر قرار می‌دهند. همچنین روابط پیچیده اشکال کارستیکی با آب‌های سطحی و زیر زمینی و ویژگی‌های بارش، باعث شده است که مدل مذکور فاقد روند ثابت و مشخصی در پیش‌بینی سیلاب باشد. نتایج این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که پارامترهای QP و Tp علاوه بر عوامل ژئومورفولوژی، تا حدودی از تغییرات شدت بارش در هر رگبار نیز متاثر می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH)، کنگیر، زمان تا اوج (TP)، دبی اوج (QP)، مسیر.

مقدمه

یکی از مشکلات اساسی در زمینه پیش‌بینی سیلاب، نبود داده‌های هیدرولوژی و اقلیمی در اغلب حوضه‌های آبخیز کشور است. وجود ارتباط بین پارامترهای ژئومورفولوژی و هیدرولوژی، این امکان را فراهم می‌کند تا در حوضه‌هایی که از نظر ژئومورفولوژی تشابه وجود دارد، با ایجاد روابط بین این دو، اقدام به پیش‌بینی سیلاب در حوضه‌های دارای آمار و تعمیم آن به

حوضه‌های مشابه فاقد آمار نمود. واکنش هیدرولوژیکی یک حوضه، به وسیله تولید رواناب برای یک بارش مشخص تعیین می‌شود. ویژگی‌های خاک و ژئومورفولوژی حوضه‌ها، تولید رواناب را تحت تاثیر قرار می‌دهند به طوری که ویژگی‌های خاک مقدار نفوذ و ویژگی‌های ژئومورفولوژی کمی، مقدار بارش مازاد باقیمانده را تعیین می‌کنند (جین^۱، ۲۰۰۳ ص ۱۵۹۶).

به علت فقدان داده‌های هیدرولوژی و اقلیمی، استفاده از داده‌های ژئومورفولوژی در پیش‌بینی سیلاب از چند دهه قبل آغاز شده است. اشنایدر در سال ۱۹۳۸ اقدام به استخراج هیدروگراف واحد مصنوعی حوضه کرد. اداره حفاظت خاک آمریکا نیز در سال ۱۹۵۷ روش موسوم به SCS یا هیدروگراف واحد بدون بعد را ارائه نمود (علیزاده، ۱۳۸۱ ص ۵۲۰-۵۱۳). رودریگوئز-اتیورب^۲ و همکاران در سال ۱۹۷۹ روشی تحت عنوان هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) را بر اساس ارتباط عوامل ژئومورفولوژی، اقلیم و هیدرولوژی ارائه نمودند. این روش بر اساس پارامترهای ژئومورفولوژی کمی حوضه‌ها مانند نسبت انشعابات، نسبت طول، نسبت مساحت، طول بالاترین درجه آبراهه، شدت بارش و سرعت در دبی اوج سیلاب، هیدروگراف واحد لحظه‌ای را استخراج می‌کند. در سال ۱۹۸۰ گوپتا^۳ و همکاران مدل ساده‌ای از GIUH را در سه حوضه ایلینویز^۴ مورد بررسی قرار دادند. در سال‌های اخیر محققین زیادی مانند والدیز^۵ (۱۹۷۹)، علم^۶ و دیگران (۱۹۸۷)، سورمن^۷ (۱۹۹۵)، جین و دیگران (۱۹۹۷)، بهاسکار^۸ (۱۹۹۷)، لی^۹ (۱۹۹۸)، شمس‌الدین^{۱۰} و دیگران (۱۹۹۸)، الوگدانی^{۱۱} و دیگران (۱۹۹۸)، شولر^{۱۲} (۱۹۹۹)، هال^{۱۳} و دیگران (۲۰۰۱)، جین و دیگران (۲۰۰۳)، کومار^{۱۴} و دیگران (۲۰۰۴) و سارانگی^{۱۵} (۲۰۰۶) و دیگران (۲۰۰۷) به بررسی مدل GIUH پرداخته‌اند.

تئوری GIUH در ایران توسط غیائی (۱۳۷۴ و ۱۳۸۳) در حوضه امامه، رحیمیان (۱۳۷۳) در حوضه پس^{۱۶} کوهک (شیراز)، عرفانیان (۱۳۸۲) در حوضه سمنان، و نصیری (۱۳۸۴) در حوضه امامه ارزیابی شده است. تنوع اشکال ژئومورفولوژیکی و مورفومتریکی و تغییر پذیری پارامترهای اقلیمی باعث می‌شود که صحت و کارایی مدل مذکور در پیش‌بینی سیلاب از حوضه‌ای به حوضه دیگر تغییر کند. ویژگی‌های ژئومورفولوژی خاص حوضه کنگیر از جمله وجود اشکال کارستیکی، ما را بر آن داشت تا مدل GIUH را در حوضه مذکور جهت پیش‌بینی سیلاب مورد ارزیابی قرار دهیم. در این مقاله سعی شده است علاوه بر بررسی تاثیر عوامل ژئومورفولوژی بر کارایی مدل، نقش تغییرات شدت بارش نیز در این مدل مورد توجه قرار گیرد.

روش کار و داده‌ها

جهت استخراج مدل GIUH دو دسته اطلاعات ژئومورفولوژی کمی و داده‌های اقلیمی-هیدرولوژیکی مورد نیاز است. به منظور محاسبه مدل مذکور ابتدا شکل‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ حوضه مطالعاتی در محیط ILWIS رقمی گردید. درجه بندی آبراهه‌ها به روش استرالر انجام و مساحت آبراهه‌ها با درجات مختلف تعیین گردید. در محاسبه مساحت هر درجه از آبراهه، مساحت آبراهه‌های پایین تر که به آن وارد می‌شوند نیز باید منظور گردد. بر این اساس، مسیرهای حرکت آب در حوضه، مطابق نقشه شماره ۴ تعیین گردید که در آن O_i ، سطح آبراهه‌های با درجه i و C_i آبراهه با درجه i است. بر اساس مسیرهای^{۱۷} مختلف، مساحت هر درجه در محیط نرم افزار ILWIS محاسبه و نسبت مساحت محاسبه گردید.

با تهیه داده‌های شدت-مدت رگبار و هیدروگراف سیل حوضه ۵، واقعه منفرد بارندگی-رواناب که در میان سایر داده‌ها از صحت بالاتری برخوردار بودند، انتخاب گردیدند. معادلات دبی-سرعت جریان برای سال‌های مورد نظر بدست آمد. پس از جداسازی جریان پایه، ارتفاع و زمان بارش موثر با استفاده از شاخص فی (مهدوی، ۱۳۷۴، ص ۱۲۸) استخراج گردید. با استفاده از داده‌های فوق، پارامترهای qp (دبی اوج ژئومورفیک بر ساعت) و tp (زمان تا اوج ژئومورفیک به ساعت) استخراج و بر اساس آن QP (دبی به متر مکعب در ثانیه) و TP (زمان تا اوج به ساعت) هیدروگراف خروجی برای مدل GIUH بدست آمد. بعد از استخراج QP و TP، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی ۵ واقعه سیل ترسیم و با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه و ضریب کارایی آنها بررسی شد. جهت بررسی تاثیر اشکال خاص ژئومورفولوژی بر شکل هیدروگراف، مطالعات میدانی به صورت نمونه برداری تصادفی از طول و ابعاد چاله‌ها و درز و شکاف‌های کارستیکی و تکتونیک و تهیه عکس از عوارض انجام گردید. در نهایت نتایج مدل‌ها و شکل هیدروگراف‌های تخمینی در ارتباط با ژئومورفولوژی حوضه مورد تحلیل قرار گرفت.

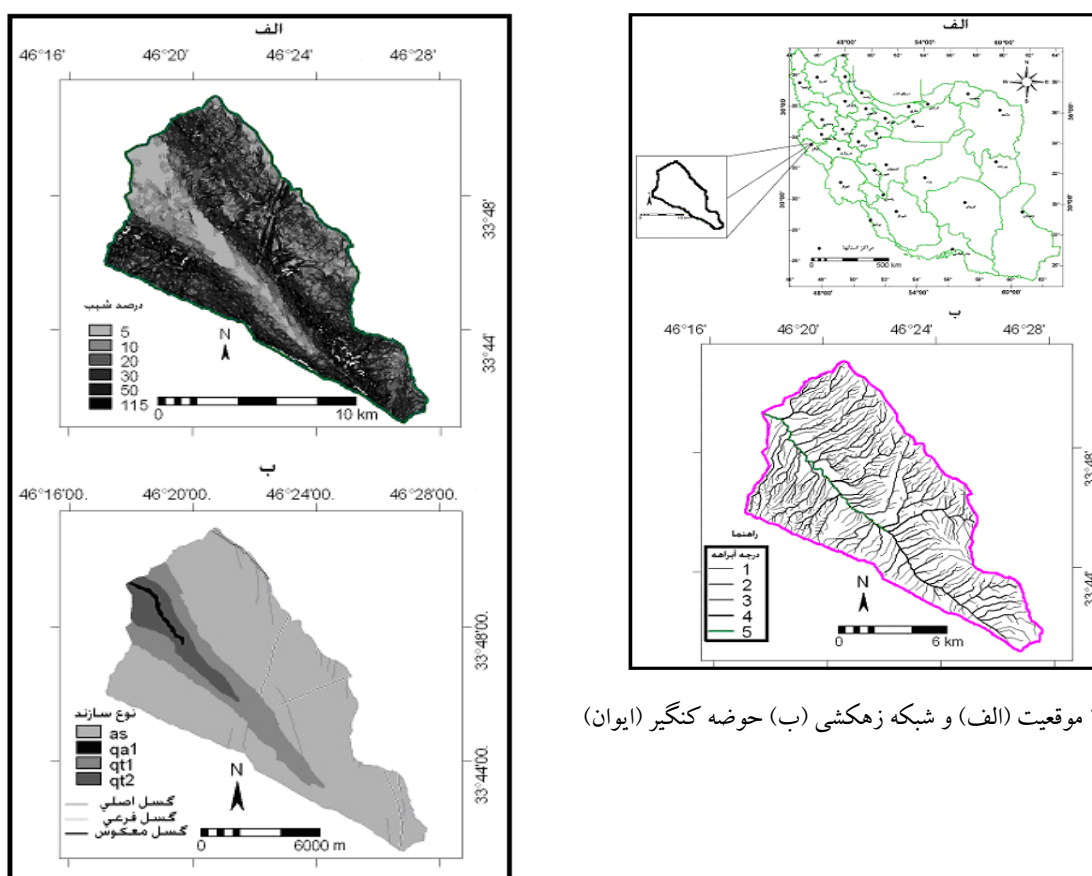
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کنگیر (ایوان) با مساحت ۱۲۲،۷۱ کیلومتر مربع در جنوب شرق شهر ایوان غرب و شمال ایلام قرار دارد (شکل شماره ۱-الف). این حوضه در طول جغرافیایی $11^{\circ} 17' 46''$ تا $35^{\circ} 27' 46''$ شرقی و عرض جغرافیایی $14^{\circ} 41' 33''$ تا $57^{\circ} 50' 33''$ شمالی قرار گرفته است. رودخانه کنگیر تنها جریان دائمی حوضه است که از سراب ایوان واقع در ۹ کیلومتری جنوب شرق شهر ایوان سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه از جنوب شرق به شمال غرب جریان دارد و شبکه‌های جریان موقت را از جهات شمال شرق و جنوب غرب (به ترتیب رشته بانکول و شره زول) دریافت می‌کند (شکل ۱-ب). مهم‌ترین ارتفاعات حوضه، کوه مانشت (۲۶۵۰ متر) در منتهی‌الیه جنوب شرقی حوضه و رشته کوه‌های بانکول (۲۳۱۵ متر) در شمال شرق و شره زول (۲۰۴۵ متر) در جنوب غرب حوضه می‌باشند. حداکثر ارتفاع منطقه مطالعاتی ۲۶۵۰ متر در جنوب شرق و حداقل آن ۱۱۷۵ متر در خروجی حوضه در شمال غرب آن است. از نظر شیب توپوگرافی، مرکز دشت هموار و دارای شیب زیر ۵ درصد است. از مرکز به طرف شمال شرق (رشته بانکول) و جنوب غرب (رشته شره زول) شیب افزایش می‌یابد (شکل ۲-الف). بر اساس محاسبات انجام شده، متوسط شیب وزنی حوضه ۲۶،۹ درصد محاسبه شده است. حوضه کنگیر بخشی از واحد زمین ساختی زاگرس چین‌خورده است و تحولات ساختمانی این واحد را متحمل شده است. در منطقه مورد مطالعه، کوه‌ها منطبق بر طاق‌دیس‌ها و دشت‌ها منطبق بر ناودیس‌ها می‌باشند. بر اساس شکل زمین‌شناسی و مطالعه عکس‌های هوایی منطقه مطالعاتی، در تمامی حوضه، شیب توپوگرافی در جهت شیب ساختمانی لایه‌هاست.

بر اساس شکل زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲-ب) تمامی ارتفاعات حوضه از آهک آسماری (as) تشکیل یافته‌اند. مساحت واحد لیتولوژیکی آهک آسماری در حوضه ۹۵،۸۶ کیلومتر مربع معادل ۷۸ درصد کل مساحت حوضه است. پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های قدیمی (Qt1) با مساحت ۱۷،۴۷ کیلومتر مربع ۱۴ درصد مساحت حوضه را دربر گرفته‌اند و در حوالی رودخانه کنگیر گسترش دارند. پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های جوان (Qt2) با مساحت ۸،۴۴ کیلومتر مربع ۶ درصد حوضه را در بخش‌های شمال غربی حوضه (حوالی شهر ایوان) دربر گرفته‌اند. رسوبات سیلابی بستر رودخانه کنگیر (Qa1) با مساحت ۰،۹۳ کیلومتر مربع تنها ۰،۰۷ درصد مساحت کل حوضه را اشغال کرده است.

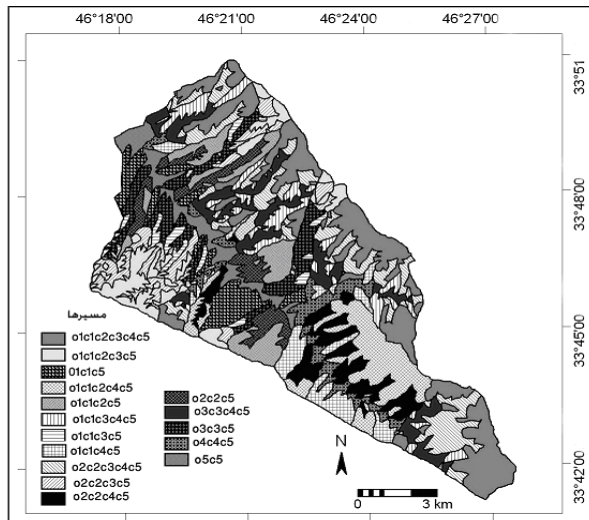
مهم‌ترین گسل‌های منطقه مورد مطالعه؛ گسل بانکول با جهت شمال غربی-جنوب شرقی در خط الراس رشته کوه بانکول و دو گسل در شمال و شرق سراب ایوان به ترتیب با جهت شمال-جنوب و شمال شرق-جنوب غرب می‌باشند (شکل ۲-ب).

بر اساس شکل پوشش گیاهی منطقه (شکل شماره ۳) جنگل‌های نیمه انبوه (F2) با تراکم تاج پوشش ۲۵ تا ۵۰ درصد، ۳۶۹۲,۰۹ هکتار معادل ۳۰,۰۸ درصد از منطقه مطالعاتی را در بخش‌های جنوب غربی و جنوبی حوضه دربر گرفته‌اند (شکل ۱۵-ب). جنگل‌های تنک (F3) با تراکم تاج پوشش ۵ تا ۲۵ درصد ۳۵۴۶,۰۳ هکتار معادل ۲۸,۹۶ درصد از مساحت حوضه را در دامنه‌های غربی کوه بانکول اشغال کرده‌اند. مراتع متراکم (R1) با تاج پوشش بیش از ۵۰ درصد گیاهان یک‌ساله و چندساله و مراتع نیمه متراکم (R2) با تراکم تاج پوشش ۲۵ تا ۵۰ درصد گیاهان یک‌ساله و چندساله و مراتع کم تراکم (R3) با تاج پوشش ۵ تا ۲۵ درصد گیاهان یک‌ساله و چندساله، به ترتیب ۳۹۵,۸۸، ۱۳,۳۲ و ۲۰۷۸,۷۵ هکتار از حوضه را شامل می‌شوند که به ترتیب معادل ۳,۲۲، ۰,۱ و ۱۶,۹۳ درصد از کل مساحت حوضه می‌باشند. ۲۳۸۹,۹۹ هکتار معادل ۱۹,۴۷ درصد از کل حوضه را کاربری زراعت دیم تشکیل می‌دهد. سطح شهر ایلام با مساحت ۱۵۵,۳۸ هکتار ۱,۲۶ درصد از کل مساحت مورد مطالعه را دربر گرفته است.

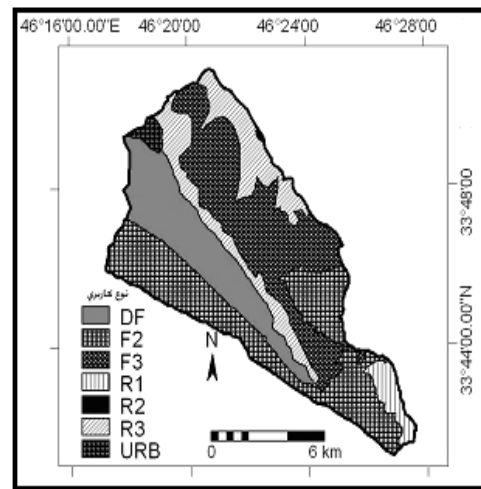


شکل ۱ موقعیت (الف) و شبکه زهکشی (ب) حوضه کنگیر (ایوان)

شکل ۲ طبقات شیب (الف) و زمین شناسی (ب) حوضه کنگیر



شکل ۴ مسیرهای حرکت آب در حوضه کنگیر



شکل ۳ وضعیت پوشش گیاهی حوضه کنگیر

مبانی نظری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی

در تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH)، تلاش شده است که با ارتباط دادن هیدروگراف با مشخصات ژئومورفولوژیکی، پاسخ هیدروولوژیکی حوضه‌ها به رواناب سطحی مورد ارزیابی قرار گیرد (جین و دیگران، ۱۹۹۷، ص ۲۰). تئوری GIUH بعنوان تابع چگالی احتمال رسیدن یک قطره آب به خروجی حوضه تعریف می‌شود که به طور تصادفی انتخاب شده باشد. معادله عمومی GIUH برای یک حوضه با درجه (۳)، به صورت زیر تعریف می‌شود (رودریگوئز-اتیورب و والدیز، ۱۹۷۹، ص ۱۴۱۱):

$$GIUH(t) = \frac{d\theta_4(t)}{dt} = \theta_1(0) \cdot \frac{d\phi_{14}(t)}{dt} + \theta_2(0) \frac{d\phi_{24}(t)}{dt} + \theta_3(0) \frac{d\phi_{34}(t)}{dt} \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در آن $\theta_n(t)$ ؛ احتمال وضعیت (احتمال اینکه یک قطره بارش در در لحظه t در خروجی حوضه است). $\theta_i(0)$ ، احتمال وضعیت اولیه (احتمال افتادن قطره آب به دامنه‌های رتبه i) و $\phi_{i(N+1)}(t)$ ، احتمال تغییر مسیر (از حالت i به $(N+1)$ در لحظه t می‌باشند.

مراحل حل معادله ۱ و اجزاء آن برای حوضه درجه ۳، در مقاله رودریگوئز-اتیورب و همکاران (رودریگوئز-اتیورب و والدیز، ۱۹۷۹، ص ۱۴۱۱) و برای حوضه درجه ۵، در مقاله جین و سینها^۱ (جین و سینها ۲۰۰۳ ص ۳۶۶-۳۶۱) به تفصیل ارائه شده است و در اینجا از ذکر آن صرف نظر شده است.

با توجه به اینکه ارزیابی و حل معادله ۱ برای حوضه‌ها اغلب کار مشکلی است، رودریگوئز-اتیورب و والدیز در سال ۱۹۷۹ پیشنهاد کردند که بر اساس پارامترهای هیدرودینامیکی سرعت آب در اوج سیلاب (V) و همچنین پارامترهای ژئومورفولوژی کمی حوضه‌ها مانند RL, RA, RB و LQ (طول آبراهه بالاترین درجه حوضه به کیلومتر) میتوان qp (دبی

^۱ - Sinha

پیک (tp (زمان تا اوج) را استخراج و بر اساس آن به تهیه هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی اقدام کرد (رودریگوز-اتیورب و والدیز، ۱۹۷۹ به نقل از براس^۱، ۱۹۹۰ ص ۵۹۷):

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} R_L^{0.43} V \quad \text{رابطه ۲}$$

$$t_p = \frac{0.44 L_\Omega}{V} \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.38} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن qp دبی پیک هیدروگراف واحد لحظه ای، tp زمان تا پیک هیدروگراف واحد لحظه ای هستند. سایر پارامترها قبلاً تعریف شده اند.

tp, qp محاسبه شده از روابط ۲ و ۳، بر ساعت و به ساعت می‌باشد، بنابراین روابط ۴ و ۶ برای محاسبه دبی اوج و زمان تا اوج هیدروگراف خروجی سیلاب ارائه شده است (رودریگوز-اتیورب و والدیز، ۱۹۷۹ ص ۱۴۳۷):

$$\frac{QP}{Qe} = tr \times qp \left(1 - \frac{tr \times qp}{4} \right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$Qe = ir \times A \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن

QP: دبی اوج هیدروگراف خروجی (متر مکعب در ثانیه)

qp: دبی اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (برساعت)

Qe: دبی تعادل (رابطه ۴)

ir: شدت بارش (سانتیمتر در ساعت)

tr: مدت بارش موثر (ساعت)

A: مساحت حوضه به متر مربع می‌باشند.

رابطه ۴ برای مواردی که $tr \leq tb$ باشد کاربرد دارد و در آن $tb = \frac{2}{qp}$ می‌باشد. برای $tr > tb$ ، $QP = ir \times A$

می‌باشد (رودریگوز-اتیورب و والدیز، ۱۹۸۲ ص ۸۸۷). با توجه به اینکه در تمامی رگبارهای مورد استفاده در حوضه مورد مطالعه، $tr \leq tb$ است از رابطه ۴ جهت برآورد دبی اوج هیدروگراف خروجی استفاده گردیده است.

رودریگوز-اتیورب و گونزالس (۱۹۷۹ ص ۱۴۴۳) رابطه ۶ را برای بدست آوردن زمان تا اوج هیدروگراف پیشنهاد کردند.

$$Tp = tp + 0.75t_r \quad \text{رابطه (۶)}$$

Tp: زمان تا اوج هیدروگراف خروجی، ساعت

tp: زمان تا اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (برساعت)

در این تحقیق، ترسیم شکل کامل هیدروگراف‌ها، بر اساس رابطه شماره ۷ انجام شده است (وو^۲، ۱۹۶۳ به نقل از میدوز^۱، ۱۹۸۷ ص ۶۲۳):

^۱ - Bras

^۲ - Wu

$$Q(t) = qp \times \left(\frac{t}{tp}\right) \times \text{Exp}\left(1 - \frac{t}{tp}\right)^{\alpha-1} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\alpha = 3.29 \times \left(\frac{RB}{RA}\right)^{0.78} \times RL^{0.07} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن، $Q(t)$ دبی هیدروگراف واحد لحظه‌ای در زمان t (ساعت)، qp دبی پیک هیدروگراف واحد لحظه‌ای و tp زمان تا اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای و e عدد نپر (۲,۷۱۸) است.

ارزیابی مدل GIUH در حوضه کنگیر

بمنظور ارزیابی مدل GIUH ابتدا تعداد، متوسط طول، متوسط مساحت و طول بالاترین رتبه آبراهه، از رقوم‌سازی شکل توپوگرافی استخراج گردید. در این تحقیق جهت محاسبه RB ، RA و RL ، از روش ترسیمی (جین و دیگران، ۱۹۹۷ ص ۲۳) استفاده شده است. در این روش اگر رتبه آبراهه روی محور افقی و تعداد، متوسط طول و متوسط مساحت هر رتبه روی محور لگاریتمی عمودی ترسیم شود، شیب خط‌های بدست آمده، لگاریتم نسبت‌های انشعابات، مساحت و طول است و چنانچه از آن آنتی لوگ گرفته شود نسبت‌های مذکور بدست می‌آید.

بعد از استخراج پارامترهای ژئومورفولوژی کمی (جدول شماره ۱)، تعداد ۵ واقعه منفرد بارندگی - رواناب که از صحت بیشتری برخوردار بودند، از ایستگاه‌های باران سنج ثبات و هیدرومتری ایوان غرب (در خروجی حوضه) انتخاب گردیدند. به منظور تعیین سرعت جریان، معادلات توانی دبی - سرعت برای سالهای مورد نظر، بر اساس داده‌های دبی - سرعت استخراج گردید.

سال ۱۳۷۱

$$Y = 0.2424 \ln(X) + 0.8422$$

$$R^2 = .87$$

سال ۱۳۷۲

$$Y = 0.3297 \ln(X) + 0.97$$

$$R^2 = 0.86$$

سال ۱۳۷۳

$$Y = 0.2326 \ln(X) + 0.6263$$

$$R^2 = 0.61$$

سال ۱۳۷۷

$$Y = 0.2326 \ln(X) + 0.6263$$

$$R^2 = 0.61$$

جدول ۱ پارامترهای ژئومورفولوژی کمی حوضه کنگیر

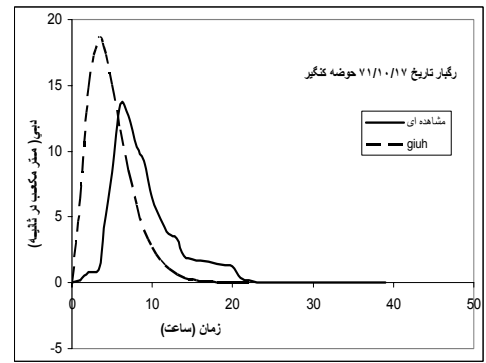
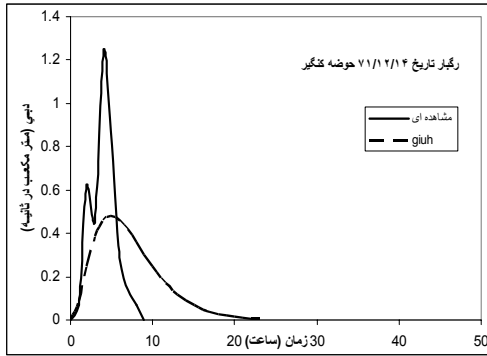
درجه آبراهه	تعداد آبراهه (N)	به وسیله مساحت (کیلومتر مربع)	به وسیله طول (کیلومتر)
۱	۴۴۸	۰,۱۴۹۵	۰,۵۹۲۶
۲	۹۱	۰,۸۱۵	۱,۱۶۴
۳	۲۳	۳,۱۰۵	۲,۲۸۸
۴	۷	۱۰,۸۱۴۸	۲,۳۰۹
۵	۱	۱۲۲,۷۱	۱۱,۷۶۴
$A\Omega=122.71$ (کیلومتر)	RB=4.381	RA=4.95 (کیلومتر)	RL=1.946 L Ω =11.764 (کیلومتر)

بعد از جدا سازی رواناب پایه و استخراج حجم رواناب، شدت بارش موثر و طول مدت بارش موثر (به روش فی) استخراج گردید. به کمک روابط ۲ و ۳، qp و tp رگبارها، محاسبه، و دبی پیک (متر مکعب در ثانیه) و زمان تا اوج (ساعت) هیدروگراف‌های خروجی روش GIUH بر اساس روابط ۴ و ۶ محاسبه شد (جدول شماره ۲).
با توجه به اینکه QP و TP روابط ۴ و ۶، به مترمکعب می‌باشند، واحد Q(t) و qp در رابطه ۷ بعنوان متر مکعب در ثانیه منظور شده است. بنابراین در ترسیم شکل کامل هیدروگراف خروجی روش GIUH، به جای qp در رابطه ۷ از QP رابطه ۴ استفاده شده است. همچنین به جای tp در این رابطه، TP رابطه ۶ منظور شده است.

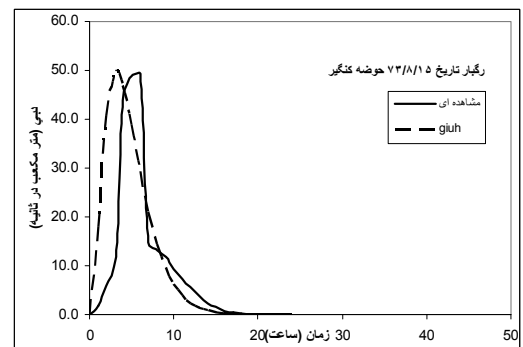
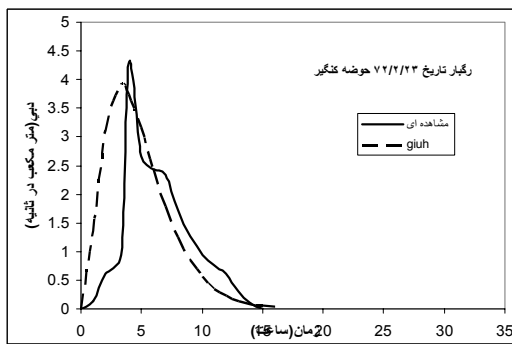
جدول ۲ پارامترهای برآورد شده و مشاهده‌ای پنج واقعه سیلاب در حوضه کنگیر

تاریخ سیلاب	سرعت (متر در ثانیه)	qp بر ساعت	tp ساعت	متر مکعب در ثانیه (GIUH) QP	ساعت (GIUH) TP	مشاهده ای (متر مکعب در ثانیه) QP	مدت بارش موثر (T _r)	ارتفاع بارش (I _r) (میلیمتر)	بارش اولیه (میلیمتر)	ضریب رواناب
۷۱/۱۰/۱۷	۱,۴۷	۰,۲۱۷	۲,۵۵	۱۸,۶۲	۳,۳	۱۳,۶۱	۱	۰,۲۸۴	۹۷,۵	۰,۰۲۷
۷۱/۱۲/۱۴	۰,۸۹۴	۰,۱۳۲	۴,۲	۰,۴۸	۴,۹	۱,۲۴	۱	۰,۰۱۱	۳۴,۱	۰,۰۰۳۲
۷۲/۲/۲۳	۱,۴۵	۰,۲۱۵	۲,۵۹	۳,۹	۳,۳	۴,۳	۱	۰,۰۶	۴۳,۱	۰,۰۱۳
۷۳/۸/۱۵	۱,۵۳	۰,۲۲۸	۲,۴۵	۴۹,۶۹	۳,۲	۴۹,۱۹	۱	۰,۶۸۱۲	۵۰,۳	۰,۱۳۵۴
۷۷/۱/۹	۱,۷۳	۰,۲۵۶	۲,۱۷	۱۰۰,۳۹	۵,۹	۱۱۶	۵	۱,۶۹	۸۴,۷	۰,۲

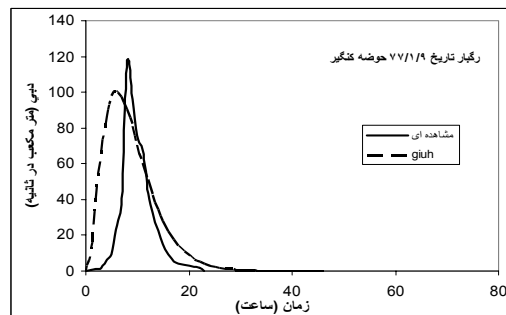
شکل‌های ۵ تا ۹، هیدروگراف واحد لحظه‌ای پیش‌بینی شده و مشاهده‌ای ۵ واقعه سیل را برای حوضه کنگیر نشان می‌دهند. بر اساس شکل‌های مذکور، دبی‌های پیک پیش‌بینی شده رگبارهای تاریخ ۷۱/۱/۹، ۷۲/۲/۲۳ و ۷۱/۱۲/۱۴ پایین‌تر از دبی‌های پیک مشاهده‌ای هستند. رگبار تاریخ ۷۱/۱۰/۱۷ دارای دبی اوج محاسبه‌ای بیش از مشاهده‌ای است و در تاریخ ۷۳/۸/۱۵ دبی‌های پیک مشاهده‌ای و محاسبه‌ای به هم بسیار نزدیکند. بر اساس شکل‌های شماره ۵ تا ۹، در تمامی وقایع، بجز واقعه ۷۱/۱۲/۱۴، دبی پیک مشاهده‌ای، دیرتر از دبی پیک برآورد شده، اتفاق افتاده است.



شکل ۱ هیدروگراف مشاهده ای و برآورد شده رگبار تاریخ ۷۱/۱۰/۱۷ شکل ۲ هیدروگراف مشاهده ای و برآورد شده رگبار تاریخ ۷۱/۱۲/۱۴



شکل ۳ هیدروگراف مشاهده ای و برآورد شده رگبار تاریخ ۷۲/۲/۲۳ شکل ۴ هیدروگراف مشاهده ای و برآورد شده رگبار تاریخ ۷۳/۸/۱۵



شکل ۵ هیدروگراف مشاهده ای و برآورد شده رگبار تاریخ ۷۷/۱/۹

ارزیابی کارایی مدل GIUH در پیش بینی شکل هیدروگراف سیلاب، بر اساس تابع خطا (ERR) انجام شده است (لی^۱، ۱۹۷۲ به نقل از سارانگی ۲۰۰۷ ص ۱۱۳۷) که بر اساس مقایسه دبی پیک مشاهده ای و مقایسه ای و زمان تا اوج مشاهده ای و مقایسه ای، محاسبه می گردد:

$$ERR = \left[\left(\frac{QP - \hat{QP}}{\hat{QP}} \right)^2 + \left(\frac{TP - \hat{TP}}{\hat{TP}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times 100 \quad \text{رابطه (۹)}$$

^۱- Lee

که در آن

QP : دبی پیک مشاهده‌ای

\hat{QP} : دبی پیک محاسبه‌ای

TP : زمان تا اوج مشاهده‌ای

\hat{TP} : زمان تا اوج محاسبه‌ای می‌باشند.

ارزیابی کارایی مدل GIUH در پیش‌بینی دبی پیک هیدروگراف بر اساس میانگین درصد خطای نسبی (رابطه شماره ۱۰) انجام شده است (مندنهال^۱، ۱۹۸۹، به نقل از غیائی (۱۳۸۳):

$$RME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n REi \quad (10)$$

$$REi = \frac{Q_{op} - Q_{cp}}{Q_{op}} \times 100 \quad (11)$$

که در آن

RME میانگین درصد خطای نسبی

REi: درصد خطای نسبی دبی پیک در هر برآورد

Q_{op} دبی اوج مشاهده‌ای

Q_{cp} دبی اوج محاسبه‌ای هستند.

جدول ۳ مقادیر تابع خطا (ERR) و درصد خطای نسبی (REi) برای هر رگبار در حوضه کنگیر

REi (%)	ERR (%)	تاریخ رگبار
۳۶,۸۱	۸۶,۱۳	۷۱/۱۰/۱۷
۶۱,۲۹	۱۵۹,۴	۷۱/۱۲/۱۴
۹,۳	۲۳,۵۶	۷۲/۲/۲۳
۱,۰۱	۸۷,۵۱	۷۳/۸/۱۵
۱۳,۴۶	۳۸,۸۴	۷۷/۱/۹
۲۴,۳۷۴	۷۹,۰۹	میانگین

بر اساس جدول شماره ۳، مقادیر تابع خطا، که هر دو پارامتر دبی‌های پیک و زمان‌های تا پیک هیدروگرافهای مشاهده‌ای و محاسبه‌ای را در نظر می‌گیرد، در رگبارهای تاریخ ۷۲/۲/۲۳ و ۷۷/۱/۹، از سایر رگبارها کمتر است. همچنین درصد خطای نسبی مدل GIUH در برآورد دبی پیک سیلاب‌های تاریخ ۷۳/۸/۱۵ و ۷۲/۲/۲۳ از سایر وقایع کمتر است. به‌طور

^۱- Mendenhall

کلی بر اساس جدول شماره ۳، کارایی مدل مورد مطالعه در برآورد دبی‌های پیک سیلاب بهتر از کارایی آن در برآورد زمان‌های تا اوج سیلاب است.

بحث و نتیجه گیری

ارزیابی مدل GIUH در این تحقیق، بر اساس ۵ واقعه سیل انجام گردید. بررسی و مقایسه داده‌های برآورد شده و مشاهده‌ای نشانگر آن است که کارایی مدل GIUH در برآورد شکل کامل هیدروگراف پایین بوده، در حالی که کارایی آن در برآورد دبی پیک سیلاب‌ها نسبتاً مناسب است. همچنین نتایج مدل مذکور، در رگبارهای مختلف، متفاوت بوده و روند ثابتی را نشان نمی‌دهد. تقریباً در تمامی رگبارها، زمان‌های تا اوج مشاهده‌ای سیلاب بالاتر از زمان‌های تا اوج محاسبه‌ای هستند. مدل GIUH از طریق ژئومورفولوژی کمی حوضه و ثابت فرض نمودن سرعت جریان (سرعت دبی پیک سیلاب) و شدت بارش موثر، سیلاب را برآورد می‌کند، در حالی که ژئومورفولوژی متفاوت حوضه‌ها و همچنین تغییرات بارش، نتایج این مدل را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ویژگی‌های خاص حوضه مورد مطالعه مانند انواع چاله‌ها و درز و شکاف‌های آهکی و تکتونیکی (شکل ۱۵-الف)، پوشش گیاهی نیمه متراکم (شکل ۱۵-ب) و درز و شکاف‌های تکتونیکی عمود بر شیب توپوگرافی (شکل ۱۵-ج)، همه در نفوذ پذیری و کاهش ضریب رواناب و ویژگی‌های سیلاب، نقش موثری ایفا می‌نمایند.

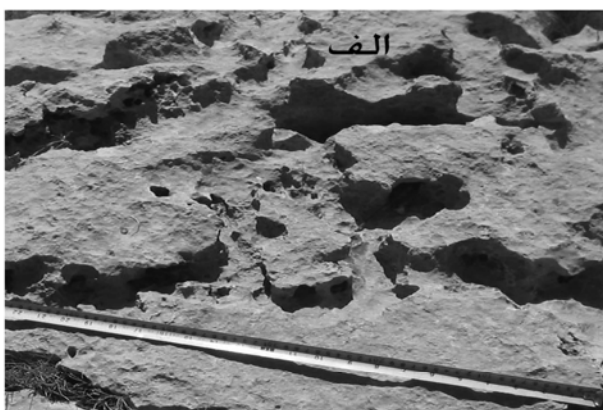
از ویژگی‌های خاص حوضه مورد مطالعه، غلبه اشکال کارستیکی اعم از دولین، لاپه‌ها و همچنین درز و شکاف‌های تکتونیکی است. نمونه برداری‌هایی که در سنگ بستر آهکی (سازند آسماری) رشته کوه بانکول و شره زول انجام شد، نشانگر تنوع و گستردگی اشکال کارستیکی و درز و شکاف‌های تکتونیکی است. نتایج ۲۰ نمونه برداری از ابعاد و جهات اشکال کارستی و درز و شکاف‌ها در ابعاد ۲۵ متر مربعی نشان می‌دهد که به طور متوسط ۲۸ درصد سنگ بستر را چاله‌های بسته با ابعاد مختلف تشکیل می‌دهند. در هر متر مربع به طور متوسط ۱۵۰ سانتیمتر درز و شکاف با پهنای متوسط ۷ سانتیمتر اندازه گیری شده است. نتایج جهت درز و شکاف‌ها نشان داد که با وجود جهت متقاطع درزها و زاویه ۴۵ درجه نسبت به شیب توپوگرافی، بی‌نظمی‌های زیادی در جهات درزها دیده می‌شود.

عوامل فوق باعث کاهش ضریب رواناب در این حوضه شده به طوری که در تمامی رگبارها، ضریب رواناب کمتر از ۲۰ درصد است. از طرف دیگر، با افزایش بارندگی (همانند رگبار تاریخ ۷۷/۱/۹ که مقدار بارش اولیه آن ۹۷٫۵ میلی‌متر است) ظرفیت نگهداری رواناب توسط اشکال کارستیکی کاهش یافته و ضریب رواناب افزایش می‌یابد. بنابراین دبی اوج مشاهده‌ای بیشتر از دبی اوج محاسبه‌ای، است.

علاوه بر ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوضه، توزیع زمانی شدت بارش در یک رگبار نیز نقش موثری در هیدروگراف سیل ایفا می‌نماید. بررسی شدت بارش در واقعه سیل ۷۲/۱۲/۱۴ نشان می‌دهد که بیش از ۶۸ درصد بارش اولیه در کمتر از ۳۰ دقیقه اول بارش اتفاق افتاده است. مدل GIUH شدت بارش را ثابت فرض می‌کند و به همین دلیل در واقعه ۷۲/۱۲/۱۴ دبی پیک مشاهده‌ای بیش از دبی محاسبه‌ای، است.

به طور کلی، اشکال ژئومورفولوژی و لندفرمهای کارستیکی نقش مهمی در نتایج این مدل در حوضه مورد مطالعه ایفا می‌نمایند. در مواردی دبی‌های پیک محاسبه‌ای بالاتر از دبی‌های پیک مشاهده‌ای بوده و در مواردی برعکس می‌باشد و نتایج مدل، روند ثابت و مشخصی را نشان نمی‌دهد. اشکال کارستیکی دارای نقش پیچیده‌ای در تولید آبهای سطحی و زیرزمینی داشته و در رگبارهای مختلف، نقش متفاوتی ایفا می‌کنند.

به طور کلی، با وجود کارایی مناسب مدل GIUH در پیش‌بینی سیلاب در حوضه‌های مختلف در ایران و دیگر کشورها، اشکال خاص ژئومورفولوژی و لندفرم‌های کارستیکی در حوضه مورد مطالعه و روابط پیچیده آنها با ویژگی‌های بارش، مورفومتری و آبهای سطحی و زیرزمینی، کارایی این مدل را در پیش‌بینی هیدروگراف سیل، کاهش داده است. با توجه به موارد فوق، پیشنهاد می‌گردد که در ارزیابی مدل مذکور که صرفاً به عوامل ژئومورفولوژی کمی حوضه توجه دارد، اشکال خاص ژئومورفولوژی و ویژگی‌های بارش در هر حوضه مطالعه و بررسی شود.



شکل ۱۵ اشکال کارستیکی (الف) پوشش گیاهی (ب) و جهت شیب توپوگرافی نسبت به شیب ساختمانی (ج)

منابع

- ۱- رحیمیان، رامین و زارع، محمد؛ ۱۳۷۴؛ کاربرد هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی جهت بررسی در حوضه‌های فاقد آمار؛ مجموعه مقالات سومین سمینار هیدرولوژی وزارت نیرو، ص ۲۲۷-۲۰۳.
- ۲- سازمان زمین شناسی کشور؛ شکل زمین شناسی ایلام با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ شماره ۵۲-۵۷.
- ۳- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۵۱؛ شکل توپوگرافی شماره (۱) ۵۲-۵۷.

- ۴- عرفانیان، مهدی، تلوری، عبدالرسول؛ ۱۳۸۲؛ بسط تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفیک و ژئومورفوکلیماتیک در حوضه آبخیز سمنان؛ ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، ص ۱۲۰-۱۱۳.
- ۵- علیزاده، امین؛ ۱۳۸۱؛ اصول هیدرولوژی کاربردی؛ انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۵۲۰-۵۱۳.
- ۶- غیاثی، نجفقلی؛ ۱۳۷۴؛ واسنجی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و ژئومورفوکلیماتولوژی حوضه آبخیز امامه؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ۷- غیاثی، نجفقلی؛ ۳۸۳؛ واسنجی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و ژئومورفوکلیماتولوژی حوضه کسلیان و ليقوان؛ طرح پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی
- ۸- مهدوی، محمد؛ ۱۳۷۱؛ هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم؛ انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۲۸
- ۹- نصیری، علی؛ ۱۳۸۴؛ آنالیز روابط متغیرهای ژئومورفولوژی- هیدرولوژی در مدل سازی برآورد سیل در حوضه امامه؛ رساله دکتری؛ دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا

- 10- Allam, M. N. and Balkhair, K. S., 1987. Case study evaluation of geomorphologic instantaneous unit hydrograph. *Water Resources Management* 1, 267-291
- 11- Al-Wagdany, A.S. and Rao, A .R., 1998. Correlation of the velocity parameter of three geomorphological instantaneous unit hydrograph models. *Hydrological processes* 12, 651-659
- 12- Bhaskar, N.R., Parida, B.P. and Nayal, A.K., 1997. Flood estimation for ungauged catchment using the GIUH. *Journal of Water Resources Planning and Management* 7, 228-238.
- 13- Bras, R.L., 1990. An introduction to hydrologic science, Addison- Wesley Publishing Company, P. 567-610
- 14- Gupta, V., Waymire, E., Wang, C., 1980. A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology. *Water Resource Research* 16(5), 855-862.
- 15- Jain, S.K., Chowdhry, H., Seth, S.M., Nema, R.K., (1997) Flood estimation using a GIUH based on a conceptual rainfall-runoff model and GIS. *ITC J* 1997-1:20-25.
- 16- Jain, S.K., Singh, R.D., Seth, S.M., 2000. Design flood estimation using GIS supported GIUH approach. *Water resources management* 14, 369-376
- 17- Jain, V., Sinha, R., 2003. evaluation of geomorphic control on flood hazard through Geomorphic Instantaneous Unit Hydrograph. *Current Science* 85(11), 1596-1598.
- 18- Jain, V., Sinha, R., 2003. Derivation of Unit Hydrograph from GIUH Analysis for a Himalayan River. *Water Resources Management* 17, 335-375
- 19- Kirshen, D. M. and Bras, R. L., 1983. The linear channel and its effect on the geomorphologic IUH. *J. Hydrol* 65, 175-208.
- 20- Kumar, R., Chatterjee, C., Singh, R.D., Lohani, A.K., Kumar, S., 2004. GIUH based Clark and Nash models for runoff estimation for an ungauged basin and their uncertainty analysis. *IntL. J. River Basin Management* 2(4), 281-290
- 21- Lee, M.T., Blank, D., Dellur, J.W., (1972). A program for estimating runoff from Indiana watersheds, Part II. Assembly of hydrologic and geomorphologic data for small watersheds in Indiana. Tech Rep. No. 23, Purdue University, Water Resources Research Centre, Lafayette, Indiana
- 22- Meadows, M.E., 1987. results of a regional synthetic unit hydrograph study ., in Feldman, A.D., ED., *Engineering Hydrology.*, New York, American society of civil engineers., p.622-626.
- 23- Rodriguez-Iturbe, I., 1993. the Geomorphic Unit Hydrograph., in Beven, K., Kirkby, M.J., ED., *Channel Network Hydrology.*, John Wiley & Sons, P.43-68
- 24- Rodriguez-Iturbe, I., Valdes, J., 1979. The geomorphological structure of hydrologic response. *Water Resources Research* 15 (6), 1409-1420.
- 25- Rodriguez-Iturbe, I., Devoto, G., Valdes, J., 1979. discharge response analysis and hydrologic similarity: the interrelation between the geomorphologic IUH and the storm characteristics. *Water Resources Research* 15 (6), 1435-1444.

- 26-** Sarangi , A., Madramootoo, C.A., Enright, P., Prahser, S.O.,2007. evaluation of three unit hydrograph models to predict the surface runoff from a Canadian watershed. *Water Resources Management* 21(7), 1127-1143
- 27-** Schuller, D., 1999. *Geomorphologic Characteristics and Response of Indiana Watersheds*. Ph.D Thesis. West Lafayette, IN.
- 28-** Shamseldin, A.Y. and Nash,J.E., 1998.the geomorphological unit hydrograph-a critical review. *Hydrology and Earth System Sciences* 2(1), 1-8
- 29-** Sorman, A.U., 1995.Estimation of peak discharge using GIUH model in Saudi Arabia. *J Water Resour Plann Manage* 121(4), 287-293
- 30-** Valdes, J., Fiallo.Y., Rodriguez-Iturbe, I., 1979.A rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH. *Water Resources Research* 15 (6), 1421-1434.
-