

## برآورد سیلاب حوضه‌های فاقد آمار به روش آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شور اندیکا رود کارون)

تورج سبزواری<sup>۱\*</sup>، علی حسن نژاد<sup>۲</sup>، سیدعبدالنبی رضوی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۳/۲۵

### چکیده

پیش‌بینی بده و رفتار سیلاب حوضه‌های آبخیز فاقد آمار یکی از مهمترین مباحث در علم آبشناسی و طراحی سازه‌های آبی می‌باشد. آنچه توجه بیشتر دانشمندان را به خود معطوف ساخته، توسعه‌ی انگاره‌هایی در زمینه‌ی ارتباط میان پاسخ آبشناسی و ویژگیهای زمین ریخت‌شناسی در حوضه‌های بدون آمار، یا با آمار اندک است. در این تحقیق آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی (GIUH) بر مبنای روش کلارک و ناش به‌منظور شبیه‌سازی آبنمود رواناب سطحی (DSRO) برای چهار رویداد بارش - رواناب از حوضه‌ی شور اندیکا در استان خوزستان به کار گرفته شده است. کارایی GIUH بر مبنای روشهای کلارک و ناش در شبیه‌سازی آبنمودهای DSRO با گزینه‌ی کلارک نرم‌افزار HEC-HMS و روش IUH با کاربرد روش ناش با استفاده از توابع هدف متعارف مقایسه شده است. فراسنجهای زمین ریخت‌شناسی حوضه‌ی شور اندیکا تحت عنوان نسبتهای هورتون با استفاده از GIS از نقشه‌های پستی و بلندی و آب نگاری حوضه استخراج گردید. فراسنج پویایی سرعت برای هر رویداد بطور مجزا با استفاده از روابط منطقه‌ای بین سرعت جریان و شدت مبه وسیله بارش مازاد با توجه به ویژگیهای هندسی مقطع عرضی رود به‌دست آمده است. براساس نتایج به‌دست آمده انگاره‌ی GIUH، در برآورد شکل و ابعاد آبنمودهای DSRO حوضه شور اندیکا نسبت به روشهای متعارف IUH از دقت و کارایی بهتری برخوردار است.

**واژه‌های کلیدی:** آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی، سیلاب، حوضه‌ی فاقد آمار، شور اندیکا.

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، گروه مهندسی عمران، استهبان، ایران.

۲- کارشناس ارشد آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان، ارسنجان، ایران.

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آبادان، گروه مهندسی عمران، آبادان، ایران.

\*- نویسنده مسئول: t\_sabzevari@iauestahban.ac.ir

## مقدمه

پیش‌بینی و درک کمی فرایندهای تولید رواناب و جریان آن به دهانه‌ی آبخیز یکی از مباحث پایه‌ای در علم آبشناسی به‌شمار می‌آید. واکنش یک حوضه در برابر بارندگی و تبدیل آن به رواناب متأثر از بسیاری فراسنجهای زمانی و مکانی حوضه‌ی آبخیز می‌باشد، که این فراسنجهای می‌توانند شامل ویژگیهای گیتاشناسی، مورفولوژی و زمین‌شناسی حوضه، چگونگی پراکندگی آبراهه‌ها در سطح حوضه، پوشش گیاهی و چالابها، شدت و مدت بارش رگبارها، توزیع، جهت و همچنین نوع آنها باشد.

تلاشهای متفاوتی برای ارتباط بین فراسنجهای قابل اندازه‌گیری حوضه و فراسنجهای شبیه‌های بارندگی-رواناب انجام گرفته است. در این راستا، اقدامات رودریگز-ایتورب و والدز (۱۹۷۹) که جزییات زمین ریخت‌شناسی و ویژگیهای اقلیم‌شناسی حوضه را در چارچوب توزیع زمانی پیمایش برای استخراج جریان رود مورد بررسی قرار داده اند، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. بیان ریاضی آغازین<sup>۱</sup> GIUH بر مبنای تابع چگالی احتمال تاریخیچه‌ی زمانی یک قطره بارش مؤثر که به صورت تصادفی انتخاب شده و حوضه را طی کرده و در وضعیت تله اندازی حوضه فرضی قرار می‌گیرد، بنا شده است. در این تحلیل از فرآیند مارکوف پیوسته مورد استفاده قرار گرفت که وضعیت در آن مرتبه‌ی جریان است که قطره مورد نظر در هر لحظه در آن قرار دارد.

فراسنجهای شبیه با توجه به قوانین رتبه‌بندی هورتون (هورتون، ۱۹۴۵) در شبکه‌ی زهکشی و الگوی رتبه‌بندی جریان استراهلر تعیین شده است. استراهلر (۱۹۵۷) فرض کرد که شمار جریانها از نظر رتبه‌بندی، طول و مساحت زهکشی متناظر، در صورتی که به ترتیب منظم شوند، با یکدیگر رابطه‌ی تصاعد هندسی دارند. رینالدو و رودریگز-ایتورب (۱۹۹۶) و رودریگز-ایتورب و رینالدو (۱۹۷۹) بیان کردند که تابع چگالی احتمال زمان حرکت تابعی از شکل حوضه است که به وسیله‌ی شبکه جریان و دیگر ویژگیهای طبیعی ایجاد شده است. به هر حال، آنها

بیان کرده‌اند که  $IUH^2$  مثلی در اغلب موارد تقریبی رضایت بخش فراهم می‌کند (رودریگز-ایتورب، ۱۹۷۹). در مطالعات بعدی، روسو (۱۹۸۴) از موسسه‌ی هیدرولیک دانشگاه جنوا ایتالیا با استفاده از توزیع دو فراسنجه‌ی گاما که برای استخراج آبنمود واحد لحظه‌ای به وسیله ناش (۱۹۵۷) ارائه شده بود و همچنین نسبتهای  $(R_A, R_B, R_L, L_Q)$ ، که به نسبتهای هورتون معروفند و با به کارگیری دو رابطه‌ی برآورد بدهی اوج و زمان تا اوج آبنمود واحد لحظه‌ای (زمین ریخت شناسی)، محاسبه فراسنج شکل  $n$  و فراسنج مقیاس  $k$  را با نسبتهای هورتون ارائه نمود.

کومار (۲۰۰۲) به پژوهشی تحت عنوان تحلیل حساسیت GIUH بر مبنای روش کلارک برای یک حوضه‌ی آبخیز پرداخت. در این تحقیق ضریب نسبی حساسیت  $(S_F)$  برای سه فراسنج نسبت طول  $(R_L)$  و طول آبراهه اصلی  $(L_Q)$  و فراسنج پویایی سرعت  $(V)$ ، که در معادله بدهی اوج آبنمود GIUH به کار رفته‌اند، محاسبه شده است. نتایج مقادیر ضریب حساسیت  $(S_F)$  حاکی از آنند که معادله‌ی بدهی اوج آبنمود GIUH با تغییر فراسنجهای  $V$  و  $L_Q$  بیشترین حساسیت و با تغییر فراسنج،  $R_L$  نسبتاً کمترین حساسیت را از خود نشان می‌دهد. همچنین کومار (۲۰۰۷) به پژوهشی تحت عنوان برآورد رواناب به وسیله روشهای آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی، در حوضه‌ی رود آجای در جامتارای هند شمالی بدون استفاده از داده‌های رواناب قدیمی پرداخت. وی فراسنجهای زمین ریخت شناسی مورد نیاز از حوضه را با استفاده از نرم‌افزارهای GIS<sup>۳</sup>، برآورد زده و نتایج حاصل از دو شبیه‌ناش (۱۹۵۷) و کلارک (۱۹۴۵) را با آبنمودهای رواناب سطحی مستقیم (DSRO)<sup>۴</sup> استخراج شده از آبنمود واحد لحظه‌ای براساس شبیه‌ناش و همچنین گزینه شبیه کلارک نرم‌افزار HEC-1 و آبنمود DSRO مشاهده شده در حوضه مقایسه کرد. در این مقایسه، براساس توابع هدف به کار برده شده، آبنمودها با دقت قابل قبولی همپوشانی داشته و بیانگر کارایی این دو روش در حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد.

2 Instantaneous Unit Hydrograph  
3 Geographic Information System  
4 Direct Surface Runoff

1 Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph

آنها را به کمک اعداد متوالی تعیین نمود. رتبه‌ی آبراهه در دهانه‌ی آبخیز معرف رتبه‌ی حوضه است.

هورتون (۱۹۴۵) نخستین کسی بود که بطور اساسی در مورد کمی کردن ویژگیهای زمین ریخت شناسی حوضه تمرکز نمود. کارهای هورتون را استراهلر (۱۹۵۷) پیگیری کرد. او دریافت که در یک منطقه با ساختار زمین شناسی و اقلیمی یکنواخت، بین شمار آبراهه، طول آبراهه و سطح زهکشی آبراهه‌های با رتبه‌های متوالی نسبت ثابتی برقرار است. برای به دست آوردن این نسبتها برای حوضه رتبه‌ی  $\Omega$  از روابط زیر استفاده شده است:

$$R_L = \frac{L_{\Omega}}{L_{\Omega-1}} \quad R_B = \frac{N_{\Omega}}{N_{\Omega+1}} \quad R_A = \frac{A_{\Omega}}{A_{\Omega-1}} \quad (1)$$

که در آنها  $R_A$  و  $R_B$  و  $R_L$  به ترتیب بیانگر نسبت مساحت، نسبت انشعابات و نسب طول می‌باشند.  $A_{\Omega}$ ،  $N_{\Omega}$  و  $L_{\Omega}$  به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مبه وسیله مساحت، شمار آبراهه‌ها و مبه وسیله طول آبراهه‌های رتبه  $i$  می‌باشد (ساهو، ۲۰۰۶).

### آب‌نمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی (GIUH)

بده و زمان آب‌نمود واحد لحظه‌ای به عنوان شاخصهای شناسایی در تعیین تشابه آبشناسی معیارهای سودمندی هستند که با توجه به واکنش آبشناسی آبخیز نسبت به ساختار زمین ریخت شناسی و فراسنج پویایی سرعت جریان می‌توان آنها را محاسبه کرد. با این تفصیل، چنانچه مقادیر بده و زمان اوج آب‌نمود واحد لحظه‌ای به درستی تعیین گردند، شکل دقیق و کامل آن اهمیت چندانی نداشته و یک تقریب مثلی برای آن رضایت بخش است، پس می‌توان نوشت (سالاری ۱۳۸۸):

$$q_p \cdot t_b = 2 \quad (4)$$

$t_b$  زمان پایه (ساعت)؛  $q_p$  بده‌ی اوج (بر ساعت).

رودریگز-ایتورب و والدز (۱۹۷۹) پی بردند که بده‌ی اوج آب‌نمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسیک (بر ساعت) و زمان اوج (ساعت) با سرعت جریان (متر بر ثانیه) به ترتیب رابطه‌ی مستقیم و معکوس دارند:

$$q_p = \theta V \quad (5)$$

ساهو (۲۰۰۶) در پژوهشی تحت عنوان برآورد سیلاب به‌وسیله GIUH بر مبنای شبیه‌های کلارک و ناش در حوضه‌ی آجای در جامتارای هند، با استفاده از اطلاعات استخراج شده از حوضه به کمک نرم‌افزارهای ERDAS و GIS، در دو مقیاس (نقشه ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰) و با مقایسه‌ی آب‌نمودهای DSRO نهایی به دست آمده از دو روش ناش و کلارک به این نتیجه رسید که مقیاس نقشه اثر قابل توجهی در آب‌نمود خروجی دارد و با تغییر آن، دگرگونی‌هایی در فراسنجهای زمین ریخت شناسی و درجه‌ی حوضه پیدا می‌شود. این پژوهشگر همچنین اعلام داشت که DSRO به دست آمده بر مبنای شبیه‌های GIUH در دو مقیاس ذکر شده دارای دقت معقولی بوده و از این رو می‌توان در صورت در دسترس نبودن نقشه با مقیاس کوچکتر، از مقیاس بزرگتر نیز استفاده کرد.

این روش در حوضه‌هایی از ایران نیز تحت عنوان پژوهش‌های مختلف به وسیله پژوهشگران داخلی از جمله، حبیب‌نژاد (۱۳۸۲) و سالاری‌جزی (۱۳۸۸) به کار گرفته شده است، که همگی گویای کارایی بالای روش آب‌نمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی به صورت مثلی، ناش و کلارک نسب به روشهای متعارف برآورد آب‌نمودهای رواناب سطحی می‌باشد.

بطور کلی، مهمترین اهداف این تحقیق به شرح زیر است:

- ۱- ارزیابی فراسنجهای زمین ریخت شناسی حوضه‌ی شور اندیکا در دهانه‌ی آبخیز.
- ۲- استخراج آب‌نمود رواناب مستقیم با استفاده از آب‌نمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی بر مبنای روشهای ناش و کلارک، بدون استفاده از داده‌های قدیمی رواناب.
- ۳- ارزیابی نتایج حاصل از دو روش مزبور به همراه نتایج روش آب‌نمود واحد لحظه‌ای ناش و گزینه‌ی روش کلارک نرم‌افزار (HEC-HMS) با آب‌نمودهای رواناب مشاهده‌ای حوضه با کاربرد توابع هدف.

### زمین ریخت شناسی حوضه‌های آبخیز

مبانی هرگونه تجزیه و تحلیل عددی ویژگیهای حوضه آبخیز، با مفهوم رتبه‌بندی آبراهه (یا دره) ارتباط دارد. نقشه‌ای از یک شبکه‌ی کامل شاخه‌های آبراهه را می‌توان با تقسیمات فرعی، به نه‌های طولی مجزا یا اجزای نه‌ر تقسیم کرد و با توجه به درجه‌ی اهمیت هر یک، رتبه‌ی

تفضیلی باران- رواناب مقایسه کرده و نتیجه گرفتند که، صرفنظر از تغییرات فراسنج پویایی سرعت جریان در خلال وقوع یک رگبار معین، به خوبی می‌توان آبنمود واحد لحظه‌ای را از طریق سرعت اوج جریان  $V_{max}$  نیز توصیف نمود، چه برآورد بدهی اوج و زمان آبنمود جریان ناشی از یک رگبار تحت تأثیر یک ویژگی خاص مانند تغییرات سرعت جریان قرار نمی‌گیرند.

### آبنمود واحد لحظه‌ای (IUH) با کاربرد روش ناش

ناش معادله‌ای برای IUH به دست آورد که با فرض عملکرد حوضه به صورت یک گروه مخازن خطی پشت سرهم در تبدیل فرآیند بارش به رواناب است. شبیه ناش بر پایه‌ی شبیه‌سازی عملکرد حوضه با جایگذاری  $n$  مخزن گروه، که هرکدام دارای معادله مشخصه‌ی ذخیره‌ای  $S=KQ$  است، بوده که در آن  $S$  حجم آب ذخیره شده در مخزن در زمان  $t$  و  $Q$  بدهی خروجی مخزن در همان زمان و  $K$  ثابتی با واحد زمان است که به عنوان زمان تأخیر مخزن نامیده می‌شود. خروجی هر مخزن به عنوان ورودی مخزن بعدی است و اگر مقدار یک سانتیمتر بارندگی وارد مخزن اول گردد، خروجی از مخزن  $n$ ام چیزی جز هیدروگراف واحد لحظه‌ای نیست؛ لذا، معادله‌ی به دست آمده به این صورت است:

$$U(t) = \frac{1}{K\Gamma_n} e^{\left(\frac{-t}{K}\right)} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} \quad (12)$$

هر چند عدد غیر صحیح برای شمار مخازن مفهوم فیزیکی ندارد، ولی ناش آن را به عنوان یک فرض و از طریق تابع گاما ( $\Gamma_n$ ) در شبیه خود وارد کرد.

مولفه‌ی IUH براساس معادله‌ی ۱۲، تابع مقادیر  $K$  و  $n$  است. برای به دست آوردن فراسنجهای شبیه ناش از روابط زیر استفاده شده است.

$$MQ_1 - MI_1 = n.K \quad (13)$$

$$MQ_2 - MI_2 = n(n+1)K^2 + 2nK MI_1 \quad (14)$$

که در آن  $MI_1$ ،  $MQ_1$ ،  $MI_2$  و  $MQ_2$  به ترتیب گشتاورهای اول و دوم رواناب و بارش مازاد حول مبدا می‌باشد.

$$t_p = \frac{K}{V} \quad (6)$$

نامبردگان برای پی بردن به رابطه‌ی  $\theta$  و  $K$  با فراسنجهای زمین ریخت شناسی، تجزیه و تحلیل وایازی را بین  $\theta$  و  $K$  انجام داده و در نهایت روابط وایازی زیر را برای برآورد آنها ارائه دادند:

$$\theta = \frac{1.31R_L^{0.43}}{L_\Omega} \quad (7)$$

$$K = 0.44 L_\Omega R_B^{0.55} R_A^{-0.55} R_L^{-0.38} \quad (8)$$

و در نهایت روابط زیر را برای برآورد بدهی و زمان اوج آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسیک عرضه کردند:

$$q_p = \left( \frac{1.31R_L^{0.43}}{L_\Omega} \right) V \quad (9)$$

$$t_p = 0.44 L_\Omega R_B^{0.55} R_A^{-0.55} R_L^{-0.38} \cdot V^{-1} \quad (10)$$

که در آنها  $q_p$  بدهی اوج (بر ساعت)؛  $t_p$  زمان اوج (ساعت)؛  $L_\Omega$  طول آبراهه رتبه  $\Omega$  (کیلومتر)؛ عبارت‌های  $R_B$  و  $R_L$  طبق تعریف برابر با نسبت سطح، نسبت انشعاب و نسبت طول می‌باشد که از روش رده‌بندی هورتون- استراهلر بدست آمده اند (نقوی، ۱۳۸۲)؛ سرعت جریان (متر بر ثانیه) می‌باشد. حاصلضرب ( $q_p \cdot t_p$ ) مستقل از سرعت جریان و  $L_\Omega$  فراسنج مقیاس می‌باشد که با فرض  $IR = q_p \cdot t_p$  می‌توان نوشت:

$$IR = q_p \cdot t_p = 0.58 \left[ \frac{R_B}{R_A} \right]^{0.55} R_L^{0.05} \quad (11)$$

که  $IR$  بدون بُعد بوده و برای هر حوضه‌ی آبخیز مقداری ثابت است که بر امکان توصیف آبنمود واحد لحظه‌ای با استفاده از  $q_p$  یا  $t_p$  دلالت می‌کند. در واقع  $IR$  یک مقدار ثابت است که مستقل از ویژگیهای رگبار بوده و با زمین ریخت شناسی و واکنش آبنشاسی حوضه‌ی آبخیز رابطه نزدیک دارد.

قابل ذکر است حضور سرعت جریان  $V$  به عنوان یک فراسنج پویایی تأثیر گذار، در انگاره‌ی آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی، سبب می‌شود که آبنمود واحد مزبور از رگباری به رگبار دیگر تغییر کند. رودریگز- ایتورب (۱۹۷۹) آزمایشهای خود را با شبیه‌های

حوضه می‌باشد. همچنین با توجه به معادلات ۱۰ و ۱۷ که در بالا شرح داده شده اند، می‌توان مقدار فراسنج  $K$  (فراسنج مقیاس) را از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

$$K = \frac{t_p}{(n-1)} = 0.44 \left( \frac{L\Omega}{V} \right) \left( \frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.038} \frac{1}{(n-1)} \quad (21)$$

از معادله‌ی بالا مشخص می‌شود که فراسنج  $K$  علاوه بر ویژگیهای گیتا شناسی حوضه به فراسنج پویایی سرعت نیز بستگی دارد، که از بارشی به بارش دیگر متفاوت است (کومار، ۲۰۰۷).

### آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت‌شناسی با

#### کاربرد روش کلارک

آبنمود واحد لحظه‌ای (IUH) که برای نخستین بار به وسیله‌ی کلارک (۱۹۴۵) معرفی گردید، با روندیابی بارش ملزاد به دست می‌آید:

$$Q_2 = \left( \frac{I_1 + I_2}{2} \right) C_0 + Q_1 C_1 \quad (22)$$

که در آن:

$$C_0 = \frac{\Delta t}{K + \frac{\Delta t}{2}} \quad (23)$$

$$C_1 = \frac{K - \frac{\Delta t}{2}}{K + \frac{\Delta t}{2}} \quad (24)$$

که در آن  $I$  و  $Q$  به ترتیب بده‌ی ورودی و خروجی، و نمایه‌های ۱ و ۲ نشانگر آغاز و انتهای دوره‌ی زمانی  $\Delta t$  می‌باشند و  $K$  ضریب ذخیره حوضه در این روش است.

برای محاسبه آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت‌شناسی برمبنای روش کلارک نیاز به مقادیر ورودی می‌باشد؛ برای محاسبه‌ی این ورودیها از روش نمودار زمان-مساحت استفاده می‌شود. با استفاده از داده‌های خروجی GIS و نقشه‌های موجود از حوضه‌ی آبخیز و با استفاده از یک روش مناسب مانند کریپچ (کریپچ ۱۹۴۰) اقدام به محاسبه و برآورد اولیه‌ی زمان جریان رواناب سطحی از مسیرهای بالادست به خروجی حوضه می‌کنیم، طولانیترین زمان پیمایش عبارت است از برآورد اولیه‌ی زمان تمرکز که با  $T_{ci}$  بیان می‌شود (ساهو، ۲۰۰۶).

### آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت‌شناسی با

#### کاربرد روش ناش

این امر، که شکل و قالب GIUH و شبیه ناش IUH برای یک حوضه‌ی معین خیلی بهم نزدیکند بر طبق نظریه‌ی شریو (۱۹۶۶)، و همچنین مفهوم جبری مسیریابی در میان مخازن خطی روسو (۱۹۸۴) و چوتا و دوج (۱۹۹۰) به اثبات رسیده است (کومار، ۲۰۰۷).

شبیه ناش (۱۹۵۷) به صورت معادله‌ی ۱۲ بیان شده است، که در آن  $U(t)$  مقادیر IUH،  $\Gamma_n$  تابع گاما،  $K$  ضریب ذخیره حوضه (فراسنج مقیاس) و  $n$  شمار مخازن خطی (فراسنج شکل) می‌باشد. با مشتق جزیی، معادله‌ی ۱۲ نسبت به زمان می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\frac{1}{U(t)} \frac{d}{dt} [U(t)] = -\frac{1}{K} + \frac{(n-1)}{t} \quad (15)$$

و یا:

$$\frac{d}{dt} [U(t)] = U(t) \left[ -\frac{1}{K} + \frac{(n-1)}{t} \right] \quad (16)$$

با برابر قرار دادن معادله‌ی ۱۶ با صفر و حل آن:

$$MQ_1 - MI_1 = n.K \quad (17)$$

با جایگزینی  $t_p$  حاصله در معادله‌ی ۱۲ و ساده کردن آن، بده‌ی اوج برای آبنمود واحد لحظه‌ای به صورت معادله زیر به دست می‌آید:

$$q_p = \frac{1}{K\Gamma_n} e^{-(n-1)} (n-1)^{n-1} \quad (18)$$

حال با توجه به معادلات (۱۷) و (۱۸):

$$q_p t_p = \frac{(n-1)}{\Gamma_n} e^{-(n-1)} (n-1)^{n-1} \quad (19)$$

معادله‌ی ۱۹ فقط تابع فراسنج  $n$  در معادله شبیه ناش می‌باشد، همچنین، می‌دانیم با ضرب معادلات ۹ و ۱۰، معادله‌ی بی‌بعد IR ۱۱ بدست می‌آید که با مساوی قرار دادن معادلات ۱۹ و ۱۱:

$$0.58 \left[ \frac{R_B}{R_A} \right]^{0.55} R_L^{0.05} = \frac{(n-1)}{\Gamma_n} e^{-(n-1)} (n-1)^{n-1} \quad (20)$$

با توجه به معادله‌ی ۲۰ مقدار فراسنج  $n$  (فراسنج شکل حوضه) شبیه ناش محاسبه می‌شود. با توجه به معادله‌ی بالا معلوم می‌گردد که مقدار  $n$  از یک واقعه‌ی بارش به واقعه‌ی دیگر ثابت بوده و آنها تابع ویژگیهای گیتا شناسی

۲- برآورد سرعت اوج جریان ( $V$ ) برای مبه وسیله بارش مازاد با استفاده از نسبت بین سرعت و شدت بارش مازاد برای یک واقعه‌ی سیلاب معین.

۳- زمان تمرکز برای هر بارش با استفاده از رابطه‌ی خطی زیر به دست می‌آید:

$$t_c = 0.2778 \frac{L}{V} \quad (26)$$

که در آن:

$t_c$  = زمان تمرکز برحسب ساعت.  $L$  = طول زهکش اصلی رود برحسب کیلومتر.  $V$  = سرعت اوج برحسب متر بر ثانیه و عدد  $0.2778$  ضریب تبدیل می‌باشد.

با در نظر گرفتن این  $t_c$  به عنوان طولانیترین زمان و متناظر کردن آن با  $T_{ci}$  محاسبه شده در برآورد اولیه‌ی زمان تمرکز، مقادیر گام به گام مساحت‌های شرکت کننده در تولید رواناب سطحی به راحتی قابل محاسبه است، که با آن می‌توان مقادیر جریان ورودی را محاسبه کرد.

۴- محاسبه بده‌ی اوج ( $q_p$ ) از GIUH برای حوضه با کاربرد معادله‌ی ۹.

۵- محاسبه عرض‌های نمودار زمان-مساحت با استفاده از زمان تمرکز ( $t_c$ ) به دست آمده از معادله‌ی مرحله‌ی ۳ در یک فاصله‌ی زمانی بسیار کوچک مثلاً  $0.1$  ساعت، تا بتوان برآورد بهتری را از مقدار اوج به دست آورد.

۶- فرض نمودن دو مقدار آزمایشی، ضریب ذخیره‌ی IUH با کاربرد روش کلارک به عنوان  $R_1$  و  $R_2$ .

۷- به دست آوردن بده‌های اوج  $Q_{pc1}$  و  $Q_{pc2}$  از IUH های تهیه شده با کاربرد روش کلارک برای ضرایب ذخیره به ترتیب  $R_1$  و  $R_2$  در مرحله‌ی ۶. قابل ذکر است که بده‌های محاسبه شده باید با  $q_p$  به دست آمده در مرحله‌ی ۴ هم بُعد باشند تا بتوان از توابع به درستی استفاده کرد (سبزواری، ۱۳۸۹).

۸- محاسبه‌ی مقدار توابع هدف با استفاده از روابط:

$$F_{CN1} = (q_p - Q_{pc1})^2 \quad (27)$$

$$F_{CN2} = (q_p - Q_{pc2})^2 \quad (28)$$

۹- محاسبه نخستین مشتق عددی ( $F_{PN}$ ) توابع هدف  $F_{CN}$  نسبت به فراسنجهای  $R$ :

$$F_{PN} = \frac{F_{CN1} - F_{CN2}}{R_1 - R_2} \quad (29)$$

رابطه‌ی کرپیچ که با در نظر گرفتن ثابت‌های حوضه تعیین شده، عبارت است از:

$$T_{ci} = 0.06628 L_i^{0.77} S^{-0.385} \quad (25)$$

که در آن:

$T_{ci}$  = زمان تمرکز حوضه برحسب ساعت.  $L_i$  = طولانی ترین مسیر حرکت آب در داخل حوضه برحسب کیلومتر، و  $S$  = شیب آبراهه و بی‌بعد.

با استفاده از معادله‌ی ۲۵ برای هر گام زمانی در دامنه‌ی زمان جابه جایی (زمان پیمایش 0 تا  $T_{ci}$ )، نقاط منشأ ایجاد رواناب بر روی رودهای اصلی حوضه را تعیین می‌کنیم.

به کمک نقاط هم ارزش به دست آمده در سطح حوضه، و با توجه به مراحل شرح داده شده در بالا، خطوط همزمان تمرکز حوضه را از دهانه‌ی آبخیز تا دورترین نقطه‌ی آبراهه‌های اصلی ترسیم می‌کنیم. بعد از ترسیم خطوط همزمان و با اندازه‌گیری مساحت بین خطوط، نمودار زمان-مساحت براساس زمان تمرکز اولیه ( $T_{ci}$ ) برای حوضه تهیه می‌شود. این نمودار بدون بُعد بوده و در آن

محور طولی،  $X$ ، به صورت  $\frac{t}{T_{ci}}$  و محور عرضی،  $Y$ ، به

صورت  $\frac{a}{Ac}$  حساب می‌شود، که  $a$  و  $t$ ، زمان و مساحت، و

$T_{ci}$  و  $A_c$ ، زمان تمرکز در برآورد اولیه و مساحت کل حوضه می‌باشد (ساهو، ۲۰۰۶). حال با توجه به توضیحاتی که در بالا جهت تهیه‌ی نمودار زمان-مساحت از  $T_{ci}$  اولیه‌ی حوضه داده شد، برای هر رویداد بارش-رواناب اقدام به محاسبه زمان تمرکز کرده، سپس با ایجاد تناسب بین محورهای نمودار زمان-مساحت از  $T_{ci}$  اولیه با زمان تمرکز به دست آمده برای هر رویداد، مؤلفه‌ی ورودی روش کلارک را برای رویداد مورد نظر استخراج می‌کنیم (سالاری‌جزی، ۱۳۸۸).

ساختار آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی بر مبنای روش کلارک به ترتیب زیر صورت می‌گیرد (کومار، ۲۰۰۷):

۱- محاسبه باران نمای بارش مازاد با کاربرد یکی از روشهای نفوذ، مانند روش شماره‌ی منحنی سازمان حفاظت خاک امریکا (SCS) یا هر روش مناسب دیگر.

واحد، ۲۰۰۹). داده‌های این نمودار با معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{A}{A_c} = 1.414 \left( \frac{t}{T_c} \right)^{1.5} \quad \text{for } t \leq \frac{T_c}{2} \quad (32)$$

$$\frac{A}{A_c} = 1.414 \left( 1 - \frac{t}{T_c} \right)^{1.5} \quad \text{for } t \geq \frac{T_c}{2}$$

که در آن:  $A_c$  و  $T_c$  به ترتیب مساحت حوضه و زمان تمرکز و  $A$  و  $T$  مساحت و زمان است.

این نرم افزار قادر است مقادیر زمان تمرکز و ضریب ذخیره را بهینه کند. در بخش شبیه حوضه با توجه نبودن وجود بده‌ی پایه در آبنمودهای مشاهده‌ای از حالت بدون جریان پایه‌ی استفاده شده است. در این پژوهش افت از روش شماره‌ی منحنی CN و همچنین به صورت تلفات اولیه و نرخ ثابت نفوذ در نظر گرفته شده است، که نرخ ثابت نفوذ همان شاخص  $\phi$  و تلفات اولیه‌ی بارش مقدار بارشهایی است که پیش از آغاز بارش مؤثر جذب می‌شود. از بهینه‌سازی نرم‌افزار فقط برای تهیه بارش مازاد استفاده شده است.

### ایجاد رابطه بین سرعت جریان و شدت بارش مازاد

بسط GIUH در یک حوضه، لزوم تهیه و توسعه یک رابطه را بین سرعت تعادل و شدت بارش مازاد ایجاد می‌کند و همچنین روشی است برای به دست آوردن آبنمود واحد با استفاده از GIUH بر مبنای روش کلارک. روش مورد استفاده در این پژوهش بر این فرض است که مقدار ضریب زبری مانینگ در دسترس نیست، اما سرعت متناظر با بده‌ی عبوری از میان مقاطع آمار برداری شده در عمقهای مختلف جریان آب مشخص است.

با وجود این که روش مزبور به اطلاعات بده و سرعت در ایستگاه آمار برداری (دهانه‌ی آبخیز) نیاز دارد، ولی لزوماً فقط برای حوضه‌های آمار دار به کار نمی‌رود، چه این اطلاعات می‌توانند در حوضه‌های فاقد آمار، به راحتی به وسیله اندازه‌گیری زوج داده‌های بده‌ی جریان و عمق آن در آبراهه جمع‌آوری شده باشد. مراحل مورد استفاده در این روش عبارتند از:

۱۰- محاسبه‌ی مقدار آزمایشی بعدی  $R$  با استفاده از روش سعی و خطا یا بهینه سازی روش نیوتون-رافسون:

$$\Delta R = \frac{F_{CN1}}{F_{PN}} \quad (30)$$

$$R_{NEW} = R_1 + \Delta R \quad (31)$$

۱۱- برای آزمایش بعدی،  $R_1 = R_2$  و  $R_2 = R_{NEW}$  در نظر گرفته شده و مراحل از ۶ تا ۱۰ تکرار می‌گردند تا زمانی که یکی از معیارهای همگرایی زیر اتفاق افتد:

$$(a): F_{CN2} = 0.00001$$

$$(b): |(\Delta R)/R_1| = 0.001$$

شرط بالا معمولاً با تعداد تکرار ۲۰۰ بار ارضاء می‌شود. در این مرحله باید به متناظر بودن توابع  $F_{CN}$  حاصل از دو نمودار با ضرایب  $R_1$  و  $R_2$  اولیه، در همان دور از چرخه، توجه شود تا ضریب ذخیره به درستی در شروط بالا قرار گیرد؛ درغیر این صورت معیارها به سمت واگرا شدن پیش رفته و چرخه به جواب نمی‌رسد

۱۲- مقدار نهایی ضریب ذخیره‌ی  $R_2$  به دست آمده از بالا، همان مقدار مورد نیاز فراسنج  $R$  مطابق با مقدار زمان تمرکز  $t_c$  برای روش کلارک است.

۱۳- استخراج IUH با استفاده از GIUH با کاربرد روش کلارک، به کمک مقدار نهایی ضریب ذخیره‌ی  $R$ ، که در مرحله‌ی ۱۲ به دست آمده، زمان تمرکز  $t_c$  و نمودار زمان-مساحت متناظر (کومار، ۲۰۰۷).

### کاربرد نرم‌افزار HEC-HMS در تعیین باران نمای

#### و آبنمود واحد لحظه‌ای کلارک

برای به دست آوردن آبنمود واحد لحظه‌ای شبیه کلارک، نرم‌افزار HEC-HMS از دو فراسنج زمان تمرکز و ضریب ذخیره بر حسب ساعت استفاده می‌کند.

آبنمود حوضه با ملاحظه‌ی دو مرحله‌ی زیر در تبدیل بارش اضافی به رواناب به دست می‌آید:

۱- جریان بارش مازاد (جریان) از آغاز آن در رود یا آبراهه‌ها در حوضه تا نقطه‌ی خروجی حوضه.

۲- کاهش مقدار آبدهی، به این دلیل که بارش مازاد در سراسر و طول حوضه ذخیره می‌شود.

برنامه‌ی HEC-HMS برای به دست آوردن مؤلفه‌های ورودی، یعنی  $I_i$  از تبدیل نمودار زمان-مساحت به بده‌ی با کاربرد معادله‌ی (۳۲) استفاده می‌کند (احمد

۴- سیلها باید دارای آبنمود و تاج کاملاً مشخص باشند؛ بنابراین، آبنمودهایی که دارای تاج خیلی پهن هستند، به علت احتمال تأثیر عواملی مانند ذوب برف و غیره نباید انتخاب گردند.

### توابع هدف مورد استفاده جهت ارزیابی

#### آبنمودهای محاسبه شده

به منظور بررسی میزان کارایی آبنمودهای استخراجی در روشهای کلارک و ناش آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی، آبنمود واحد لحظه‌ای ناش و کلارک با استفاده از نرم افزار HEC-HMS لازم است تا مشخصات برجسته‌ی آبنمودهای محاسبه‌ای و مشاهده‌ای از نظر ابعاد، خصوصاً بدهی و زمان با همدیگر مقایسه و درصد اختلاف آنها مشخص شده و از آنها به عنوان معیار مناسبی جهت رسیدن به برتری شبیه‌ها نسبت به یکدیگر استفاده گردد. از آن جا که هدف پژوهش مقایسه ابعاد آبنمود مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در ساعات متناظر است، از جنبه‌ی نظری برحسب میزان کارایی شبیه، ابعاد متناظر باید بر هم منطبق شوند، ولی در عمل مقداری اریبی مشاهده گردیده و لازم است تا درصد آن تعیین شود، به همین دلیل، از شاخصهای میانگین خطای نسبی (MRE) و میانگین توان دوم خطا (MSE)، که کارایی سنجش این صفت را دارند، استفاده می‌شود. بدیهی است هر چه داده‌های به دست آمده از شبیه‌های برآورد کننده به داده‌های مشاهده‌ای نزدیکتر باشد، نشان دهنده‌ی دقت، اعتبار و کارایی شبیه است.

$$REQ_p = \left( \frac{Q_{po} - Q_{pc}}{Q_{po}} \right) \cdot 100 \quad (38)$$

$$RET_p = \left( \frac{T_{po} - T_{pc}}{T_{po}} \right) \cdot 100 \quad (39)$$

$$REV = \left( \frac{V_o - V_c}{V_o} \right) \cdot 100 \quad (40)$$

$$EFF = \left( \frac{1 - \sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{ci})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_0)^2} \right) \cdot 100 \quad (41)$$

$$AAE = \frac{\sum_{i=1}^m |(Q_{oi} - Q_{ci})|}{n} \quad (42)$$

۱- با استفاده از ویژگیهای هندسی مقطع عرضی رود و عمقهای مختلف آب و بدهی متناظر، مساحت سطح تحت تأثیر مقاطع عرضی را به دست می‌آوریم (A).

۲- با استفاده از بدهی و سطح مقطع عرضی متناظر با آن بدهی و با کاربرد معادله  $Q = AV$ ، اقدام به محاسبه‌ی سرعت برای همه بدهی‌های موجود می‌کنیم.

۳- برای مقادیر بدهی‌های موجود، اقدام به محاسبه‌ی شدت بارش مازاد ( $i_e$ ) متناظر با آن بدهی از معادله‌ی ۳۳ استفاده می‌کنیم.

۴- با زوج شدن مقادیر  $V_e$  و  $i_e$  اقدام به بسط رابطه بین سرعت تعادل و شدت بارش مازاد در قالب معادله‌ی ۳۴ با استفاده از روش حداقل مربعات می‌کنیم. در اینجا  $a$  و  $b$  ضرایب وایازی هستند (کومار، ۲۰۰۲). روابط حاصله برای حوضه شور اندیکا به ترتیب معادلات ۳۵ تا ۳۷ می‌باشند:

$$Q_e = 0.2778 i_e A_c \quad (33)$$

$$V_e = a i_e^b \quad (34)$$

$$V_e = 0.767 i_e^{0.247} \quad 0.0 < i_e \leq 0.5 \quad r^2 = 0.99 \quad (35)$$

$$V_e = 0.725 i_e^{0.259} \quad 0.5 < i_e \leq 1.0 \quad r^2 = 0.98 \quad (36)$$

$$V_e = 0.670 i_e^{0.256} \quad i_e \geq 1.0 \quad r^2 = 0.98 \quad (37)$$

### انتخاب رویدادهای منفرد سیل

علاوه بر مشخصات گیتاشناسی حوضه‌ها، در دسترس بودن اطلاعات موجود در زمینه بارندگیها و روانابهای متناظر آنها و نیز سایر اطلاعات ثبت شده‌ی هواشناسی و آب نگاری مربوط به حوضه مورد مطالعه، ضروری است. سیلاب‌هایی که شرطهای زیر در مورد آنها صدق می‌نماید برای تجزیه و تحلیل مناسب بوده و باید مورد نظر قرار گیرند:

۱- باران‌نمای متناظر سیل مورد نظر در حوضه موجود باشد.

۲- واقعه‌ی سیل مورد نظر به صورت واحد باشد، یعنی وقایع سیلاب چندتایی که حاصل رگبارهای دارای اوج چند شدتی مجزا باشند نمی‌توانند در نظر گرفته شوند.

۳- هر واقعه‌ی سیل دارای ابتدا و انتهای کاملاً مشخص باشد؛ بنابراین، وقایعی که بنا بر دلایلی ناقص مشاهده شده‌اند، با وجود شدید بودن سیل، بطور کاملاً واضح و آشکار باز هم نمی‌توانند گزیده شوند.



گامهای بارندگی حوضه نیز با کاربرد نرم افزار مزبور و با در نظر گرفتن  $CN=V2$  برآورد گردید. همچنین HEC-HMS، با در نظر گرفتن مقادیرهای ابتدایی برای فراسنجها به اجرا در آمد، و در ادامه با استفاده از گزینه‌ی بهینه‌سازی، این اعداد برای رویدادهای بارندگی انتخابی در حوضه‌ی شور اندیکا بهینه شدند. باران نمای‌های نهایی بازسازی شده در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده‌اند.

با مشخص شدن نسبت‌های هورتون، معادلات سرعت جریان و شدت بارش موثر در دامنه‌های مختلف و همچنین تهیه باران نماهای بارش موثر برای وقایع انتخابی، که نتایج آن در بالا بیان شدند، روند کار تهیه آبنمودهای واحد لحظه-ای زمین ریخت شناسی با کاربرد روش ناش و کلارک در محیط نرم افزار MATLAB برنامه نویسی شدند؛ نتایج حاصل از چهار روش به کار رفته در این پژوهش به شرح شکل‌های ۶ تا ۹ می‌باشند.

نتایج حاصل از کاربرد روشهای آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت‌شناسی ناش و کلارک، همچنین، آبنمود واحد لحظه‌ای ناش و آبنمود به دست آمده از روش کلارک در نرم‌افزار HEC-HMS از نظر مقدار بدهی اوج، زمان به اوج رسیدن و میزان حجم سیلاب به صورت درصد خطا پیرامون شاخصهای مبنا از آبنمودهای مشاهده‌ای رویدادهای بارش- رواناب با هم مقایسه شده‌اند.

در جدول ۶ شاخصهای مبنای مقایسه آبنمودهای برآورد شده با رویدادهای مشاهده گردیده‌ی حوضه‌ی شور اندیکا به تفکیک روش برآورد برای محاسبه توابع هدف آورده شده‌اند. همچنین جدول ۷ بیانگر نتایج نهایی بررسی و مقایسه آبنمودها با یکدیگر می‌باشد.

### نتیجه گیری

در این پژوهش، حوضه‌ی آبخیز شور اندیکا به‌عنوان حوضه‌ی فاقد آمار یا با آمار اندک بارش- رواناب جهت مطالعه انتخاب شد. سیلاب این حوضه در چهار روش به‌ترتیب GIUH، برمبنای روش ناش و کلارک، IUH بر مبنای روش ناش و گزینه‌ی کلارک، و نرم‌افزار HEC-HMS برای چهار رویداد تاریخی بارش- رواناب برآورد زده شد. به استناد نتایج عرضه شده در جدول ۶، توابع هدف جهت مقایسه کارایی روشها در برآورد ابعاد آبنمود سیلاب محاسبه گردید (جدول ۷).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{ci})^2}{n}} \quad (43)$$

که در آنها،  $REQ_p$ ،  $RET_p$  و  $REV$  به ترتیب درصد خطای نسبی در برآورد بدهی اوج، زمان به اوج رسیدن و حجم سیلاب است و  $Q_{po}$ ،  $Q_{pc}$  به ترتیب بدهی اوج مشاهده‌ای و بدهی اوج محاسبه شده،  $T_{po}$  و  $T_{pc}$  به ترتیب زمان به اوج رسیدن مشاهده‌ای و زمان به اوج رسیدن محاسبه شده و  $V_o$  و  $V_c$  نیز به ترتیب حجم سیلاب مشاهده شده و حجم سیلاب محاسبه شده می‌باشد. همچنین،  $EFF$ ،  $RMSE$  و  $AAE$  به ترتیب درصد کارایی نسبی، ریشه‌ی متوسط مربعات خطا و متوسط خطای مطلق،  $Q_{oi}$  ابعاد آبنمود مشاهده‌ای،  $Q_{ci}$  ابعاد آبنمود محاسبه‌ای و  $\bar{Q}_0$  میانگین بدهی‌های آبنمود مشاهده‌ای می‌باشند (کومار، ۲۰۰۲).

### حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، رود شور اندیکا و سرشاخه‌های آن از حوضه‌ی آبخیز بزرگ رود کارون می‌باشد که در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی در سلسله جبال زاگرس واقع گردیده است. حوضه‌ی مورد مطالعه از شرق به بخش اندیکا از توابع شهرستان مسجد سلیمان و از غرب به شهرستان لالی منتهی می‌گردد. اقلیم حوضه شور اندیکا در اقلیم نمای آمبرژه در طبقه‌ی نیمه خشک معتدل و در اقلیم نمای دومارتن بین نیمه خشک تا مدیترانه‌ای قرار می‌گیرد. میانگین تبخیر سالانه دمای حوضه ۲۱/۳۲ درجه‌ی سانتیگراد، و میانگین ۲۴۰۸ میلیمتر می‌باشد (حسین زاده ساداتی، ۱۳۸۷).

ویژگیهای زمین ریخت‌شناسی کمی حوضه برای این تحقیق با کاربرد نرم‌افزارهای Arc View GIS، ArcGIS، RiverTools 2.4 مشخص گردیدند که در جدول (۱) قابل مشاهده است.

### نتایج

شکل ۱ نمودار زمان- مساحت را برای زمان تمرکز اولیه‌ی حوضه با کاربرد روش نمودار بی بعد و نرم افزار HEC-HMS نشان می‌دهد. میزان بارش مؤثر در

سیلاب دارای کمترین درصد خطا نسبت به سایر روشهای استفاده شده بوده و GIUH با کاربرد روش ناش در رتبه‌ی دوم قرار دارد. و همچنین، روش کلارک در تعیین شاخصهای RMSE و AAE نیز در رتبه‌ی بالاتری نسبت به GIUH با کاربرد روش ناش قرار می‌گیرد.

در پایان، با توجه به دستاوردهای این پژوهش و در نظر گرفتن کم آمار بودن حوضه‌ی شور اندیکا، می‌توان نتیجه گرفت که روشهای استخراج آبنمود واحد لحظه‌ای زمین ریخت شناسی (GIUH) توانایی استخراج ابعاد و شکل کامل آبنمودهای سیلاب (DSRO) را با دقت معقولی داشته و نتایج حاصل قابل استناد می‌باشند.

از آنجا که هدف این پژوهش برآورد سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار با کاربرد روش GIUH است. پس برای حوضه‌ی مورد مطالعه باید ملاک مقایسه جهت ارائه شبیه کارا تر بین روشهای شبیه GIUH قرار داده شود، بنابراین، با توجه به مطالب یاد شده، GIUH با کاربرد روش ناش دارای بیشترین کارایی در برآورد آبنمود سیلاب، نسبت به دیگر روشهای محاسبه می‌باشد. GIUH با کاربرد روش کلارک در رتبه‌ی دوم بعد از روش ناش قرار گرفته است. همچنین در این مقایسه GIUH با کاربرد روش ناش در برآورد حجم سیلاب دارای کمترین درصد خطا نسبت به GIUH با کاربرد روش کلارک است. گفتنی است که GIUH با کاربرد روش کلارک در برآورد بدهی اوج

#### ۱- فراسنجهای زمین ریخت‌شناسی حوضه‌ی شور اندیکا.

ردیف	فراسنجهای زمین ریخت شناسی	مقدار
۱	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	۳۶۲٫۲۱
۲	محیط حوضه (کیلومتر)	۱۲۱٫۷۶
۳	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	۴۰
۴	شیب ناخالص آبراهه (درصد)	۲٫۵
۵	شیب آبراهه (درصد)	۱
۶	بیشینه ارتفاع حوضه (متر)	۱۴۵۰
۷	کمینه‌ی ارتفاع حوضه (متر)	۴۵۰
۸	شیب مبه وسیله حوضه (درصد)	۵٫۲۵
۹	زمان تمرکز (ساعت)	۵٫۹۳

#### ۲- رده‌بندی آبراهه‌ها در حوضه‌ی مورد مطالعه.

ردهی آبراهه	شمار آبراهه	طول کل آبراهه (km)	طول مبه وسیله آبراهه (km)	میانگین مساحت آبخیز فرعی هر رتبه (km <sup>2</sup> )	نسبتهای هورتون
۸	۱	۲۴/۸۲	۲۴/۸۲	۲۳۱/۸۵	$R_A = ۴/۰۷۱$
۷	۴	۲۱/۱۱	۵/۲۸	۶۱/۶۲	
۶	۱۱	۵۶/۸۱	۵/۱۶	۲۱/۳۹	$R_B = ۴/۱۱۵$
۵	۵۰	۱۲۳/۵۸	۲/۴۷	۴/۴۲	
۴	۲۱۱	۲۵۱/۶۶	۱/۱۹	۱/۰۹	$R_L = ۴/۶۷۴$
۳	۹۰۴	۴۴۳/۸۹	۰/۴۹	۰/۲۵	
۲	۴۱۹۶	۸۱۹/۷۴	۰/۲۰	۰/۰۵	$L_{\Omega} = ۲۴/۸۲$
۱	۲۱۱۴۸	۱۷۹۳/۷۵	۰/۰۸	۰/۰۱	

## ۳- شماره‌ی منحنی و میزان نرخ ثابت نفوذ در حوضه‌ی شور اندیکا.

ردیف	تاریخ رویداد	شماره‌ی منحنی CN	کل بارندگی (mm)	نرخ ثابت نفوذ (mm/h)
۱	۱۳۸۵/۰۱/۱۴	۷۶/۷۳	۴/۶	۰/۳۵
۲	۱۳۸۵/۰۱/۲۳	۷۵/۷۲	۹/۹	۰/۵
۳	۱۳۸۵/۰۸/۲۲	۷۵/۷۰	۲۲/۱	۰/۷۴
۴	۱۳۸۵/۱۲/۰۳	۷۳/۰۰	۱۱/۸	۰/۳۴

## ۴- ویژگیهای آبنمود GIUH با کاربرد روش ناش و کلارک برای چهار رویداد.

ردیف	تاریخ	V(m/s)	q <sub>p</sub> (h <sup>-1</sup> )	t <sub>p</sub> (h)	n	K	t <sub>c</sub> (h)	R
۱	۱۳۸۵/۰۱/۱۴	۰/۶۸۴	۰/۰۷	۸/۹۳۵	۳/۶۲۵	۳/۴۰۳۹	۱۰/۰۷	۸/۶۴۱۳
۲	۱۳۸۵/۰۱/۲۳	۰/۷۴۷	۰/۰۷۶۵	۸/۱۷۹	۳/۶۲۵	۳/۱۱۶۱	۹/۲۲	۷/۸۹۴۵
۳	۱۳۸۵/۰۸/۲۲	۰/۷۲۱	۰/۰۷۳۸	۸/۴۷۷	۳/۶۲۵	۳/۲۲۹۶	۹/۵۶	۸/۱۰۵
۴	۱۳۸۵/۱۲/۰۳	۰/۶۳۳	۰/۰۶۴۸	۹/۶۵۷	۳/۶۲۵	۳/۶۷۸۹	۱۰/۸۹	۹/۱۸۸۱

## ۵- ویژگیهای آبنمود واحد لحظه‌ای با کاربرد روش ناش و روشهای HMS-کلارک برای رویدادها.

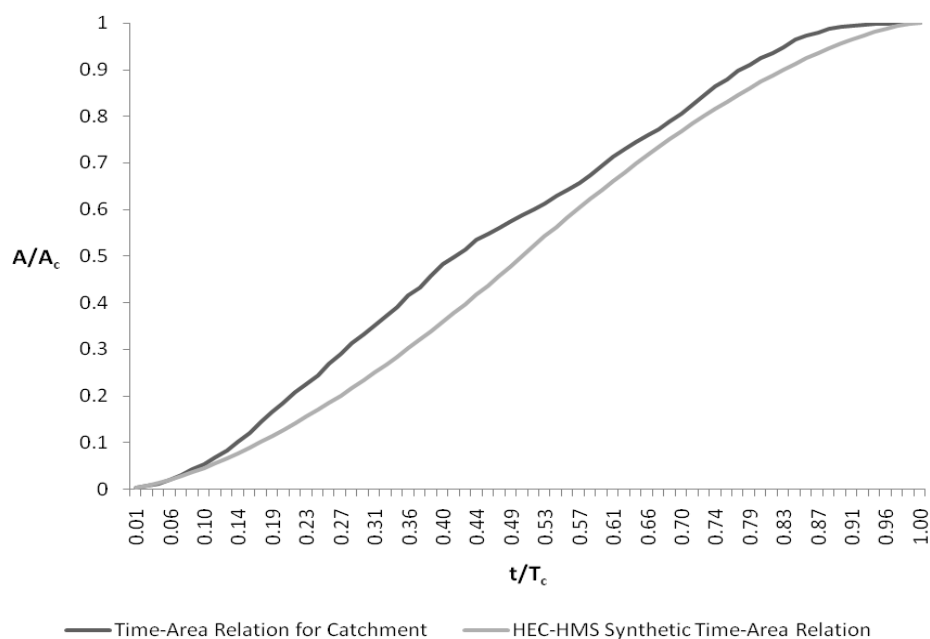
ردیف	تاریخ	N	K	T <sub>C</sub>	R
۱	۱۳۸۵/۰۱/۱۴	۳/۸۰	۶/۰۴	۹/۸۴	۱۱/۵۶
۲	۱۳۸۵/۰۱/۲۳	۳/۴۱	۷/۰۹	۸/۰۸	۹/۷
۳	۱۳۸۵/۰۸/۲۲	۱/۲۳	۱۴/۷۵	۸/۷۳	۸/۰۳
۴	۱۳۸۵/۱۲/۰۳	۱/۶۳	۱۲/۲۱	۱۰/۳۵	۱۱/۹۴

## ۶- شاخص‌های مبنا برای روشهای برآورد آبنمود سیلاب.

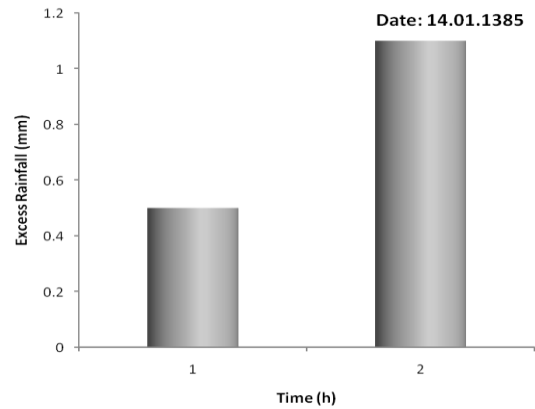
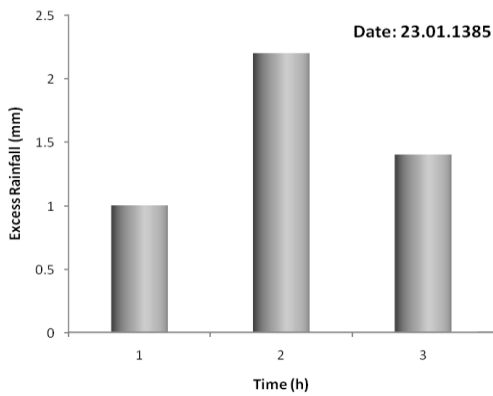
شماره	تاریخ	روش	Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T <sub>p</sub> (h)	Vol(m <sup>3</sup> )	Q <sub>ave</sub> (m <sup>3</sup> /s)
۱	۱۳۸۵/۰۱/۱۴	Observed	۱۰/۵	۱۷	۱۰۶۵۸۴۸	۵/۱۹
		GIUH-Clark	۱۱/۱۱	۱۳	۵۵۰۷۶۱/۱	۱/۹۹
		GIUH-Nash	۱۱/۲۲	۱۳	۵۷۹۵۹۶/۳	۲/۰۹
		IUH-Nash	۶/۱۴	۲۰	۵۷۶۱۰۴/۱	۲/۱۶
۲	۱۳۸۵/۰۱/۲۳	HMS-Clark	۱۲/۵۴	۱۴	۵۵۸۱۴۵/۸	۳/۸۸
		Observed	۳۱/۶۲	۱۵	۲۹۵۹۶۵۵	۱۳/۷
		GIUH-Clark	۳۴/۰۹	۱۳	۱۵۵۲۲۳۰	۵/۰۷
		GIUH-Nash	۳۵/۰۱	۱۲	۱۶۶۶۴۰۰	۵/۴۵
۳	۱۳۸۵/۰۸/۲۲	IUH-Nash	۱۶/۱۲	۲۲	۱۶۵۴۰۳۲	۵/۶۷
		HMS-Clark	۳۹/۶	۱۶	۱۶۵۰۲۷۲	۷/۹
		Observed	۸۲/۷	۲۲	۵۸۰۸۷۰۷	۲۴/۰۸
		GIUH-Clark	۸۲/۱۱	۱۷	۴۸۲۸۱۳۶	۱۴/۵۸
۴	۱۳۸۵/۱۲/۰۳	GIUH-Nash	۹۱/۹۱	۱۷	۵۳۲۵۰۶۸	۱۸/۲۶
		IUH-Nash	۵۳/۸۸	۱۶	۵۲۱۷۸۵۵	۱۵/۷۵
		HMS-Clark	۹۴/۰۹	۱۶	۵۲۶۹۵۶۱	۲۶/۱۴
		Observed	۲۳/۲	۲۲	۱۴۳۸۷۰۵	۶/۸۹
۴	۱۳۸۵/۱۲/۰۳	GIUH-Clark	۲۶/۲۶	۱۶	۱۴۹۵۳۹۶	۴/۷۸
		GIUH-Nash	۲۸/۴۴	۱۶	۱۶۶۶۳۲۸	۵/۷۱
		IUH-Nash	۱۶/۴۲	۱۶	۱۶۵۰۷۵۷	۵/۲۷
		HMS-Clark	۲۷/۸۵	۲۵	۱۵۳۳۴۷۱	۹/۹۱

## ۷- ارزیابی عملکرد و مقایسه شاخص‌های مبنا در روشهای برآورد.

توابع هدف برای آبنمودهای رواناب سطحی						روش	تاریخ	شماره
%REV	%RET <sub>p</sub>	%REQ <sub>p</sub>	AAE	RMSE	%EFF			
۴۸/۳۳	۲۳/۵۳	-۵/۸۱	۲/۷۲	۳/۶۸	-۶۹/۰۸	GIUH-Clark	۱۳۸۵/۰۱/۱۴	۱
۴۵/۶۲	۲۳/۵۳	-۶/۸۹	۲/۹۲	۳/۹۶	-۹۴/۸۰	GIUH-Nash		
۴۵/۹۵	-۱۷/۶۵	۴۱/۵۴	۱/۹۵	۲/۳۷	۳۰/۱۳	IUH-Nash		
۴۷/۶۳	۱۷/۶۵	-۱۹/۴۲	۲/۷۵	۲/۶۹	۹/۹۳	HMS-Clark		
۴۷/۵۵	۱۳/۳۳	-۷/۸۱	۶/۳۰	۸/۶۹	-۲۷/۸۲	GIUH-Clark	۱۳۸۵/۰۱/۲۳	۲
۴۳/۷۰	۲۰/۰۰	-۱۰/۷۱	۶/۶۲	۹/۳۶	-۴۸/۳۵	GIUH-Nash		
۴۴/۱۱	-۴۶/۶۷	۴۹/۰۲	۵/۳۷	۶/۹۱	۳۰/۶۱	IUH-Nash		
۴۴/۲۴	-۶/۶۷	-۲۵/۲۳	۶/۸۵	۷/۹۷	۲۴/۱۶	HMS-Clark		
۱۶/۸۸	۲۲/۷۳	۰/۷۲	۹/۴۸	۱۵/۹۶	۴۸/۶۳	GIUH-Clark	۱۳۸۵/۰۸/۲۲	۳
۸/۳۳	۲۲/۷۳	-۱۱/۱۴	۱۲/۴۶	۱۹/۵۲	۳۲/۳۵	GIUH-Nash		
۱۰/۱۷	۲۷/۲۷	۳۴/۸۵	۹/۶۶	۱۴/۸۷	۵۷/۸۲	IUH-Nash		
۹/۲۸	۲۷/۲۷	-۱۳/۷۷	۱۳/۳۷	۲۰/۲۶	۳۹/۷۴	HMS-Clark		
-۳/۹۴	۲۷/۲۷	-۱۳/۲۰	۳/۰۶	۵/۳۲	-۱۰/۱۱	GIUH-Clark	۱۳۸۵/۱۲/۰۳	۴
-۱۵/۸۲	۲۷/۲۷	-۲۲/۶۰	۳/۷۷	۶/۴۲	-۴۹/۳۸	GIUH-Nash		
-۱۴/۷۴	۲۷/۲۷	۲۹/۲۱	۲/۳۴	۳/۴۶	۵۳/۳۲	IUH-Nash		
-۶/۵۹	-۱۳/۶۴	-۲۰/۰۴	۳/۹۳	۴/۷۸	۳۹/۶۲	HMS-Clark		

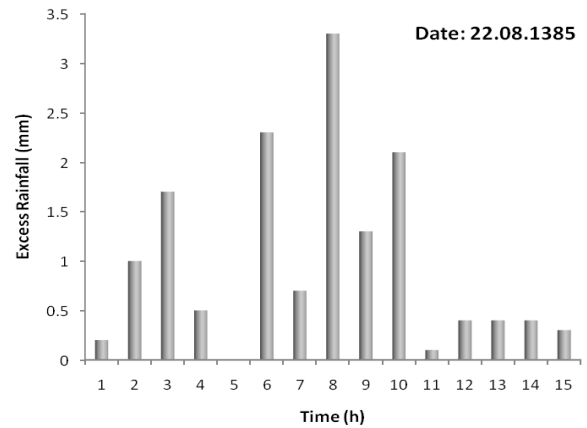
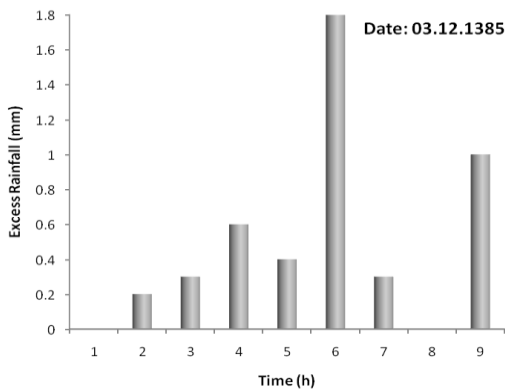


شکل ۱- نمودار زمان تمرکز- مساحت برای حوضه‌ی شور اندیکا.



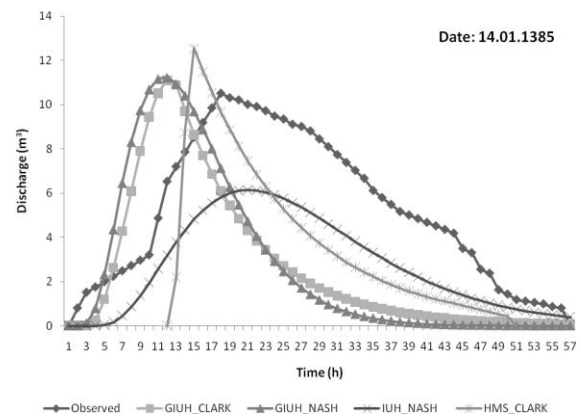
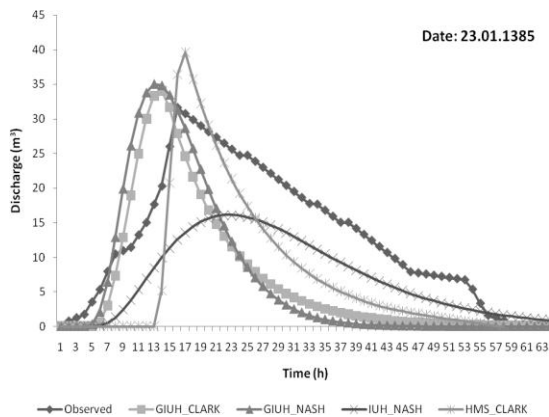
شکل ۳- باران نمای بارش مزاد، رویداد ۱۳۸۵/۰۱/۲۳.

شکل ۲- باران نمای بارش مزاد، رویداد ۱۳۸۵/۰۱/۱۴.



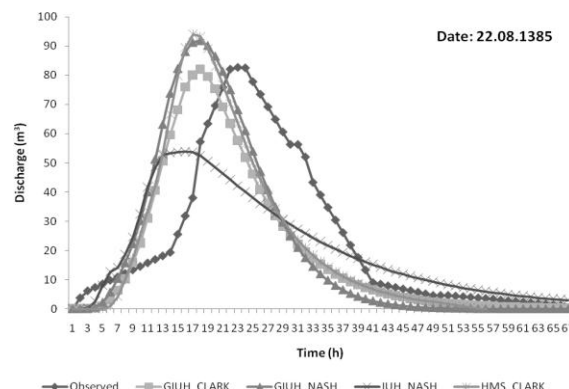
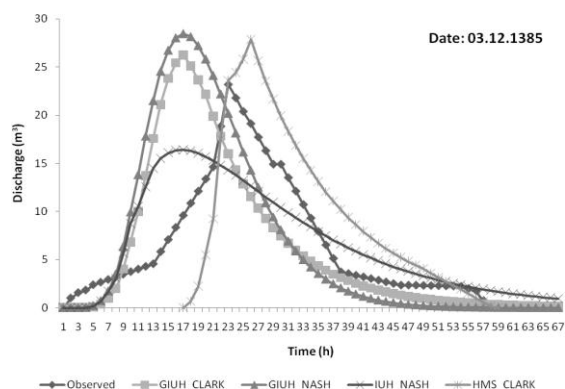
شکل ۵- باران نمای بارش مزاد، رویداد ۱۳۸۵/۱۲/۰۳.

شکل ۴- باران نمای بارش مزاد، رویداد ۱۳۸۵/۰۸/۲۲.



شکل ۷- برآورد آبنمودهای سیلاب، روز ۱۳۸۵/۰۱/۲۳.

شکل ۶- برآورد آبنمودهای سیلاب، روز ۱۳۸۵/۰۱/۱۴.



شکل ۸- برآورد آبنمودهای سیلاب، روز ۱۳۸۵/۰۸/۲۲. شکل ۹- برآورد آبنمودهای سیلاب، روز ۱۳۸۵/۱۲/۰۳.

### References:

- Hosseinzadeh Sadati, M., 2008. Estimation of the geographical attributes of Shoor Andika catchment using GIS&RS, MSc thesis, Chamran university, Ahvaz
- Habibnejad Roshan, M., 2003. An Investigation of Instantaneous Peak Geomorphologic and Geomorphoclimatic Unit and Gray Hydrographs Ability in Navrood Watershed, Journal of Natural Resources, (3)57, 379-390
- Salari Jazi, M., 2009. Evaluation of the. GIUH-NASH and GIUH-CLARK models in Kasilian watershed, 8th International Congress on Civil Engineering, Shiraz
- Sabzevari, T., 2010. Development of catchments geomorphological instantaneous unit hydrograph based on surface and subsurface flow response of complex hillslopes, PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
- Naghavi, H. 2003. Development of the GIUH rainfall-runoff model by using kinematic wave method, 4th hydraulic conference, Shiraz university, Iran
- Ahmad, M., Ahmad, S., 2009. Estimation of Clarks Instantaneous Unit Hydrograph Parameters and Development of Direct Surface Runoff Hydrograph. Water Resour Manage. Springer Sci. Doi 10.1007/s11269-008-9388-8.
- Chutha, I., Dooge, J. C. I., 1990. The Shape Parameters of the Geomorphologic Unit Hydrograph. J. Hydrol. 117(1-4): 81-97.
- Clark, C. O., 1945. Storage and the Unit Hydrograph. Trans. of ASCE. 110: 1419-1446.
- Horton, R. E., 1945. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Bull Geol. Soc. Am. 56(3): 275-370.
- Kirpich, Z. P., 1940. Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. Civ. Eng. (N.Y.). 10(6): 362-365.
- Kumar, R., 2002. Sensitivity Analysis of the GIUH based Clark Model for a Catchment. Water Resources Management. 16: 263-278.
- Kumar, R., 2007. Runoff Estimation for an Ungauged Catchment using Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) Models. Wiley InterScience. 21: 1829-1840.
- Nash, J. E., 1957. The form of the Instantaneous Unit Hydrograph. International Association of Sci. Hydrol. Publication. 45(3):114-121.

14. Rinaldo, A., and Rodriguez-Iturbe, I., 1996. Geomorphological Theory of the Hydrological Response. *Hydrolog. Process.* 10(6): 803-829.
15. Rodriguez, i., 1979. The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response. *Water Resources Research.* 15 (6): 1409-1421.
16. Rodriguez-Iturbe I, Devoto G, Valdes JB., 1979. Discharge Response Analysis and Hydrologic Similarity: the Interrelation Between the Geomorphologic IUH and the Storm Characteristics. *Water Resources Research* 15(6): 1435-1444.
17. Rosso, r., 1984. Nash Model Related to Horton Order Ratios. *Water Resources Research.* 20 (7): 914-920.
18. Sahoo, B., 2006. Flood Estimation by GIUH-Based Clark and Nash Models. *J. Hydrol.* 11 (6): 515-525.
19. Shreve, R. L., 1966. Statistical Law of Stream Numbers. *J. Geology*, 74(1), 17-37.
20. Strahler, AN., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions American Geophysical Union* 38: 913-920.
21. Tjalling, J. Ypma., 1995. Historical development of the Newton-Raphson Method. *SIAM Review* 37(4): 531-551.
22. USACE Hydrologic Modelling System HEC-HMS., 2008. Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center. Davis.

