

بررسی اثر کاربری اراضی در مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی مخزن

احمد فاخری فرد^۱ - وحید نورانی^۲ - فائقه نیازی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۶

چکیده

پیش‌بینی سیلاب‌ها نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های هیدرولوژیکی، طراحی ابعاد سازه‌های هیدرولیکی، مدیریت منابع آب و یا طراحی پایدار نظیر مدیریت و کنترل سیلاب دارد. توسعه سریع حوضه‌های شهری و افزایش ساخت و ساز و در نتیجه کاهش نقاط نفوذپذیر در سطح حوضه‌ها باعث توجه بیشتری به هیدرولوژی شهری گردیده است. مدل‌های هیدروگراف واحد که از تئوری سیستم خطی حاصل می‌گردند، جهت بررسی اثر شهرسازی بر فرآیند بارش - رواناب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مطالعه اثر کاربری اراضی بر مدل^۴ GUHCR در نظر گرفته شده و مدل^۵ GUHRLU ارائه شده است. این مدل‌ها و مدل مفهومی نش در یک حوضه متشکل از دو زیر حوضه با کاربری اراضی متفاوت، مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج آنها با هیدروگراف مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد اگرچه مدل‌های مورد بررسی هیدروگراف را در خروجی حوضه با دقت قابل قبولی پیش‌بینی می‌کنند، تنها در مدل ارائه شده GUHRLU به دلیل در نظر گرفتن اثر کاربری اراضی، در خروجی زیر حوضه نتایج مطلوبی حاصل می‌گردد. مدل گرده ای نش هیدروگراف را تنها در خروجی حوضه محاسبه می‌کند و هیچ اطلاعاتی از خصوصیات داخلی حوضه بدست نمی‌دهد و یک مدل کاملاً مفهومی است، لذا بررسی هیدروگراف زیر حوضه ای با استفاده از این مدل امکان پذیر نمی‌باشد. میانگین معیار نش - سائکلیف در خروجی زیر حوضه داخلی در مرحله صحت سنجی برای دو مدل GUHCR و GUHRLU به ترتیب برابر ۰/۴۷ و ۰/۷۸ می‌باشد. با استفاده از مدل GUHRLU مقادیر خطای دبی پیک و حجم هیدروگراف زیر حوضه‌ای حدود ۴۰ درصد نسبت به مدل GUHCR بهبود می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی، ضریب ذخیره، کاربری اراضی، مدل نش، مدل GUHCR، مدل GUHRLU، هیدروگراف داخلی حوضه

مقدمه

تغییر می‌یابد. این تغییرات فرآیند هیدرولوژی حوضه را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش نفوذپذیری، جریان پایه سیلاب، زمان تاخیر و افزایش حجم سیلاب، پیک هیدروگراف، فراوانی سیل و رواناب سطحی می‌گردد (۱۲ و ۱۰).

هیدروگراف رواناب حاصل از بارش در یک حوضه، منعکس کننده خصوصیات بارش موثر و سطح حوضه - که تولید رواناب را کنترل می‌کند می‌باشد. به دلیل پیچیدگی پدیده بارش - رواناب، مدل‌های مفهومی بارش - رواناب جهت تخمین و شبیه‌سازی این پدیده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مدل مفهومی هیدروگراف واحد لحظه‌ای^۶ نش بر مبنای مخازن خطی آبخیزی یکی از مدل‌هایی است که به طور وسیعی جهت مدل‌سازی بارش - رواناب در حوضه‌ها بکار می‌رود. مدل نش با در نظر گرفتن یک حوضه به صورت آبخیزی از مخازن خطی با ضریب ذخیره یکسان و یک واحد بارش لحظه‌ای در مخزن n ام، هیدروگراف واحد لحظه‌ای را به صورت یک تابع توزیع گاما در خروجی حوضه محاسبه می‌کند. نسل بعدی هیدروگراف واحد لحظه -

بررسی اثر شهرسازی، به دلیل ایجاد تغییر در کاربری اراضی و تغییرات میزان سیل تولید شده در حوضه‌های آبخیز، یکی از مهمترین عناوین محققین در دهه های اخیر به شمار می‌رود. توسعه سریع حوضه‌های شهری و افزایش ساخت و ساز و در نتیجه کاهش نقاط نفوذپذیر در سطح حوضه‌ها باعث توجه بیشتری به هیدرولوژی شهری گردیده است. همراه با گسترش شهرسازی، پوشش گیاهی ناحیه با نقاط نفوذناپذیر جایگزین شده و شبکه زهکشی طبیعی حوضه به دریاچه‌ها و آبراهه‌های مصنوعی و کانال‌های سطحی و زیرزمینی

۱ و ۳ - استاد و دانشجوی دوره دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* نویسنده مسئول: (Email: Fea_niazi@yahoo.com)

۲ - استاد گروه عمران - آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز

4- Geomorphological Unit Hydrograph based on cascade of linear Reservoirs

5- Geomorphological Unit Hydrograph of linear Reservoirs with regards to Land Use

همکاران (۱۴) نیز در حوضه مذکور مطالعه‌ای جهت تعیین رابطه بین پارامترهای هیدروگراف و متغیرهای شهرسازی (کاهش نفوذ پذیری و افزایش جمعیت) انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که پارامتر شکل هیدروگراف وابستگی بیشتری به نفوذپذیری نسبت به جمعیت دارد و یک رابطه توانی جهت نشان دادن این رابطه مناسب است و بنابراین متغیر نفوذناپذیری عامل مهمی در آنالیز تغییرات شهرسازی در حوضه محسوب می‌گردد. همانطور که واگنر (۲۹) بیان نموده است، اثرات هیدرولوژیکی تغییرات کاربری اراضی یک مقوله پیوسته و همیشگی بوده و مطالعه و تحقیق در این زمینه امری ضروری محسوب می‌گردد.

مدل‌های بارش- رواناب عمدتاً میزان حجم سیلاب را در نتیجه افزایش سطوح نفوذناپذیر مورد مطالعه قرار می‌دهند (۲۴، ۴ و ۲۸). بنا به دانش نویسندگان، کاربری اراضی و اثرات شهرسازی در برآورد هیدروگراف داخلی حوضه‌ها (هیدروگراف زیر حوضه‌ها) در مدل‌های مفهومی بارش- رواناب به ندرت در نظر گرفته شده است. در تعدادی از مدل‌های IUH ارائه شده، (۱، ۵، ۶، ۱۳ و ۲۲) اثر تغییرات کاربری اراضی در حوضه در فرمول مدل دخالت داده نشده است، بنابراین اگر چه این مدل‌ها هیدروگراف را در خروجی حوضه با دقت قابل قبولی محاسبه می‌کنند، اما قادر به تخمین هیدروگراف‌ها در خروجی زیر حوضه‌های داخلی حوضه با دقت قابل قبول نمی‌باشند. در این مطالعه کاربری اراضی حوضه در یک مدل ژئومورفولوژیکی بارش- رواناب در نظر گرفته شده و قابلیت مدل در یک حوضه مشکل از دو زیر حوضه با کاربری‌های اراضی کاملاً متفاوت - که دارای پاسخ هیدرولوژیکی متفاوت در مقابل بارش می‌باشند- مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. هدف از این مطالعه تخمین هیدروگراف داخلی حوضه در حوضه‌هایی می‌باشد که از لحاظ کاربری اراضی یکنواخت نبوده و دارای کاربری-های کاملاً متفاوت در زیر حوضه‌ها می‌باشند.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل یک زیر حوضه با پوشش گیاهی علفی و درختان بوته‌ای^۴ به مساحت تقریبی ۳۲ هکتار و یک زیرحوضه مسکونی به مساحت تقریبی ۱۳ هکتار- که به ترتیب زیر حوضه طبیعی^۵ و شهری^۶ نامیده می‌شوند- می‌باشد. این منطقه در شهر سیرا ویستا^۷ در جنوب غربی ایالت آریزونا در ایالات متحده آمریکا واقع شده است. شکل ۱ موقعیت دو زیر حوضه را نسبت به هم نشان می‌دهد (۱۷).

منطقه مورد مطالعه در ارتفاع تقریبی ۱۳۰۰ متر قرار گرفته و

ای با همکاری هیدرولوژیست‌ها و ژئومورفولوژیست‌ها توسعه یافت. هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی^۱ (GIUH) اولین بار توسط رودریگوئز ایتوربه و والدز (۲۳) ارائه شد. بر اساس مفهوم هیدروگراف واحد لحظه‌ای نش، چائوکن و همکاران (۵) روشی برای تعیین رابطه بین زمان تاخیر زیر حوضه‌ها و توپوگرافی حوضه ارائه نمودند. آگیره و همکاران (۱) مدل هیدروگراف واحد بر مبنای ژئومورفولوژی حوضه و سری مخازن خطی با ضریب ذخیره یکسان ارائه دادند. نورانی و همکاران (۲۲) سه مدل ژئومورفولوژی بر مبنای مخازن خطی ارائه نموده و نتایج این مدل‌ها را با مدل نش و SCS مورد مقایسه قرار دادند.

تغییرات به وجود آمده در کاربری اراضی حوضه‌ها رژیم هیدرولوژیکی یک حوضه آبریز را به میزان قابل توجهی تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۵). مطالعات متعددی اثرات هیدرولوژیکی نواحی شهری را با توجه به پدیده‌های هیدرولوژیکی نواحی شهری مانند رواناب، آب زیرزمینی، رسوب و ... مورد ارزیابی قرار داده‌اند. از مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به تحقیقات بوتتا و همکاران (۳)، فرگوسن و ساکلینگ (۱۱)، تسپهرنتیز و حمید (۲۶)، موسکریپ و مونت گومری (۱۸)، تونگ و میز (۲۷)، نگ و مارسالک (۲۱)، باسکار (۲) و کانگ و همکاران (۱۶) اشاره کرد.

مدل‌های هیدروگراف واحد که از تئوری سیستم خطی حاصل می‌گردند، جهت بررسی اثر شهرسازی بر فرآیند بارش- رواناب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. کانگ و همکاران (۱۶) مشخصات رواناب شهری را با استفاده از مفهوم مخازن خطی مورد بررسی قرار دادند. چنگ و وانگ (۶) از سیستم مخازن خطی برای آنالیز اثر شهرسازی بر رواناب خروجی از حوضه استفاده کردند که در آن مفهوم مخزن خطی را همراه با فرآیند کریجینگ^۲ مورد استفاده قرار داده و تغییرات پارامتر n مدل نش را با تغییرات نقاط نفوذناپذیر در طول چند سال مورد بررسی قرار دادند. چنگ و همکاران (۷) اثر دو عامل نقاط نفوذناپذیر و تراکم جمعیت را در پارامترهای مدل نش مورد بررسی قرار دادند و رابطه‌ای بین پارامترهای k و n مدل نش و دو عامل نفوذناپذیری و جمعیت ارائه نمودند. چنگ (۸) با استفاده از ۵۱ رویداد بارش- رواناب در طول سال‌های ۱۹۶۶-۲۰۰۲ اثرات شهرسازی را در حوضه رودخانه تامشویی^۳ مورد بررسی قرار داد. چهل رویداد از این رویدادها جهت تعیین رابطه بین نقاط نفوذناپذیر و فاکتورهای شهری واسنجی شدند. نتایج واسنجی و صحت سنجی نشان داد که روش‌های استفاده شده در این مطالعه به طور موثری شرایط هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژی را در فرآیند پیچیده شهری نشان می‌دهد. هانگ و

4- Mesquite grassland

5- Natural

6- Urban

7- Sierra Vista

1- Geomorphologic IUH

2- Kriging

3- Tamshui

$$h(t) = \frac{1}{K\Gamma(n)} e^{-t/K} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} \quad (۳)$$

که در آن $h(t)$ هیدروگراف واحد لحظه ای و $\Gamma(n)$ تابع گاما می باشند.

با استفاده از روش گشتاورها پارامترهای n و k محاسبه می شوند (۲۵):

$$M_1(Q) - M_1(I) = nk$$

$$M_2(Q) - 2M_1(I)M_1(Q) + M_2(I) = nk^2(n-1) \quad (۴)$$

که در آن M_1 و M_2 گشتاور اول و دوم مقادیر نشان داده شده در پراکنشها می باشند.

۳ مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیکی بر مبنای مخازن خطی

مدل مفهومی نش هیدروگراف را فقط در خروجی حوضه محاسبه میکند بدون اینکه اطلاعاتی از رفتار هیدرولوژیکی زیر حوضهها ارائه نماید. به منظور غلبه بر این مشکل مدل GUHCR (۲۲) ارائه گردید. این مدل نیز همانند مدل نش، یک سری از مخازن خطی را جهت محاسبه هیدروگراف خروجی در نظر می گیرد. در این مدل حوضه به صورت یک سری مخازن خطی که بر مبنای ژئومورفولوژی حوضه تقسیم بندی شده اند در نظر گرفته می شود و هر زیر حوضه به عنوان یک مخزن خطی در محاسبات لحاظ می گردد. در این روش، یک مدل مخازن خطی نامساوی با بارش توزیع شده بر مبنای مساحت زیر حوضهها حاصل می گردد. که در شکل ۲ نشان داده شده است.

در این روش یک مدل مخازن آبشاری نامساوی با بارش موثر توزیع شده تشکیل می گردد (۲۵). با کاربرد معادلات ذخیره و پیوستگی برای همه مخازن و با در نظر گرفتن بارش و خروجی از مخزن قبلی به عنوان ورودی، معادلات سیستم بدست می آیند (۲۵):

$$(1+k_1D)Q_1(t) = \frac{C_1}{A} I$$

$$(1+k_iD)Q_i(t) = \frac{C_i}{A} I + Q_{i-1} \quad i = 2, 3, \dots, N. \quad (۵)$$

که در آن C_i مساحت هر زیر حوضه و A مساحت کل حوضه است. با در نظر گرفتن بارش موثر توزیع شده بر مبنای مساحت زیر حوضهها، IUH به صورت زیر محاسبه می گردد (۲۵):

$$h_i(t) = \sum_{j=1}^{i-1} \frac{C_j}{A} \frac{u(t)}{\prod_{k=1}^j (k_j D + 1)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (۶)$$

میانگین بارش سالانه آن ۳۷۰ میلی متر است که عمدتاً در اواخر تابستان و زمستان رخ می دهد. اختلاف ارتفاع بین بلندترین نقطه و خروجی در حوضه طبیعی برابر ۲۵ متر و بین خروجی حوضه طبیعی و خروجی حوضه شهری برابر ۶ متر می باشد. شیب منطقه بین ۱ تا ۱۰ درصد متغیر است. رواناب حاصل از حوضه طبیعی به حوضه شهری وارد شده و سپس به خروجی حوضه می رسد. رواناب حاصل از هر دو زیر حوضه دارای زمان پایه کوتاه بوده و فقط در پاسخ به بارش اتفاق می افتد. حوضه شهری در فاصله سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ ساخته شده است و ایستگاههای موجود در منطقه در سالهای بین ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ فعال بوده اند. دادههای بارش توسط سازمان کشاورزی مرکز تحقیقات جنوب غرب آمریکا^۱ در فاصلههای زمانی ۱۰ دقیقه در ایستگاههای باران سنج ثبت جمع آوری شده است. داده های رواناب نیز در ایستگاههای سازمان زمین شناسی آمریکا^۲ ثبت شده اند. به دلیل اینکه هدف این تحقیق بررسی اثر کاربری اراضی در یک مدل IUH می باشد، حوضه مذکور متشکل از دو زیر حوضه با کاربری اراضی کاملاً متفاوت انتخاب گردید. از بین ۱۳ رویداد انتخاب شده، ۹ رویداد جهت واسنجی و ۴ رویداد جهت صحت سنجی مدلها استفاده گردید. در این رویدادها، کلیه هیدروگرافها، هیدروگراف رواناب مستقیم بوده و نیازی به جداسازی دبی پایه وجود ندارد. هیتوگراف بارش موثر در هر رویداد، با استفاده از روش شاخص \emptyset از هیتوگراف بارش مشاهداتی مجزا گردید (۹). مشخصات رویدادهای منتخب در جدول ۱ ارائه شده است.

مدل نش

نش (۲۰) برای بدست آوردن IUH معادله ای را پیشنهاد کرد، با فرض اینکه عمل حوضه در برابر یک بارش لحظه ای معادل جریان از تعدادی از مخازن خطی باشد. در این حالت حوضه به صورت یک سری از n مخزن در نظر گرفته می شود که خروجی از یک مخزن ورودی به مخزن دیگر می باشد. برای هر مخزن معادله پیوستگی به صورت زیر نوشته می شود:

$$I - Q = \frac{dS}{dt} \quad (۱)$$

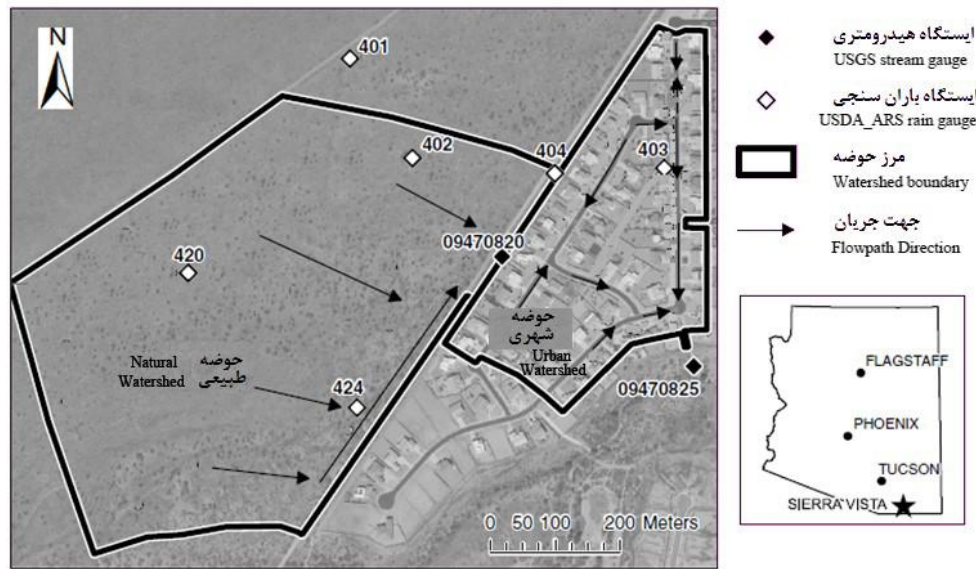
که در آن: I ، مقدار جریان ورودی به مخزن در زمان t ؛ Q ، مقدار جریان خروجی از مخزن در زمان t ؛ dS/dt ، میزان تغییر ذخیره در مخزن می باشند. برای یک مخزن خطی:

$$S = K \cdot Q \quad (۲)$$

K یک ضریب ثابت (با واحد زمان) است که زمان تاخیر مخزن نامیده می شود. معادله IUH مدل نش به صورت زیر بدست می آید:

3- Geomorphological Unit Hydrograph based on cascade of linear Reservoirs (GUHCR)

1- USDA Southwest Watershed Research center
2- US Geological Survey



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه، موقعیت ایستگاه‌های بارانسنجی و هیدرومتری و مرز زیر حوضه‌ها (۱۷)
 Figure 1- Study area map showing gauge locations and watershed boundaries

جدول ۱ - مشخصات رویدادهای منتخب

Table 1- Selected events specifications

| شماره رویداد Event No. | تاریخ رویداد Event date | عمق بارش (mm) Rainfall depth | عمق رواناب (mm) Runoff depth | ضریب رواناب Runoff coefficient |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 8.8.2008 | 296.09 | 67.81 | 0.23 |
| 2 | 14.8.2005 | 196.09 | 56.48 | 0.29 |
| 3 | 23.8.2005 | 74.02 | 10.48 | 0.14 |
| 4 | 25.8.2006 | 93.81 | 6.52 | 0.07 |
| 5 | 31.8.2008 | 192.87 | 2.73 | 0.01 |
| 6 | 19.7.2008 | 138.11 | 21.57 | 0.16 |
| 7 | 23.7.2008 | 127.11 | 14.65 | 0.12 |
| 8 | 24.7.2005 | 101.14 | 3.61 | 0.04 |
| 9 | 21.6.2006 | 460.94 | 30.21 | 0.07 |
| 10 | 4.8.2007 | 49.16 | 4.99 | 0.10 |
| 11 | 7.8.2008 | 187.86 | 27.20 | 0.15 |
| 12 | 8.8.2006 | 54.23 | 6.23 | 0.12 |
| 13 | 14.8.2008 | 136.44 | 23.02 | 0.17 |

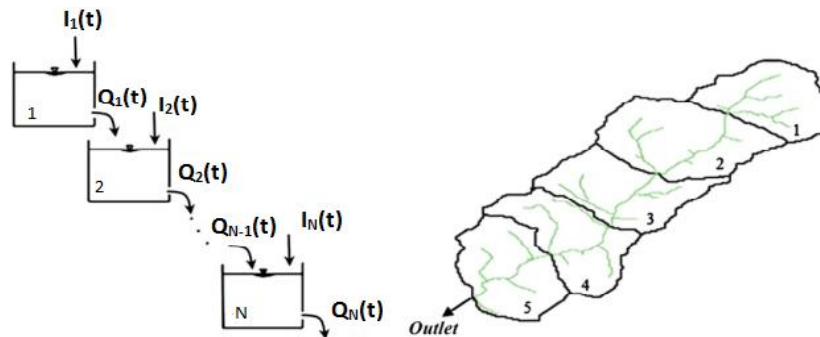
که در آن:

$$K_i = L_i^{-0.1} C_i^{0.3} S_{0i}^{-0.3} \quad (8)$$

که در آن S_0 شیب زیر حوضه، A مساحت زیر حوضه به کیلومتر مربع، L طول طولانی‌ترین مسیر زهکشی در زیر حوضه و \bar{k} پارامتر مدل با بعد $[TL^{-\frac{1}{2}}]$ است. می‌توان از روش مومنتم برای تعیین پارامتر \bar{k} استفاده نمود (۲۲).

در مدل اصلی آبخیز مخازن نامساوی خطی (۲۵) پارامتر ذخیره (زمان تاخیر) هر زیر حوضه (k_i) که با یک مخزن نشان داده می‌شود، با استفاده از کالیبراسیون بدست می‌آید. در حالی که در مدل GUHCR، می‌توان k_i را به خصوصیات ژئومورفولوژی زیر حوضه مرتبط کرد که فقط دارای یک پارامتر نامعلوم (\bar{k}) به صورت معادله زیر می‌باشد (۲۲):

$$k_i = \bar{k}(K_i) \quad (9)$$



شکل ۲- شماتیک مدل GUHCR (۲۲)

Figure 2- A schematic of GUHCR model

استفاده از معادله تجربی (۱۰) محاسبه می‌گردد که به خصوصیات ژئومورفولوژی (با دخیل نمودن K_i) و خصوصیات کاربری اراضی (با دخیل نمودن p_i) زیر حوضه‌ها مرتبط می‌شود.

با استفاده از مدل نیمه توزیعی GUHRLU شرایط هیدرولوژیکی و کاربری اراضی داخلی حوضه در نظر گرفته می‌شود؛ همچنین در مدل GUHCR و دیگر مدل‌های ارائه شده مفهومی، کل حوضه دارای کاربری اراضی یکسان در نظر گرفته شده که باعث می‌شود در زیر حوضه‌هایی که دارای کاربری اراضی یکسان نیستند، هیدروگراف خروجی در زیر حوضه‌ها از دقت کافی برخوردار نباشد. در مدل GUHRLU با در نظر گرفتن یک ضریب که معرف میزان نفوذپذیری هر زیر حوضه با توجه به کاربری اراضی می‌باشد، عملکرد مدل در برآورد هیدروگراف‌های خروجی زیر حوضه‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در این مدل ضمن کاهش پارامترهای قابل تخمین مدل به یک پارامتر، توانایی پوشش تغییرات پارامتر تأخیر (k) در زیر حوضه‌ها نیز وجود دارد.

معیار ارزیابی مدل‌ها

شناسایی مدل‌های موفق و دقیق در پیش بینی وقایع هیدرولوژیکی از جمله رواناب حاصل از بارش از اهمیت بسزایی برخوردار است زیرا نتایج آن بطور مستقیم در طراحی ابعاد سازه‌های هیدرولیکی و تاسیسات آبی بکار گرفته می‌شود. لذا ارزیابی میزان دقت مدل پیشنهادی از طریق یک سری شاخص‌های آماری نظیر ضریب همبستگی (R)، بازده مدل با معیار نش- ساتکلیف (NE)، (۲۰)، درصد خطای دبی اوج (Ep) و درصد خطای حجم رواناب (Ev)، از طریق مقایسه نتایج مدل با نتایج رویدادهای مشاهداتی انجام خواهد پذیرفت.

$$\bar{k} = \frac{M_1(Q) - M_1(I)}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{C_i}{A} \sum_{j=1}^{j=i} K_j \right)} \quad (9)$$

معادله (۹) نشان می‌دهد که پارامتر مدل (\bar{k}) به طور واضحی به خصوصیات ژئومورفولوژی زیر حوضه‌ها مرتبط می‌باشد. در مدلسازی با GUHCR فقط یک پارامتر (یعنی k_i) با استفاده از معادله تجربی (۷) محاسبه می‌گردد.

مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیکی مخازن خطی بر مبنای کاربری حوضه

مدل GUHCR تغییرات کاربری اراضی را در زیر حوضه‌ها در نظر نگرفته و بر اساس یکسان بودن کاربری اراضی زیر حوضه‌ها، بارش موثر بر مبنای مساحت هر زیر حوضه تقسیم می‌گردد. بنابراین کاربرد مدل GUHCR در حوضه‌های با کاربری اراضی متفاوت، مناسب نبوده و جهت رسیدن به جواب‌های با دقت کافی باید اصلاحاتی در این مدل صورت گیرد.

در این مدل، می‌توان k_i را به خصوصیات ژئومورفولوژی و کاربری اراضی زیر حوضه‌ها و یک پارامتر نامعلوم (\bar{k}) به صورت زیر مرتبط کرد:

$$k_i = \bar{k} (K_i) p_i^{-1} \quad (10)$$

که در آن p_i ضریب محاسبه شده برای هر زیر حوضه با توجه به سطح نفوذپذیری هر زیر حوضه می‌باشد. در معادله (۱۰) \bar{k} و K_i به ترتیب با استفاده از معادله (۸) و (۹) با استفاده از خصوصیات ژئومورفولوژی زیر حوضه‌ها و مشخصات بارش و رواناب هر رویداد محاسبه می‌گردند.

در مدل‌سازی با GUHRLU فقط یک پارامتر (یعنی k_i) با

زیر حوضه‌ها با استفاده از معادلات مربوطه (۷-۱۰) برای مدل‌های مورد بررسی در هر زیر حوضه محاسبه گردید. خصوصیات ژئومورفولوژی حوضه و پارامترهایی که جهت استخراج هیدروگراف خروجی حوضه در مدل‌های بررسی شده مورد استفاده قرار گرفت، در جدول ۲ ارائه شده است.

از آنجا که میزان نفوذپذیری زیر حوضه طبیعی بیشتر از زیر حوضه شهری است، سهم مشارکت زیر حوضه‌ها در تولید رواناب با یکدیگر برابر نبوده و با توجه به میزان نفوذپذیری زیر حوضه‌ها تعیین می‌گردد. سهم مشارکت زیر حوضه‌ها در تولید رواناب با استفاده از دو معادله قابل محاسبه می‌باشد: ۱- مجموع مشارکت سطوح موثر زیر حوضه‌ها در تولید رواناب برابر سطح کل حوضه است؛ ۲- میانگین سطح نفوذپذیری حوضه طبیعی ۴ برابر حوضه شهری است، در نتیجه سهم مشارکت حوضه شهری در تولید هیدروگراف خروجی ۴ برابر حوضه طبیعی می‌باشد. بنابراین ضریب p_i در هر زیر حوضه (ارائه شده در جدول ۲) به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$\begin{cases} p_1 C_1 + p_2 C_2 = A \\ p_2 = 4 p_1 \end{cases} \Rightarrow p_1 = 0.54, \quad p_2 = 2.15 \quad (16)$$

پارامترهای مدل‌ها با استفاده از این مقادیر (جدول ۲) و داده‌های ۹ رویداد انتخاب شده محاسبه گردیدند. در مدل نش کل حوضه مورد مطالعه به عنوان یک حوضه یکپارچه و بدون زیر حوضه در نظر گرفته شد. نتایج واسنجی پارامترهای مدل‌ها با استفاده از قضیه گشتاورها بدست آمد. پارامترهای محاسبه شده و همچنین نتایج واسنجی پارامترهای مدل‌ها برای مدل نش (n و k)، مدل‌های GUHCR و GUHRLU (\bar{k}) در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج واسنجی مدل‌ها در شکل ۳ ارائه شده است. میانگین مقادیر پارامترهای رویدادهای واسنجی جهت صحت سنجی چهار رویداد باقی مانده مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل‌ها در جدول ۴ و شکل ۴ ارائه شده اند. همانطور که در شکل‌ها مشاهده می‌گردد، هر سه مدل توانایی پیش‌بینی هیدروگراف خروجی را دارا می‌باشند.

$$R = \frac{\left(\sum_{t=1}^n (Q_{t,Obs} - \bar{Q}_{Obs}) (Q_{t,Sim} - \bar{Q}_{Sim}) \right)^2}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_{t,Obs} - \bar{Q}_{Obs})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_{t,Sim} - \bar{Q}_{Sim})^2}} \quad (12)$$

$$NE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n [Q_{t,Obs} - Q_{t,Sim}]^2}{\sum_{t=1}^n [Q_{t,Obs} - \bar{Q}_{Obs}]^2} \quad (13)$$

به ترتیب مقادیر دبی محاسباتی و مشاهداتی $Q_{t,Obs}$ و $Q_{t,Sim}$ دبی در زمان t ؛ \bar{Q}_{Obs} و \bar{Q}_{Sim} به ترتیب مقادیر دبی متوسط محاسباتی و مشاهداتی؛ و n تعداد گام‌های زمانی هیدروگراف خروجی مورد نظر می‌باشد.

$$E_p = \frac{|Q_{p,Sim} - Q_{p,Obs}|}{Q_{p,Obs}} \times 100 \quad (14)$$

که در آن $Q_{p,Obs}$ و $Q_{p,Sim}$ به ترتیب مقدار دبی اوج محاسباتی و مشاهداتی می‌باشند.

$$E_v = \frac{|V_{Sim} - V_{Obs}|}{V_{Obs}} \times 100 \quad (15)$$

که V_{Obs} و V_{Sim} به ترتیب مقادیر حجم محاسباتی و مشاهداتی هیدروگراف سیلاب برای واقعه مورد نظر می‌باشد. هر چه مقدار درصد این خطاها کمتر باشد نشان دهنده کارایی بیشتر مدل می‌باشد.

نتایج و بحث

به دلیل عدم وجود داده‌های مناسب جهت برآورد هدف مورد مطالعه در این تحقیق در ایران، از رویدادهای یکی از حوضه‌های ایالت آریزونا در ایالات متحده آمریکا جهت تحلیل مدل‌های مذکور استفاده گردید. از بین ۱۳ رویداد انتخاب شده، ۹ رویداد جهت واسنجی و ۴ رویداد جهت صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده گردید. خصوصیات فیزیکی حوضه (L_i, C_i, S_{0i}) با استفاده از نرم افزار GIS بدست آمد. پارامترهای مدل‌ها (\bar{k}, K_i, p_i, k_i) برای هر رویداد با در نظر گرفتن خصوصیات ژئومورفولوژی و سطوح نفوذپذیر

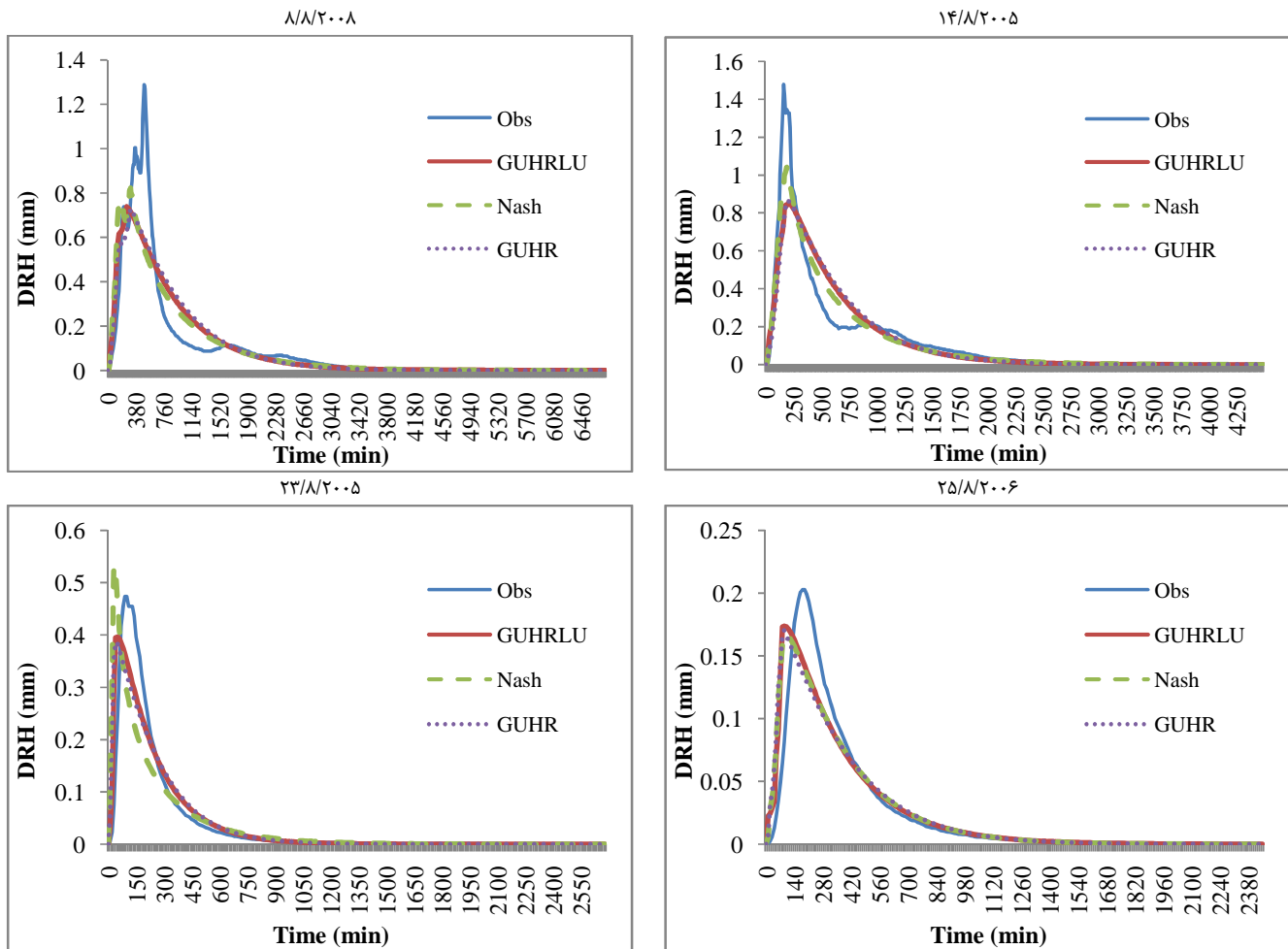
جدول ۲- پارامترهای ژئومورفولوژی مدل‌های مورد بررسی

Table 2- The geomorphologic parameters of investigated models

| زیر حوضه Sub-Watershed | C_i (m ²) | S_{0i} (%) | L_i (m) | نفوذناپذیری Impermeability (%) | ضریب کشیدگی Elongation Ratio | ضریب شکل Shape Factor | P_i | K_i |
|---------------------------|-------------------------|--------------|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------|-------|
| طبیعی Natural | 319700 | 2.43 | 834.64 | ~0 | 0.76 | 2.18 | 0.46 | 69.90 |
| شهری Urban | 128310 | 1.55 | 549.55 | 37 | 0.74 | 2.35 | 2.32 | 56.58 |

جدول ۳- نتایج واسنجی پارامترهای مدل‌های مورد بررسی
Table 3- The calibration results of investigated models

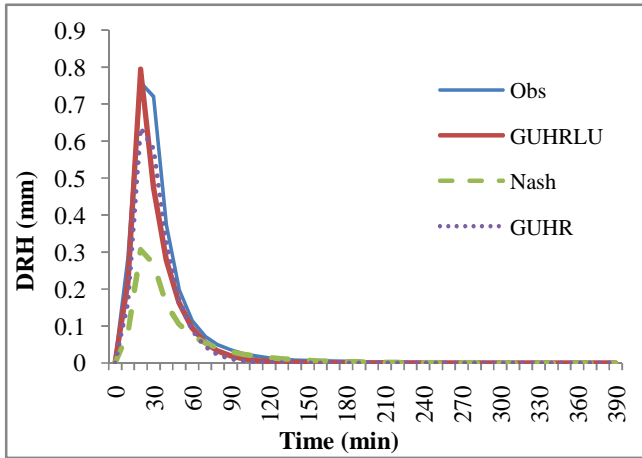
| مدل | پارامتر | Event No. شماره رویداد | | | | | | | | | میانگین |
|--------|-----------|------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|
| Model | Parameter | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Ave. |
| Nash | K(min) | 848.75 | 627.57 | 313.20 | 263.91 | 55.85 | 659.59 | 394.35 | 68.29 | 326.29 | 395.31 |
| | N | 0.80 | 0.78 | 0.69 | 1.15 | 0.30 | 0.85 | 0.52 | 0.83 | 1.13 | 0.78 |
| | NE | 0.80 | 0.93 | 0.65 | 0.86 | 0.57 | 0.80 | 0.81 | 0.93 | 0.80 | 0.79 |
| | R | 0.90 | 0.97 | 0.81 | 0.93 | 0.99 | 0.89 | 0.90 | 0.97 | 0.90 | 0.92 |
| | Ep | 36.19 | 29.57 | 12.61 | 17.04 | 59.56 | 8.27 | 8.22 | 13.81 | 34.57 | 24.39 |
| GUHCR | Ev | 1.81 | 2.54 | 6.48 | 0.97 | 54.88 | 1.73 | 12.00 | 12.30 | 0.81 | 10.39 |
| | \bar{k} | 3.77 | 3.91 | 2.51 | 3.52 | 7.88 | 6.35 | 6.53 | 2.38 | 0.66 | 4.17 |
| | NE | 0.73 | 0.72 | 0.84 | 0.79 | 0.81 | 0.58 | 0.83 | 0.92 | 0.93 | 0.80 |
| | R | 0.81 | 0.80 | 0.92 | 0.81 | 0.86 | 0.72 | 0.86 | 0.97 | 0.96 | 0.86 |
| | Ep | 20.40 | 26.20 | 18.38 | 15.89 | 5.04 | 37.81 | 29.68 | 25.56 | 16.14 | 21.68 |
| GUHRLU | Ev | 18.38 | 8.51 | 2.02 | 1.46 | 0.13 | 21.14 | 0.79 | 2.13 | 7.66 | 6.91 |
| | \bar{k} | 2.11 | 2.17 | 1.99 | 2.08 | 4.21 | 4.06 | 5.14 | 1.91 | 0.52 | 2.69 |
| | NE | 0.68 | 0.64 | 0.88 | 0.86 | 0.80 | 0.60 | 0.88 | 0.93 | 0.90 | 0.80 |
| | R | 0.79 | 0.80 | 0.94 | 0.93 | 0.91 | 0.75 | 0.92 | 0.96 | 0.79 | 0.87 |
| | Ep | 47.57 | 52.10 | 16.30 | 14.30 | 29.54 | 56.10 | 28.94 | 26.45 | 25.31 | 32.96 |
| Ev | 19.48 | 9.13 | 1.78 | 1.28 | 10.59 | 31.90 | 0.70 | 1.85 | 7.07 | 9.31 | |



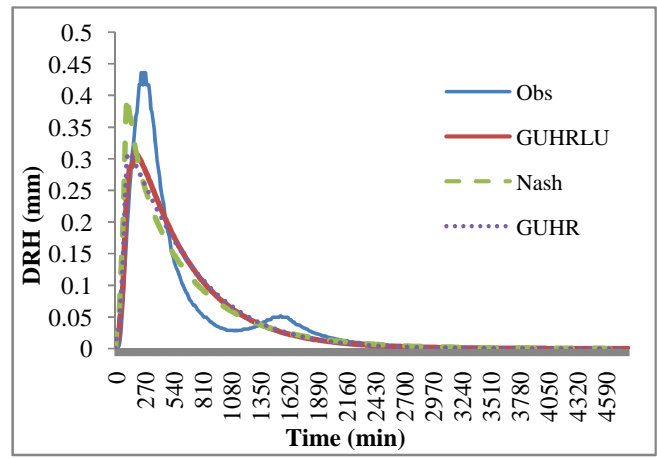
شکل ۳- هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی در مدل‌های مورد بررسی در مرحله واسنجی

Figure 3- The calibration hydrographs via investigated models

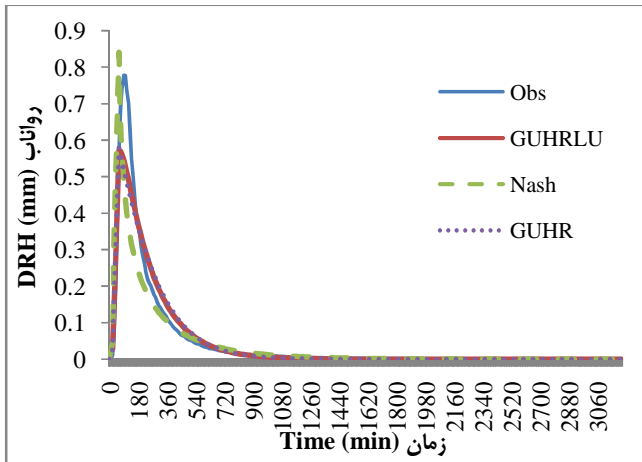
۳۱/۸/۲۰۰۸



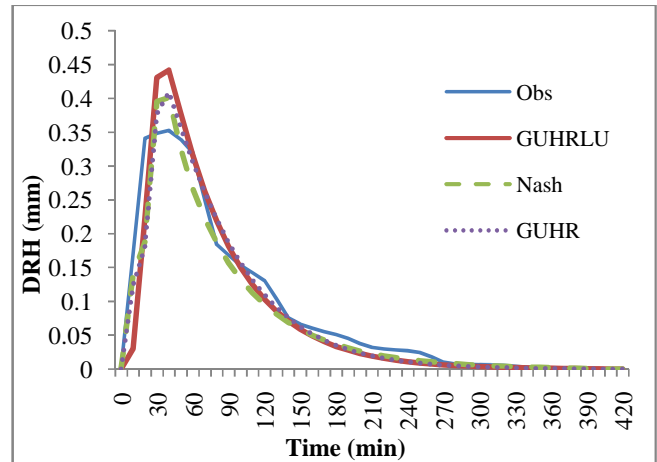
۱۹/۷/۲۰۰۸



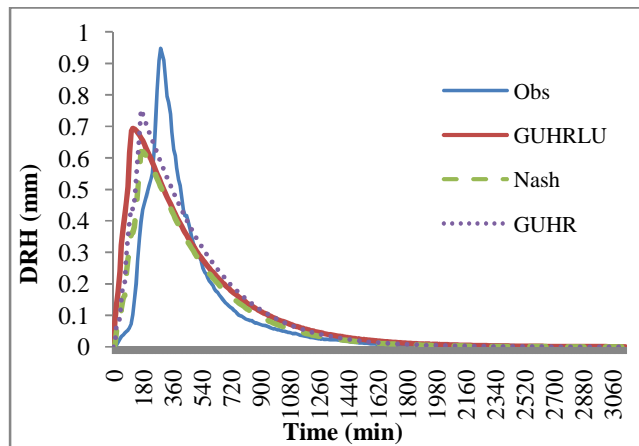
۲۳/۷/۲۰۰۸



۲۴/۷/۲۰۰۵



۲۱/۶/۲۰۰۶



ادامه شکل ۳- هیدروگراف‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در مدل‌های مورد بررسی در مرحله واسنجی
Continues Figure 3- The calibration hydrographs via investigated models

که در مرحله صحت‌سنجی (جدول ۴) بدست آمده است، بیانگر قابلیت شبیه‌سازی هیدروگراف زیر حوضه‌ای در مدل GUHRLU با دقت مناسب می‌باشد. طبق نتایج نشان داده شده در جداول ۳ و ۴ برخی رویدادها دارای خطای دبی پیک بالایی می‌باشند، با این وجود در مدل GUHRLU مقادیر خطای حجم هیدروگراف که از اهمیت ویژه‌ای در مدیریت منابع آب برخوردار است دارای مقادیر قابل قبولی می‌باشد. ضریب ذخیره هر زیرحوضه که با یک مخزن خطی نشان داده می‌شود (ki)، در مخازن خطی نامساوی با بارش توزیع شده، در هر زیر حوضه متفاوت است (۲۵). بنابراین محاسبه پارامترها به دلیل تعداد زیاد آنها غالباً مشکل و گاهی غیر قابل تخمین می‌باشد. اما در مدل GUHRLU همانند مدل GUHCR تنها یک پارامتر قابل تخمین وجود دارد با این تفاوت که در پارامتر ژئومورفولوژی حوضه، علاوه بر خصوصیات فیزیکی حوضه، کاربری اراضی را نیز در معادله وارد می‌نماید. بر خلاف مدل کاملاً گرده‌ای نش، مدل GUHRLU شرایط هیدرولوژیکی داخلی حوضه را نیز منعکس می‌نماید. مدل GUHCR دارای عملکرد بهتری در خروجی حوضه می‌باشد اما تغییرات کاربری اراضی را در مدل دخیل ننموده و بنابراین قادر به پیش بینی هیدروگراف داخلی حوضه (خروجی حوضه طبیعی) نمی‌باشد. به طور کلی دبی پیک و حجم رواناب در زیر حوضه طبیعی با استفاده از مدل GUHCR بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌گردد. در حالیکه با استفاده از مدل GUHRLU مقادیر خطای دبی پیک و حجم هیدروگراف حدود ۴۰ درصد بهبود می‌یابد. قابل ذکر است که در بیشتر رویدادها عملکرد مدل در خروجی حوضه شهری بهتر از خروجی حوضه طبیعی می‌باشد که به دلیل استفاده از هیدروگراف خروجی جهت تخمین پارامترهای مدل (فرمول ۹) می‌باشد. همانطور که قبلاً ذکر گردید مدل‌های ژئومورفولوژیک ارائه شده مشابه (۱، ۵، ۶، ۱۳ و ۲۲) قادر به پیش‌بینی هیدروگراف داخلی حوضه در حوضه‌های با کاربری متفاوت نمی‌باشند در حالی که در مدل GUHRLU، کاربری اراضی در فرمول مدل در نظر گرفته شده است که باعث می‌شود هیدروگراف‌های داخلی حوضه نیز با دقت قابل قبولی تخمین زده شوند.

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعه انجام شده، در مورد سه مدل نش، GUHCR و GUHRLU نتایج به صورت زیر ارائه می‌گردد:
هر سه مدل قابلیت پیش بینی هیدروگراف را در خروجی حوضه دارا می‌باشند، اما مدل‌های GUHCR و GUHRLU که خصوصیات فیزیکی حوضه را در مدل دخیل می‌نمایند دارای بازده بهتری بوده و میانگین معیار نش - ساتکلیف در خروجی حوضه در مرحله صحت سنجی برای سه مدل نش، GUHCR و GUHRLU به ترتیب برابر

با توجه به نتایج واسنجی و نیز صحت سنجی، مشاهده می‌گردد که بازوی بالارونده هیدروگراف که عمدتاً به مشخصات رگبار مرتبط است همانند بازوی پایین رونده که معمولاً به مورفولوژی حوضه بستگی دارد، توسط هر سه مدل به خوبی شبیه‌سازی گردیده است. به طور کلی رواناب حوضه‌های شهری دارای بازوی بالارونده تیزتر و دبی پیک بیشتری نسبت به حوضه‌های طبیعی می‌باشند. همانطور که در شکل‌ها مشخص است این خصوصیات با مدل‌های مورد مطالعه به خوبی شبیه‌سازی گردیده است. همچنین، همانطور که انتظار می‌رود، شکل عمومی هیدروگراف‌های حوضه شهری به دلیل تغییرات کمتر در سطح حوضه دارای شکل‌های تقریباً مشابهی می‌باشند، در حالی که شکل هیدروگراف‌ها در حوضه طبیعی دارای تنوع و تفاوت بیشتری نسبت به هم هستند.

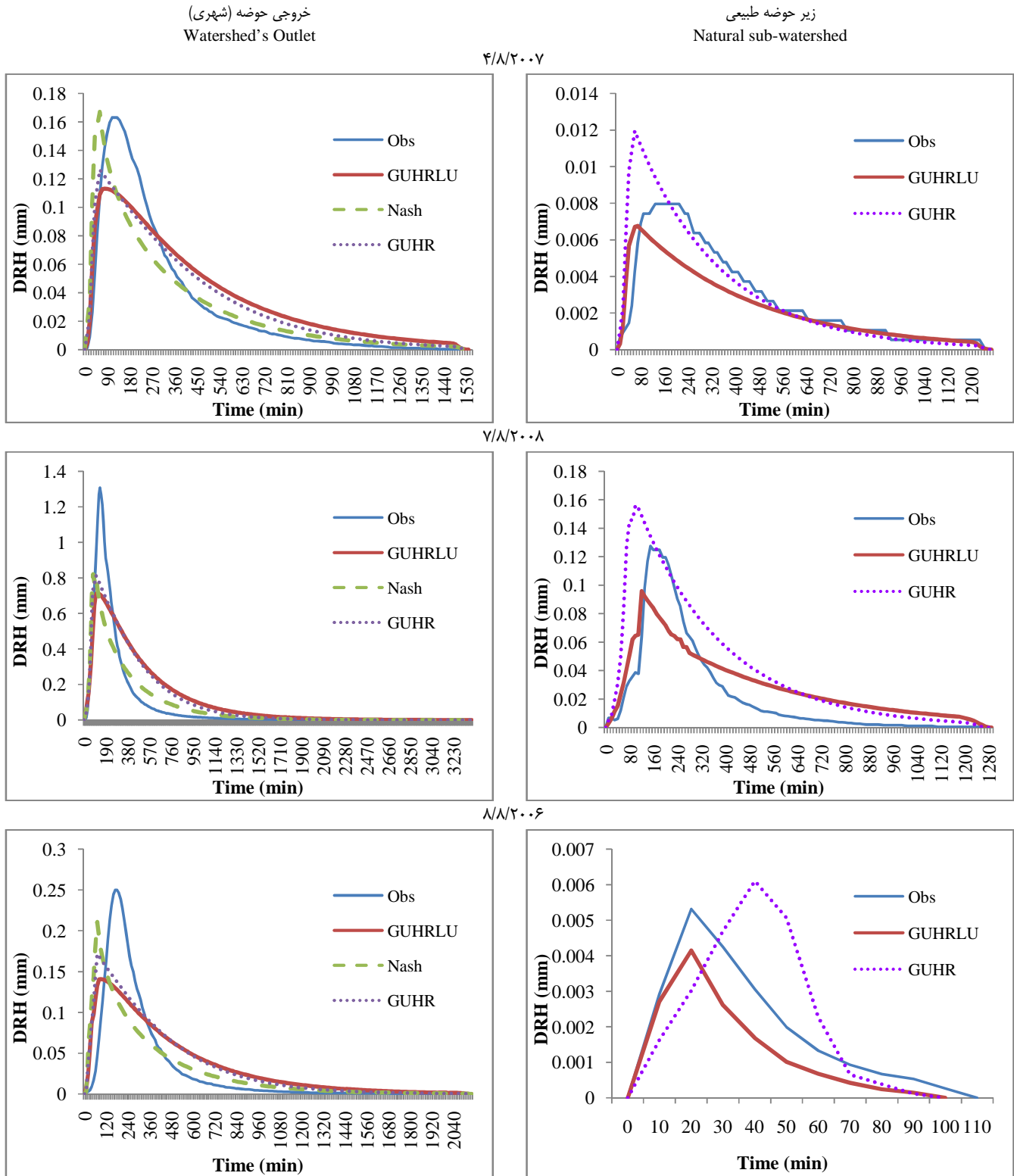
با توجه به اینکه مدل گرده‌ای نش هیچ اطلاعاتی از خصوصیات داخلی حوضه بدست نمی‌دهد و یک مدل کاملاً مفهومی است، لذا بررسی هیدروگراف زیر حوضه‌ای با استفاده از این مدل امکان‌پذیر نمی‌باشد. در مدل GUHCR برای هر زیر حوضه با توجه به خصوصیات ژئومورفولوژی مربوطه ضریب ذخیره متفاوتی در نظر گرفته می‌شود که قابلیت شبیه سازی هیدروگراف خروجی در هر زیر حوضه را دارا می‌باشد (۲۲)؛ اما در این مدل به دلیل یکنواخت فرض نمودن حوضه از لحاظ کاربری اراضی، قابلیت پیش‌بینی هیدروگراف با دقت قابل قبول را در زیر حوضه‌های با کاربری متفاوت دارا نمی‌باشد (جدول ۴). جهت غلبه بر این مشکل، مدل GUHRLU با در نظر گرفتن عاملی در ضریب ذخیره هر زیر حوضه که به نفوذ پذیری هر زیرحوضه با توجه به کاربری اراضی مرتبط می‌گردد، ارائه شده است. همانطور که در شکل ۴ و جدول ۴ مشاهده می‌گردد این مدل هیدروگراف را در زیرحوضه طبیعی حوضه به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. مقادیر میانگین پارامترهای معیار نش - ساتکلیف، ضریب همبستگی، میزان خطای دبی پیک و خطای حجم هیدروگراف در خروجی حوضه برای مدل GUHRLU به ترتیب برابر 0.078 ، 0.075 ، 0.087 ، 0.078 و $0.22/85$ می‌باشد. میانگین مقادیر مذکور در خروجی حوضه طبیعی برابر 0.078 ، 0.090 ، $0.21/37$ و $0.24/19$ محاسبه شده است. لحاظ نمودن خصوصیات کاربری اراضی در فرمول بندی مدل، عملکرد مدل را در زیر حوضه داخلی به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. نتایج نشان داده شده در جدول ۴ تفاوت معیارهای ارزیابی برآورد شده را در دو مدل GUHCR و GUHRLU در زیر حوضه طبیعی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد هیدروگراف‌های شبیه سازی شده با استفاده از مدل GUHRLU دارای همخوانی زیادی با هیدروگراف‌های مشاهداتی هستند. مقادیر معیار نش - ساتکلیف، ضریب همبستگی، میزان خطای دبی پیک و خطای حجم هیدروگراف

های با کاربری متفاوت دارا نمی‌باشد.
دبی پیک و حجم رواناب در زیر حوضه طبیعی با استفاده از مدل GUHCR بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌گردد. در حالی که با استفاده از مدل GUHRLU مقادیر خطای دبی پیک و حجم هیدروگراف حدود ۴۰ درصد بهبود می‌یابد.
مدل GUHRLU با در نظر گرفتن عاملی در ضریب ذخیره هر زیر حوضه که به نفوذ پذیری هر زیر حوضه با توجه به کاربری اراضی مرتبط می‌گردد، هیدروگراف حاصل از خروجی هر زیر حوضه را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کرده؛ به علاوه فقط دارای یک پارامتر قابل تخمین می‌باشد که خصوصیات فیزیکی حوضه را نیز شامل می‌شود.

۰/۵۷، ۰/۷۴ و ۰/۷۵ می‌باشد.
مدل گرده‌ای نش هیچ اطلاعاتی از خصوصیات داخلی حوضه بدست نمی‌دهد و یک مدل کاملاً مفهومی است، لذا بررسی هیدروگراف زیر حوضه‌ای با استفاده از این مدل امکان پذیر نمی‌باشد. میانگین معیار نش - ساتکلیف در خروجی زیر حوضه داخلی در مرحله صحت سنجی برای دو مدل GUHCR و GUHRLU به ترتیب برابر ۰/۴۷ و ۰/۷۸ می‌باشد.
مدل GUHCR برای هر زیر حوضه با توجه به خصوصیات ژئومورفولوژی مربوطه ضریب ذخیره متفاوتی در نظر می‌گیرد و قابلیت شبیه‌سازی هیدروگراف خروجی در هر زیر حوضه را دارا می‌باشد (۲۲)؛ اما در این مدل به دلیل یکنواخت فرض نمودن حوضه به لحاظ کاربری اراضی، قابلیت پیش بینی هیدروگراف را در زیر حوضه

جدول ۴- نتایج صحت سنجی مدل‌های GUHCR و GUHRLU
Table 4- The verification results of GUHCR and GUHRLU models

| مدل Model | حوضه Watershed | پارامتر Parameter | شماره رویداد Event No. | | | | میانگین Ave |
|------------------|-------------------|----------------------|---------------------------|-----------|--------|--------|----------------|
| | | | 10 | 11 | 12 | 13 | |
| Nash | خروجی Outlet | K(min) | 395.31 | 395.31 | 395.31 | 395.31 | 395.31 |
| | | N | 0.78 | 0.78 | 0.78 | 0.78 | 0.78 |
| | | NE | 0.78 | 0.75 | 0.27 | 0.48 | 0.57 |
| | | R | 0.89 | 0.91 | 0.55 | 0.70 | 0.76 |
| | | Ep | 2.54 | -37.21 | -15.74 | 4.83 | -11.40 |
| | | Ev | -4.79 | -3.33 | -3.63 | -3.31 | -3.76 |
| GUHCR | خروجی Outlet | \bar{k} | 4.17 | 4.17 | 4.17 | 4.17 | 4.17 |
| | | NE | 0.85 | 0.74 | 0.62 | 0.75 | 0.74 |
| | | R | 0.92 | 0.88 | 0.89 | 0.87 | 0.89 |
| | | Ep | 22.42 | 37.92 | 31.30 | 23.35 | 28.75 |
| | | Ev | 7.41 | 33.35 | 18.41 | 8.66 | 16.96 |
| | طبیعی Natural | NE | 0.81 | 0.41 | 0.20 | 0.44 | 0.47 |
| | | R | 0.90 | 0.73 | 0.61 | 0.92 | 0.79 |
| | | Ep | 50.10 | 22.63 | 14.87 | 31.26 | 29.72 |
| | | Ev | 9.78 | 81.71 | 12.68 | 47.53 | 37.68 |
| | | GUHRLU | خروجی Outlet | \bar{k} | 2.69 | 2.69 | 2.69 |
| NE | 0.83 | | | 0.68 | 0.71 | 0.79 | 0.75 |
| R | 0.93 | | | 0.89 | 0.84 | 0.83 | 0.87 |
| Ep | 30.59 | | | 45.46 | 43.75 | 31.46 | 37.82 |
| Ev | 15.53 | | | 38.72 | 18.21 | 18.95 | 22.85 |
| طبیعی Natural | NE | | 0.84 | 0.76 | 0.76 | 0.74 | 0.78 |
| | R | | 0.95 | 0.93 | 0.86 | 0.85 | 0.90 |
| | Ep | | 15.08 | 24.79 | 21.93 | 23.66 | 21.37 |
| | Ev | | 17.37 | 29.08 | 35.72 | 14.58 | 24.19 |



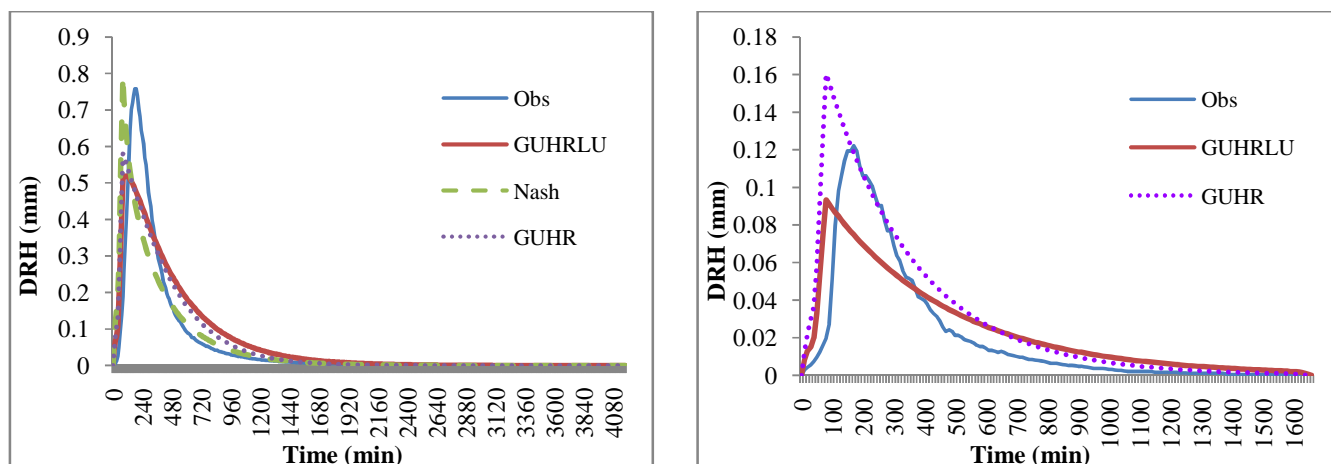
شکل ۵- هیدروگراف‌های صحت‌سنجی مدل‌های مورد بررسی در خروجی حوضه و زیر حوضه طبیعی

Figure 5- Verification hydrographs of investigated models at watershed and natural sub-watershed outlet

خروجی حوضه (شهری)
Watershed's Outlet

زیر حوضه طبیعی
Natural sub-watershed

۱۴/۸/۲۰۰۸



ادامه شکل ۵- هیدروگرافهای صحت سنجی مدل‌های مورد بررسی در خروجی حوضه و زیر حوضه طبیعی
Continues Figure 5- Verification hydrographs of investigated models at watershed and natural sub-watershed outlet

منابع

- 1- Agirre U., Goñi M., López J.J., and Gimena F.N. 2005. Application of a unit hydrograph based on subwatershed division and comparison with Nash's instantaneous unit hydrograph. *Catena*, 64, 321–332.
- 2- Bhaskar N.R. 1988. Projection of urbanization effects on runoff using Clark's instantaneous unit hydrograph parameters. *Water Resources Bulletin*, 24(1): 113–124.
- 3- Bonta J.V., Amerman C.R., Harlukowicz T.J., and Dick W.A. 1997. Impact of coal surface mining on three Ohio watersheds—surface water hydrology. *Journal of American Water Resources Association*, 33(4): 907–917.
- 4- Boyd M. J., Bufill M. C., and Knee R. M. 1993. Pervious and impervious runoff in urban catchments. *Hydrological Sciences Journal*, 38(6): 463–478.
- 5- Chaoqun L., Shenglian G., Zhang W., and Zhang J. 2008. Use of Nash's IUH DEM's to identify the parameters of an unequal-reservoir cascade IUH model. *Hydrological Process*, 22, 4073–4082.
- 6- Cheng S.J., and Wang R.Y. 2002. An approach for evaluating the hydrological effects of urbanization and its application. *Hydrological Processes*, 16:1403–1418.
- 7- Cheng S.J., Lee C.f., and Lee J. H. 2010. Effect of urbanization factors on model parameters. *Water Resources Management*, 24:775–794.
- 8- Cheng S.J. 2011. The best relationship between lumped hydrograph parameters and urbanization factors. *Natural Hazards*, 56:853–867.
- 9- Chow V.T., Maidment D.R., and Mays L.W. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York, USA.
- 10- Dougherty M., Dymond R.L., Grizzard Jr T.J., Godrej A.N., Zipper C.E., and Randolph J. 2006. Quantifying long term hydrologic response in an urbanizing basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12: 33–41.
- 11- Ferguson B.K., and Suckling P.W. 1990. Changing rainfall-runoff relationships in the urbanizing Peachtree Creek watershed, Atlanta, Georgia. *Water Resources Bulletin*, 26(2): 313–322.
- 12- Hollis G.E. 1975. The effect of urbanization on floods of different recurrence interval. *Water Resources Research*, 11: 431–435.
- 13- Huang H.J., Cheng S.J., Wen J.C., and Lee J.H. 2008. Effect of growing watershed imperviousness on hydrograph parameters and peak discharge. *Hydrological Process*, 22, 2075– 085.
- 14- Huang S.Y., Cheng S.J., Wen J.C., and Lee J. H. 2012. Identifying hydrograph parameters and their relationship to urbanization variables. *Hydrological Sciences Journal*, 57:144–161.
- 15- Jones J. A., and Grant G. E. 1996. Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon, *Water Resources Research*, 32(4), 959–974.
- 16- Kang I.S., Park J.I., and Singh V.P. 1998. Effect of urbanization on runoff characteristics of the On-Cheon Stream watershed in Pusan, Korea. *Hydrological Processes*, 12: 351–363.
- 17- Kennedy J. R., Goodrich D.C., and Unkrich C.L. 2013. Using the KINEROS2 Modeling Framework to Evaluate the Increase in Storm Runoff from Residential Development in a Semiarid Environment. *Journal of Hydrologic*

- Engineering, 18: 698-706.
- 18- Moscrip A.L., and Montgomery D.R. 1997. Urbanization flood frequency, and salmon abundance in Puget Lowlan Streams. *Journal of the American Water Resources Association*, 33(6): 1289-1297.
 - 19- Nash J.E. 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph. *Hydrology Sciences Bulletin*, 3: 114-121.
 - 20- Nash J.E., and Sutcliffe J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3): 282-290.
 - 21- Ng H.Y.F., and Marsalek J. 1989. Simulation of the effects of urbanization on basin streamflow. *Water Resources Bulletin*, 25(1): 117-124.
 - 22- Nourani V., Singh V.P., and Delafrouz H. 2009. Three geomorfologicalrainfall-runoffmodels based on the linear reservoir concept. *Catena*, 76: 206-214.
 - 23- Rodriguez-Iturbe I., and Valdes J.B. 1979. The geomorphologic structure of the hydrologic response, *Water Resources Research*. 15(6), 1409-1420.
 - 24- Shuster W., Bonta J., Thurston H., Warnemuende E., and Smith D. 2005. Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*, 2(4): 263-275.
 - 25- Singh V.P. 1988. *Hydrologic Systems. Rainfall-Runoff Modeling*, vol. I. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
 - 26- Tsihrintzis V.A., and Hamid R. 1997. Urban stormwater quantity/quality modeling using the SCS method and empirical equations. *Journal of the American Water Resources Association*, 33 (1): 163-176.
 - 27- Tung Y.K., and Mays L.W. 1981. State variable model for urban rainfall-runoff process. *Water Resources Bulletin*, 17(2): 181-189.
 - 28- U.S. Dept. of Agriculture (USDA). 1986. *Urban hydrology for small watersheds: Technical Release 55*, Washington, DC.
 - 29- Wagener T. 2007. Can we model the hydrological impacts of environmental change? *Hydrological Processes* 21(23): 3233-3236.



Investigation of Land Use Effects in Geomorphological Unit Hydrograph of Linear Reservoirs

A. Fakheri Fard¹ - V. Nourani² - F. Niazi^{*3}

Received: 26-10-2014

Accepted: 17-08-2015

Introduction: The influence of urbanization, as one important form of land use, on runoff and floods within watersheds has been a major topic of research during the past few decades. Urbanization affects the hydrology processes of a watershed by replacing the vegetated land cover with impervious surfaces. This can have a substantial effect on the hydrological response of a watershed to rainfall, potentially resulting in faster response, greater magnitude of river flow, higher recurrence of small floods and reduced base-flow, and groundwater recharge. The direct runoff hydrograph generated by rain falling on a watershed reflects the characteristics of both the effective rain hyetograph and the relevant surface features that control the runoff generation and surface-water flow processes.

Materials and Methods: In this study, the effect of land use investigated using GUHCR model and adjusted GUHRLU model is presented. These models and Nash's conceptual model used to investigate land use impacts for a small, well instrumented watershed consisting of two different land uses sub-watershed in the city of Sierra Vista, Cochise County, Southeastern Arizona. Geomorphological factors for the sub-watersheds extracted by GIS. In this study 13 storm events occurring on both sub-watersheds were selected to examine the proposed model's performance. Nine events were selected for model calibration. The remaining four events were used to examine the simulated hydrographs for the outlet and the interior natural sub-watershed. The model parameter (\bar{k}) was estimated for each event using the moment method and the average of the calibrated values was used for evaluation of the model. The model's performance demonstrated through four popular criteria (i.e. The Nash-Sutcliffe efficiency (NE), the Correlation Coefficient (R), the ratio of the absolute error of peak flow (E_p) and the ratio of the absolute error of hydrograph's volume (E_v)) using available hydro-geomorphological data.

Results and Discussion: The results show that although all studied models forecast the outlet hydrographs with acceptable accuracy, only the presented GUHRLU model shows appropriate results at sub-watershed outlet considering the effect of land use. Clearly, accounting for land use properties in the model formulation leads to improved efficiency at the internal sub-watershed. The Nash model as a lumped model, calculates the hydrography just at the watershed outlet without any information about the hydrological behavior of the interior watershed. Therefore, internal hydrography estimation is impossible via this model. In general, urban runoff tends to have a sharper rising limb and higher peak values while runoffs in natural watersheds have smaller peak values and the rising limb climbs more slowly. The hydrographs show that the overall shapes of the urban sub-watershed hydrographs are similar to each other, while those in the natural sub-watershed tend to be more different, as expected. Simultaneous consideration of geomorphological and land use parameters in the formulation of the proposed model (GUHRLU) provides this capability. As indicated by E_p and E_v , the error of peak flow and the volume of hydrographs show acceptable accuracy. It can be noted that some events show high values of error of peak flows (E_p), however, the model results in small values of E_v that is of great importance in water resource management. Note that, the performance values obtained for the watershed outlet were, for most events, higher than those of the internal sub-watershed outlet in both formulations, which may be due to the use of outlet hydrographs for calculating the model parameter (\bar{k}). This might also be due to less uncertainty in urban watersheds where runoff to rainfall ratios is much larger than in the natural sub-watershed. The GUHCR model has slightly better performance at watershed outlet, but it is unable to detect land use variability in its model formulation and so to estimate the internal watershed hydrographs appropriately. Overall, peak discharge and runoff volume for the natural sub-watershed was over-estimated via GUHCR model. The average values for Nash-Sutcliffe criteria at the internal watershed outlet for GUHCR and GUHRLU models are 0.47 and 0.78 respectively. Over 40% improvement is achieved in simulated peak discharge and runoff volume at interior watershed outlet using GUHRLU in compared with GUHCR model.

1 and 3- Professor and Ph.D. Candidate, Department t of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz

(*- Corresponding Author Email: Fae_niazi@yahoo.com)

2- Professor, Department t of Water Resources Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz

Conclusion: GUHRLU model considers not only the geomorphologic properties of the watershed, but also the land use variation of the sub-watershed in parameter formulation. This model can also reflect the hydrological conditions of the internal parts of the watershed with divergent land uses. The GUHRLU model is able to improve the efficiency of geomorphological rainfall-runoff simulations at the interior part of the study watershed, located in southeastern Arizona, by taking into account land use. Consideration of land use in the model leads to acceptable results at both watershed and interior sub-watershed outlets, particularly for watersheds like the studied watershed where different land uses sub-watersheds have. The overall efficiency of prediction was slightly poorer for the internal sub-watershed than for the outlet. Application of three models reveals that only the presented GUHRLU model shows appropriate results at sub-watershed outlet in which the land use variation is considered in the model formulation.

Keywords: Geomorphology, GUHCR Model, GUHRLU Model, Interior Hydrograph, Land Use, Nash Model, Storage Coefficient