تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهارم، شماره ۳، زمستان ۱۳۸۷
Volume 4, No. 3, Winter 2009 (IR-WRR)
۳۸-۴۶

معرفی یک آبنمود واحد ژئومورفولوژیکی بر پایه مخازن خطی آبشاری در محیط GIS

وحید نورانی[۱]، محمدتقی اعلمی[۲]
هادی دل‌افروز[۳] و وحید سپهری[۴]

چکیده

مفهوم آبنمود واحد لحظه‌ای[۱] (IUH) به صورت گسترده‌ای در شبیه‌سازی بارش–رواناب بکار می‌رود. در این مقاله آبنمود واحد ژئومورفولوژیکی ارائه گردیده است که بر پایهٔ مفهوم مخازن خطی آبشاری شکل گرفته است. در واقع در این مدل از یک سری مخازن متوالی که در طول زهکش حوضه قرار گرفته‌اند استفاده می‌گردد.

دو ویژگی مهم مدل عبارتند از: (الف) تاثیر داشتن خصوصیات حوضه در فرمول‌بندی و (ب) داشتن فقط یک پارامتر قابل تخمین. نتایج مدل ارائه شده در این مقاله با نتایج مدل جعبه سیاه نش برای حوضه امامه، مقایسه گردیده است. نتایج حاصل حکایت از این دارد که مدل ارائه شده علیرغم داشتن یک پارامتر کمتر نسبت به مدل نش، به دلیل بهره‌گیری از خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه، توانایی مناسبی در شبیه‌سازی بارش–رواناب دارد. در مدل‌سازی ارائه‌شده استفاده از ابزار GIS امکان محاسبهٔ پارامترهای ژئومورفولوژیکی مدل را به آسانی و دقت میسر نمود.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی بارش–رواناب، سیستم اطلاعات جغرافیائی(GIS)، آبنمود واحد ژئومورفولوژیکی، مدل نش، حوضه آبریز امامه.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۷ آذر ۱۳۸۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۲۱ مهر ۱۳۸۷

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز
۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز
۳- دانشجوی دکتری آب، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد آب، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز

GIS Representation of a Geomorphological Unit Hydrograph Based on Cascade Linear Reservoirs

V. Nourani [1], M. T. Alami [2], H. Delafrouz [3] and V. Sepehri [4]

Abstract

The Instantaneous Unit Hydrograph (IUH) concept is widely applied in the simulation of the rainfall-runoff process. In this paper a new geomorphologic unit hydrograph, based on the concept of cascade linear reservoirs has been developed and analyzed. This method represents the watershed as a cascade of reservoirs across the watershed main channel.

The two most important characteristics of the model are: (a) it explicitly includes the watershed morphology in its formulation and (b) it depends on only one uncertain parameter which must be estimated. The result of the model has been compared with Nash's black box model with one more parameter. The study area was the Ammameh watershed southern of central Alborz mountain chain in Iran. The results showed the efficiency of this model to simulate the rainfall-runoff process using the watershed geomorphologic properties. GIS tools in the current modeling allow the accurate and easy determination of the geomorphologic characteristics of the model.

***Keywords*:** Rainfall-Runoff Modeling, GIS, Geomorphologic Unit Hydrograph, Nash's Model, Ammameh Watershed.

1- Assistant Prof., Dept. of Civil Eng., Univ. of Tabriz., Iran, Email: nourani@tabrizu.ac.ir
2- Assistant Prof., Dept. of Civil Eng., Univ. of Tabriz, Iran.
3- PhD Student, Dept. of Civil Eng., Univ. of Tabriz, Iran, Email: delafrouz@tabrizu.ac.ir
4- M. Sc. Student, Dept. of Civil Eng.,Univ. of Tabriz, Iran.

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

به دلیل پیچیدگی فرایند بارش- رواناب، مدل‌های فراوانی جهت مدل‌سازی این فرایند مورد استفاده قرار گرفته است که انواع آن توسط Nourani et al. (2007) آورده شده است. اما اغلب از مدل‌های تفهیمی برای شبیه‌سازی و آنالیز این فرایند استفاده می‌شودکه در این بین می‌توان مدل مخزن خطی که توسط زاش (Zoch) در سال ۱۹۳۴ ارائه شد را قدیمی‌ترین، ساده‌ترین و پر کاربردترین مدل تفهیمی در ارتباط با شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب و روندیابی جریان دانست که پایهٔ اغلب مدل‌های تفهیمی دیگر می‌باشد (Nourani and Monadjem, 2006).

به تحقیق مدل مخازن خطی آبشاری با ضرایب ذخیره یکسان نش (Nash, 1957) اولین مدل تفهیمی با استفاده از مفهوم مخزن خطی است که دارای پایه ریاضی بوده و یک رابطه صریح ریاضی برای IUH یک حوضه ارائه می‌کند. در ادامه Dooge (1959) با در نظر گرفتن اثر انتقال جریان و اضافه کردن مفهوم کانال خطی به مدل نش یک مدل کاملتر برای محاسبه IUH یک حوضه ارائه داد ولی چون رابطه IUH حاصل برای مسائل کاربردی پیچیده به آسانی قابل حل نمی‌باشد، چند مدل ساده شده از این مدل ارائه شدند.

Wang and Chen (1996)، Jeng and Coon (2003) مدل‌هایی را که بر پایه مفاهیم مدل مخازن خطی‌آبشاری و مفهوم کریجینگ شکل گرفته بودند را ارائه نمودند. در سالهای اخیر مدل‌های کامپیوتری فراوانی بر مبنای مفهوم مخازن خطی پایه‌ریزی گردیده‌اند که از آن جمله می‌توان به مدل‌هایی مانند SSAR، RORB، SOSM و TANK اشاره نمود که توسط Singh and Woolhiser (2002) به اختصار توضیح داده شده‌اند.

اما مدل‌های یاد شده دارای پارامترهای زیادی بوده و اغلب قادر به تخمین رواناب فقط در خروجی حوضه می‌باشند؛ برای غلبه بر کاستی‌های فوق‌الذکر بود که هیدرولوژیستها در مسیر ایجاد و گسترش مدل‌های نیمه توزیعی قرار گرفتند (Nourani and Mano, 2007). این نوع مدل‌ها با استفاده از مفهوم روندیابی ژئومورفولوژیکی و ارائه آبنمود واحد ژئومورفولوژیکی[۲] (GUH) معرفی گردیدند و جرقه استفاده از این نوع روندیابی برای حوضه‌هایی که داده‌های مشاهداتی به طور کامل وجود نداشتند در اواخر دهه هفتاد زده شد و سعی شد که اغلب پارامترهای مدل براساس ویژگی‌های فیزیکی حوضه تخمین زده شوند. در این راه توسط Boyd (1978) و Boyd et al. (1979) مدل روندیابی ذخیره‌ایی بر مبنای ژئومورفولوژی حوضه ارائه شد. Gupta et al.(1980) ,Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979) آبنمود واحد ژئومورفولوژیکی را ابداع کردند که براساس فرض توزیع نمایی زمان لازم برای پیمایش یک قطره آب در یک مسیر مشخص در حوضه، بنا شده بود. Rosso (1984) پارامترهای موجود در مدل نش را به صورت تابعی از شاخص هورتون بیان نمود. با روش مشابه به روش بوید، Karnieli et al. (1994)، Hsieh and Wang (1999) اقدام به ارائه چند مدل روندیابی ژئومورفولوژیکی کارآمد کردند. Yen and Lee (1997) مدل ژئومورفولوژیکی ارائه کردند که برای حوضه‌هایی که نه تنها فاقد آمار کافی مشاهداتی بلکه دارای نقصان داده‌های ژئومورفولوژیکی نیز باشند قابل استفاده بود.

López et al. (2005)، Aguirre et al. (2005) نیز GUH لحظه‌ایی برپایهٔ مفهوم مخازن خطی آبشاری با بارش توزیع شده ارائه نمودند که دارای یک پارامتر قابل تخمین بوده لیکن پارامتر مدل بصورت ضریب ذخیره مخزن ، برای تمام مخازن یکسان در نظر گرفته شده و بر اساس داده‌های موجود واسنجی می‌گردد.

گسترش ابزار کاربردی GIS در علم هیدرولوژی و مدل‌سازی بارش- رواناب، امکان محاسبهٔ پارامترهای هیدرولوژیکی و فیزیکی حوضه‌ها را از روی نقشهٔ DEM[3] به آسانی و با دقت میسر گردانده است که دراین زمینه می‌توان به کارهای(1988) Jenson and Domingue، Oliverea and Maidment (1999)،Maidement et al. (1996) و Maidment (2002) اشاره کرد.

در این مقاله یک مدل برای تعیین آبنمود واحد لحظه‌ایی ارائه می‌شود که بر پایه مفهوم مخازن خطی آبشاری استوار بوده لیکن بر خلاف مدل ارائه شده توسط López et al. (2005)، Aguirre et al. (2005) که یک مقدار ثابت به عنوان ضریب ذخیره برای تمام مخازن معرف زیر حوضه‌ها توسط واسنجی اختیار می‌کند، در تحقیق حاضر سعی شده است با دخالت دادن ژئومورفولوژی زیر حوضه‌ها ، پارامتر مخازن مورد استفاده در مدل برای هر مخزن متفاوت باشد. تمام پارامترهای ژئومورفولوژیکی مدل ارائه شده در این مقاله با استفاده از دانش GIS استخراج شده و تنها یک پارامتر هیدرولوژیکی مدل با استفاده از اطلاعات بارش-رواناب مورد تخمین و واسنجی قرار می‌گیرد.

در ادامه مقاله ابتدا تئوری مدل ارائه گردیده سپس نتایج حاصل از مدل برای داده‌های حوضهٔ امامه با نتایج مدل نش مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

۲- معرفی مدل GUHCR

مدل GUHCR[4] که در این مقاله ارائه گردیده است، بر پایهٔ مفهوم مخازن خطی آبشاری پایه‌ریزی شده است. درمدل مخزن خطی زاش، حجم ذخیره مخزن، $S(t)$، با ضریب ذخیرهٔ (یا عامل تأخیر حوضه)، k، بصورت خطی به خروجی، $Q(t)$، مرتبط می‌شود، این مفهوم در رابطهٔ (1) نشان داده شده است:

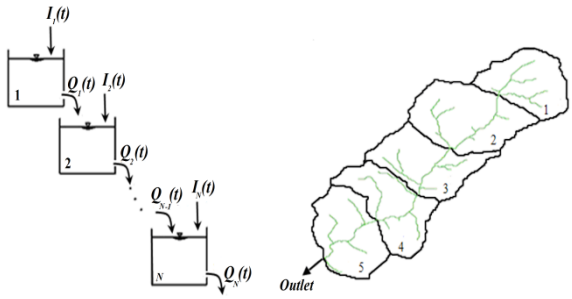
$$S(t) = kQ(t) \qquad (1)$$

با استفاده از قانون پیوستگی و رابطهٔ مخزن خطی (1)، معادلهٔ دیفرانسیل (2) بدست می‌آید که رفتار مدل مخزن خطی را نشان می‌دهد:

$$(kD+1)Q(t) = I(t) \qquad (2)$$

که در آن، $I(t)$، ورودی (بارش یا جریان ورودی یا هر دو) می‌باشد و D اپراتور دیفرانسیل (d/dt) می‌باشد.

در مدل GUHCR بعد از مشخص کردن زیرحوضه‌ها، هر یک از زیرحوضه با یک مخزن خطی جایگزین می‌گردد. بنابراین حوضه با یکسری مخازن متوالی که با توجه به ژئومورفولوژی حوضه توزیع شده است، جایگزین می‌شود. بارش کل حوضه نیز به نسبت مساحت هر زیرحوضه تقسیم می‌گردد. وضعیت ذکر شده در شکل ۱ آورده شده است. با فرضیات بالا مدلی همانند مدل کلاسیک آبشار مخازن خطی غیر یکسان با بارندگی موثر توزیع شده تشکیل می‌گردد (Singh, 1988)، لیکن مدل ارائه شده در تحقیق حاضر دارای ویژگی‌ها و تفاوتهایی است که در ادامه مورد اشاره قرار می‌گیرد.



شکل ۱- نمای چگونگی عمل مدل GUHCR

با فرض توزیع بارش به نسبت مساحت زیرحوضه و اعمال رابطهٔ (2) برای هر یک از مخزن‌ها که ورودی آنرا بارش حوضه و دبی خروجی مخزن بالایی تشکیل می‌دهد می‌توان سیستم معادلات حوضه را بصورت زیر نشان داد:

$$\begin{aligned} \dot{S}_1 &= \frac{c_1}{A} I_1 - a_1 S_1 \\ \dot{S}_i &= \frac{c_1}{A} I_1 + a_{i-1} S_{i-1} - a_i S_i \qquad i = 2,3,\ldots,N \end{aligned} \qquad (3)$$

در روابط فوق، $\dot{S}$ مشتق S نسبت به زمان، I، شدت بارندگی موثر، $a_i=1/k_i$ ،c_i مساحت هر زیرحوضه، A مساحت کل حوضه، i شماره زیر حوضه و N تعداد زیرحوضه‌ها (مخازن) را نشان می‌دهند. رابطه را نیز می‌توان بصورت ماتریسی نمایش و حل نمود .

برای یافتن IUH (h(t)) کافی است از بارش لحظه‌ای به صورت تابع دلتای دیراک، δ(t) ، در معادلهٔ (3) استفاده نمود که به نسبت مساحت زیرحوضه‌ها توزیع شده باشد و پس از حل معادلهٔ (3) شکل زیر را به خود می‌گیرد:

$$\begin{aligned} [h(t)] &= \frac{e^{t[a]}}{[k]}\left[\left[\int_0^t \delta(t) e^{-\tau[a]}[C]\,d\tau\right]\right] \\ &= \frac{1}{[k]} e^{t[a]}[C] \end{aligned} \qquad (4)$$

با استفاده از این رابطه می‌توان مقدار رواناب در خروجی هر یک از زیرحوضه‌ها را محاسبه نمود. در رابطهٔ (4) تنها مشکل محاسبهٔ مقدار $e^{t[a]}$ است که می‌توان از روشهای عددی متعددی برای حل آن استفاده کرد (Singh, 1988).

می‌توان بردار آبنمود واحد لحظه‌ایی مدل را با استفاده از روابط (3) و (1) و برای ورودی دلتای دیراک بصورت رابطه (5) نیز نشان داد که با توجه به مفهوم انتگرال کانولوشون در سیستم‌های خطی ، معادل با رابطه (4) خواهد بود.

$$h_i(t) = \sum_{i_1=1}^{i_1=i} \frac{\frac{c_{i_1}}{A}\delta(t)}{\prod_{j=i_1}^{j=1}(k_j D+1)} \qquad i = 1,2,3,\ldots,N \qquad (5)$$

بدیهی است آبنمود واحد لحظه‌ایی خروجی از زیرحوضه انتهایی، hN(t)=h(t)، برابر با آبنمود واحد لحظه‌ایی کل حوضه می‌باشد. برای یافتن UH می‌توان از روشهای متعددی مانند منحنی S استفاده نمود (Chow et al., 1988).

برخلاف مدل کلاسیک آبشار مخازن خطی غیر یکسان که پارامتر تأخیر زیر حوضه‌ها، k_i، توسط واسنجی تعیین گشته و در نتیجه با تعداد زیاد پارامتر مواجه هستیم، در مدل GUHCR، k_iها با استفاده از رابطهٔ مدل آبنمود مصنوعی نش، به خصوصیات ژئومورفولوژیکی زیرحوضه‌ها و یک پارامتر قابل تخمین، $\overline{k}$، مرتبط می‌شود:

$$k_i = \overline{k}(K_i) \qquad (6)$$

$$K_i = L_i^{-0.1} A_i^{0.3} S_i^{-0.3} \qquad (7)$$

که در آن S شیب متوسط زیر حوضه،A مساحت زیر حوضه به کیلومترمربع، L طول طولانی‌ترین مسیر زهکش در زیرحوضه و $\overline{k}$

Archive of SID

www.SID.ir

پارامتر حوضه می‌باشد. رابطه (6) و (7) توسط نش برای حوضه‌هایی در انگلستان پیشنهاد شده است (به نقل از Singh, 1988) که در مدل GUHCR با توجه به رابطه (6) با اعمال ضریب تصحیح $\overline{k}$ می‌توان برای حوضه‌های مختلفی از جمله حوضه‌های ایران نیز مورد استفاده قرار داد. دیمانسیون پارامتر $\overline{k}$، $\left[T\,L^{-1/2}\right]$ بوده و در این تحقیق پارامترهای S, L, A بوسیلهٔ دانش GIS محاسبه می‌شود.

جهت محاسبه تنها پارامتر مدل، $\overline{k}$، که بر اساس واسنجی مدل بدست می‌آید، می‌توان از روش گشتاورها و کاربرد تبدیل لاپلاس در محاسبهٔ گشتاور توابع که توسط Singh, (1988) تشریح شده است، استفاده نمود. برای مدل ارائه شده و با توجه به رابطه (۱۴) می‌توان نوشت:

$$M_1(h) = (-1)\frac{dH(s)}{ds}\bigg|_{s=0} = \sum_{i=1}^{i=N}\left(\frac{c_i}{A}\sum_{j=1}^{j=i}k_i\right) = \overline{k}\left(\sum_{i=1}^{i=N}\left(\frac{c_i}{A}\sum_{j=1}^{j=i}K_i\right)\right) \tag{8}$$

که در آن H(s) تبدیل لاپلاس رابطهٔ (5) برای خروجی حوضه می‌باشد (تبدیل لاپلاس h(t))، M_1 گشتاور اول وN تعداد زیرحوضه‌ها می‌باشد. اما با استفاده از رابطهٔ گشتاورها داریم (Singh, 1988) :

$$M_1(h) = M_1(Q) - M_1(I) \tag{9}$$

در نهایت با جایگذاری رابطهٔ (8) در رابطهٔ (9) داریم:

$$\overline{k} = \frac{M_1(Q) - M_1(I)}{\left(\sum_{i=1}^{i=N}\left(\frac{c_i}{A}\sum_{j=1}^{j=i}K_i\right)\right)} \tag{10}$$

چنانچه لحاظ می‌گردد تنها پارامتر مدل توسط یک رابطهٔ صریح ریاضی، رابطهٔ (10)، به خصوصیات ژئومورفولوژیکی زیرحوضه‌ها، K_i، ربط داده شده و با استفاده از داده‌های بارش و رواناب مشاهداتی قابل تخمین خواهد بود. با توجه به اینکه در اغلب تحقیقات صورت گرفته نتایج مدل ارائه شده در نهایت با نتایج مدل مقبول و پر مصرف نش مقایسه گردیده است، در این تحقیق نیز مدل ارائه شده با نتایج مدل نش مورد مقایسه قرار گرفته است که در ادامه این قسمت اشاره‌ایی به تئوری مدل نش نیز می‌گردد.

رابطهٔ آبنمود واحد لحظه‌ای مدل نش با فرض اینکه کل حوضه از یک آبشار مخازن خطی یکسان متوالی که در آن بارش در مخزن بالایی وارد می‌شود، شکل گرفته است (Nash, 1958). با بکار بردن رابطهٔ (3) و با فرض بالا، یک تابع توزیع گاما با پارمترهای n (تعداد مخازن) و k (ضریب ذخیرهٔ مخازن)برای IUH حوضه بدست می‌آید (Singh, 1988):

$$h(t) = \frac{e^{-\frac{t}{k}}}{k\,\Gamma(n)}\left[\frac{t}{k}\right]^{n-1} \tag{11}$$

که در آن Γ تابع گاما می‌باشد. در مدل نش دو پارامتر k و n را نیز می‌توان با روش گشتاورها بدست آورد:

$$\begin{aligned} &M_1(Q) - M_1(I) = n\,k \\ &M_2(Q) - 2M_1(I)M_1(Q) + M_2(I) = n\,k^2(n-1) \end{aligned} \tag{12}$$

که M_2 بیانگر گشتاور دوم است(Singh, 1988).

۳- معیار مقایسه و کفایت مدل‌ها

جهت مقایسه عملکرد مدل‌ها، از معیار نش – ساتکلیف (Nash and Sutcliffe, 1970)، E ، ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی، R ، و نسبت مطلق خطای پیک جریان، RAE_p (رابطهٔ (13))، استفاده شده است، که در آن Q_{Psim} ,Q_{Pobs} ماکزیمم دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشند.

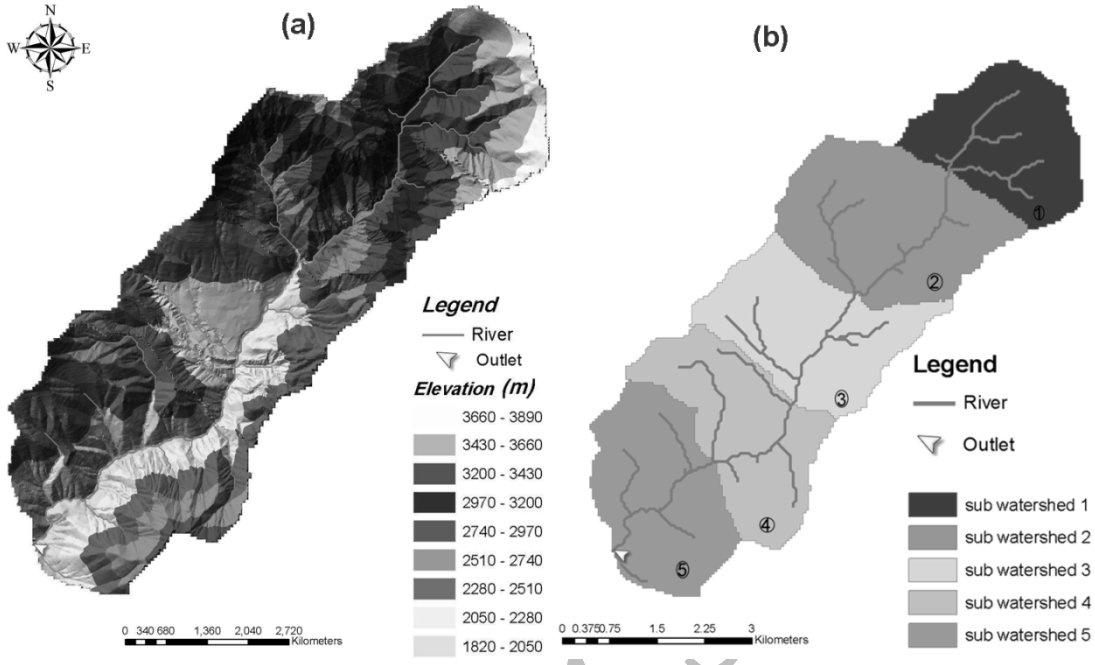
$$RAE_P\,(\%) = \frac{\left|Q_{Pobs} - Q_{Psim}\right|}{Q_{Pobs}} \times 100 \tag{13}$$

۴- معرفی حوضه مورد مطالعه

حوضه معرف امامه، یکی از زیر حوضه‌های آبریز جاجرود در بالادست سد لتیان می‌باشد که در ناحیه جنوبی البرز مرکزی قرار گرفته است. این حوضه کوهستانی با مساحت ۳۷/۲ کیلومتر مربع بین ارتفاعات ۱۹۰۰ و ۳۸۶۸ متر گسترش یافته است. حدود ۲۰۰ هکتار (۵ درصد سطح حوضه) از اراضی این حوضه تحت کشت باغ میوه و علوفه قرار داشته و در بقیه سطح حوضه هم، پوشش نباتی از نوعی بوتهٔ خودرو و به صورت پراکنده وجود دارد. برخی از رگبارهای این حوضه در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای ثبت شده است (تماب، ۱۳۷۶). نقشه DEM حوضه نیز جهت یافتن خصوصیات ژئومورفولوژیک حوضه، موجود می‌باشد. جهت بررسی شبیه‌سازی فرایند بارش–رواناب توسط مدل‌ها ، با استفاده از دانش GIS ، این حوضه به ۵ زیرحوضه تقسیم

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- (a) نقشه DEM (b) نمای چگونگی تقسیم حوضه آبریز امامه

گردیده است. در شکل‌های a-۲ و b-۲ و به ترتیب نقشهٔ DEM و نحوهٔ تقسیم‌بندی زیرحوضه‌های حوضه امامه آورده شده‌اند.

۵- نتایج وبحث

با توجه به مشکل کمبود اطلاعات مناسب اندازه‌گیری شده، از اطلاعات ۸ واقعه رگبار جهت مقایسهٔ بین آبنمودهای واحد شبیه‌سازی شده توسط مدل‌ها و آبنمود واحد مشاهداتی استفاده شده است. از این تعداد، ۶ واقعه جهت واسنجی مدل‌ها و دو واقعه جهت صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده گردیده است.

جهت یافتن آبنمود واحد مشاهداتی هر یک از واقعه‌ها، ابتدا بوسیلهٔ روش شیب ثابت دبی پایهٔ هر یک از واقعه‌ها مشخص و آبنمود مستقیم مشاهداتی محاسبه شده است. سپس با استفاده از قانون پیوستگی و روش نرخ نفوذ ثابت میزان نفوذ هر یک از واقعه‌ها محاسبه و از هیتوگراف مشاهداتی کسر گردید تا هیتوگراف موثر هر یک از واقعه‌ها تشکیل گردد. سپس با استفاده از روش دکانولوشن آبنمود واحد مشاهداتی هر یک از واقعه محاسبه گردید (Chow et al., 1988).

در جدول ۱ پارامترهای ژئومورفولوژیک استخراج شده در GIS برای زیرحوضه‌ها و همچنین پارامترهای لازم جهت محاسبهٔ پارامتر قابل تخمین مدل که در رابطهٔ (10) آمده است، آورده شده است. در جدول مذکور ستونها به ترتیب نمایندهٔ شماره زیرحوضه، مساحت، ارتفاع متوسط، طول بزرگترین زهکش و شیب متوسط هریک از زیرحوضه‌ها می‌باشند. c/A، برابر با نسبت مساحت هر زیرحوضه به مساحت کل حوضه و K برابر با مقدار معرفی شده در رابطهٔ (7) می‌باشد.

با استفاده از مقادیر فوق و داده‌های بارش-رواناب، می‌توان پارامتر مدل را محاسبه نمود. نحوهٔ محاسبهٔ پارامترهای قابل تخمین مدل‌های نش، (n,k) و GUHCR، $\overline{k}$، با استفاده از روش گشتاورها که با روابط (10) و (12) تخمین زده می‌شوند، در جدول ۲ آورده شده است. بعد از محاسبهٔ پارامترهای مدل، می‌توان عملیات شبیه‌سازی مدل‌ها را انجام داد که نتایج مرحلهٔ واسنجی مدل‌ها در جدول ۳ آمده است. نمودارهای مربوط به جدول ۳ در شکل ۳ آمده است. در این شکل آبنمود واحد حاصل از مدل‌های نش و GUHCR در کنار آبنمود واحد مشاهداتی آورده شده است.

روشهای دیگری نیز برای محاسبهٔ پارامترهای مدل وجود دارد. باتوجه به اینکه مدل GUHCR دارای یک پارامتر قابل تخمین می‌باشد، می‌توان از روش جستجوی مستقیم برای محاسبهٔ این پارامتر استفاده نمود (Yue and Hashino, 2000). با استفاده از روش جستجوی مستقیم پارامتر مدل GUHCR محاسبه گردیده است که نتیجهٔ شبیه‌سازی با این روش، در جدول ۴ آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱ – پارامترهای ژئومورفولوژیک مدل GUHCR

No.	Area (m^2)	Elevation (m)	Longest_F (m)	Slp_Mean %	c/A	K
۱	۶۳۴۹۰۵۷	۳۲۰۶/۴۵	۳۰۴۷/۰۸	۴۹/۹۰	۰/۱۷	۶۰/۶۷
۲	۹۲۵۹۷۸۵	۲۸۸۴/۱۳	۴۳۲۵/۰۵	۶۶/۶۱	۰/۲۵	۶۰/۱۶
۳	۷۳۷۸۷۷۲	۲۲۰۳/۳۹	۴۱۱۹/۵۲	۳۷/۹۷	۰/۲۰	۶۸/۸۵
۴	۷۱۰۶۰۵۱	۲۲۴۹/۹۷	۵۴۶۰/۲۴	۵۳/۵۲	۰/۱۹	۵۷/۹۷
۵	۷۲۹۴۶۶۲	۲۰۱۳/۶۰	۴۶۶۴/۷۲	۶۰/۱۲	۰/۲۰	۵۷/۳۲

جدول ۲– محاسبهٔ پارامترهای مدل GUHCR و Nash به روش گشتاورها

Event	$M_1(I)$	$M_2(I)$	$M_1(Q)$	$M_2(Q)$	k	n	$\bar{k}$
	$[T]$	$[LT^2]$	$[T]$	$[LT^2]$	$[T]$		$[LT^2]$
۱	۰/۲۵	۰/۰۸۳	۱/۷۳۰	۴/۲۴۲	۰/۸۲۲	۱/۷۹۵	۰/۰۰۸
۲	۰/۲۵۰	۰/۰۸۳	۱/۲۸۲	۲/۰۴۹	۰/۵۴۶	۲/۶۰۶	۰/۰۰۶
۳	۰/۲۵۰	۰/۰۸۳	۲/۰۴۶	۵/۸۹۷	۱/۰۸۶	۲/۱۸۵	۰/۰۱
۴	۰/۲۵۰	۰/۰۸۳	۳/۸۱۶	۱۹/۶۲۸	۱/۷۰۳	۲/۷۹۵	۰/۰۱۹
۵	۰/۲۵	۰/۰۸۳	۳/۶۰	۱۸/۰۵۲	۱/۳۱۳	۲/۳۸۶	۰/۰۱۸
۶	۰/۴۸۲	۰/۳۱۶	۳/۶۲۰	۱۷/۳۱۹	۱/۵۱۳	۲/۲۱۴	۰/۰۱۷

جدول ۳– نتایج مرحله واسنجی مدل‌های GUHCR و Nash (روش گشتاورها)

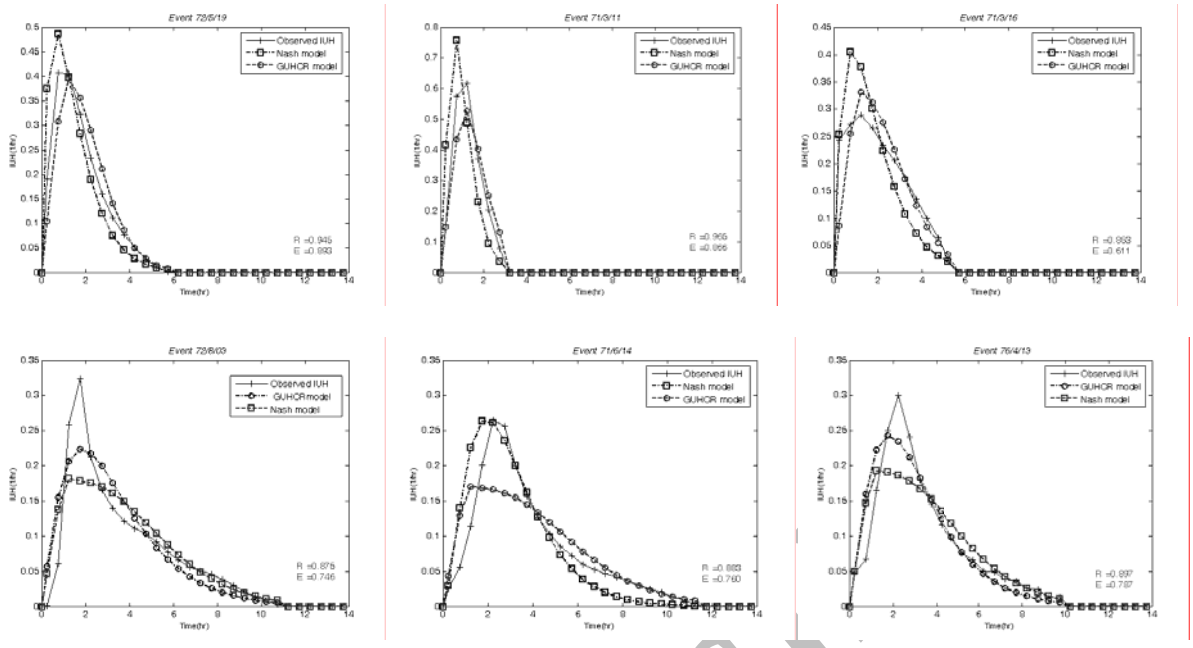
Event	GUHCR model				Nash model				
	$\bar{k}$	E	R	RAE_p	k	n	E	R	RAE_p
۱	۰/۰۰۸	۰/۸۹۳	۰/۹۴۵	۲/۹۸	۰/۸۲۲	۱/۷۸۵	۰/۷۹۸	۰/۹۲۷	۱۹/۰۶
۲	۰/۰۰۶	۰/۸۶۶	۰/۹۶۵	۱۴/۳۷	۰/۳۷۳	۲/۷۶۵	۰/۴۰۸	۰/۷۷۱	۲۲/۷۷
۳	۰/۰۱	۰/۶۱۱	۰/۸۵۴	۱۴/۹۰	۰/۹۴۲	۱/۹۰۷	۰/۴۹۰	۰/۹۳۱	۴۰/۱۴
۴	۰/۰۱۹	۰/۷۶۱	۰/۸۸۴	۳۵/۴۵	۱/۴۱۵	۲/۵۲۰	۰/۸۹۴	۰/۹۴۵	۴۱/۷۵
۵	۰/۰۱۸	۰/۷۴۶	۰/۸۷۶	۳۵/۵۶	۱/۳۱۳	۲/۳۸۶	۰/۸۰۴	۰/۸۹۴	۱۹/۱۶
۶	۰/۰۱۷	۰/۷۸۸	۰/۸۹۷	۴۴/۰۷	۱/۵۱۳	۲/۲۱۴	۰/۹۰۵	۰/۹۵۲	۳۱/۱۰
Average	**۰/۰۱۳**	**۰/۷۸۶**	**۰/۹۰۴**	**۲۴/۵۶**	**۱/۰۶۲**	**۲/۲۶۱**	**۰/۷۱۷**	**۰/۹۰۳**	**۲۹/۰۰**

جدول ۴– نتایج مرحله واسنجی مدل GUHCR (روش جستجوی مستقیم)

Event	GUHCR model			
	$\bar{k}$	E	R	RAE_p
۱	۰/۰۰۶۸	۰/۹۲۶	۰/۹۷۴	۱۲/۶۴
۲	۰/۰۰۴۴	۰/۹۸۷	۰/۹۹۴	۹/۱۸
۳	۰/۰۰۹۸	۰/۷۲۷	۰/۸۵۴	۱۴/۹۰
۴	۰/۰۱۷	۰/۷۸۳	۰/۸۸۵	۲۶/۹۲
۵	۰/۰۱۶	۰/۷۷۷	۰/۸۸۰	۳۶/۲۱
۶	۰/۰۱۵	۰/۷۳۳	۰/۹۲۴	۲۶/۵۸
Average	**۰/۰۱۱۵**	**۰/۸۲۲**	**۰/۹۱۹**	**۲۱/۰۷**

Archive of SID

www.SID.ir

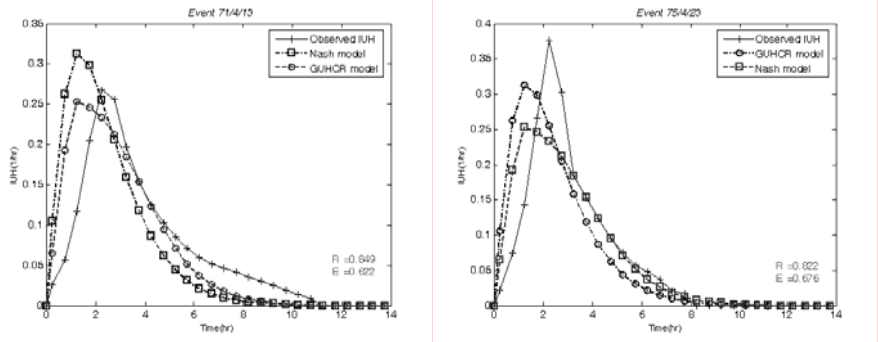


شکل۳ - نمودارهای مرحله واسنجی مدل‌های GUHCR و Nash

پس از مرحلهٔ واسنجی، با استفاده از دو واقعه، مدل‌ها مورد صحت سنجی قرار گرفته‌اند که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. بدیهی است که مقدار متوسط پارامترها در مرحله واسنجی (روش گشتاورها)، در مرحلهٔ صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفته است. نمودارهای مربوط به جدول ۵، در شکل ۴ آورده شده است. همانطور که از جدول۴ مشخص است، در مرحلهٔ واسنجی (با استفاده از روش گشتاورها) میانگین آماره‌ها در مدل‌های GUHCR و Nash تقریباً برابر می‌باشد. جدول ۴ نیز نشان می‌دهد که با استفاده از روش جستجوی مستقیم نتایج مطلوب‌تری از مدل GUHCR استخراج می‌گردد. با استفاده از نتایج جدول ۵ مشخص می‌گردد که در مرحله صحت‌سنجی، در مجموع نتایج بهتری با استفاده از مدل GUHCR استخراج می‌گردد.

جدول ۵- نتایج مرحله صحت سنجی مدل‌های GUHCR و Nash

Event	*GUHCR hydrograph*				*Nash hydrograph*				
	$\overline{k}$	E	R	RAE_p	k	n	E	R	RAE_p
۷	۰/۰۱۳	۰/۶۷۶	۰/۸۲۳	۳۲/۷۳	۱/۰۶۲	۲/۲۶۱	۰/۴۱۴	۰/۷۱۰	۱۶/۹۳
۸	۰/۰۱۳	۰/۶۲۲	۰/۸۴۹	۵/۲۲	۱/۰۶۲	۲/۲۶۱	۰/۳۳۱	۰/۷۲۸	۱۹/۰۲
Average	**۰/۰۱۳**	**۰/۶۴۹**	**۰/۸۳۶**	**۱۸/۹۸**	**۱/۰۶۲**	**۲/۲۶۱**	**۰/۳۷۳**	**۰/۷۱۹**	**۱۷/۹۸**



شکل ۴ - نمودار مرحله صحت سنجی مدل های GUHCR و Nash

Archive of SID
www.SID.ir

با توجه به اینکه مدل نش دارای دو درجه آزادی است به نظر می‌رسد نتایج مرحلهٔ واسنجی می‌بایست بهتر باشد، چراکه مدل با دو پارامتر برازش مناسب‌تری بر داده‌های مشاهداتی خواهد داشت؛ اما دو پارامتری بودن، وابستگی مدل را به دقت مقدارهای تخمینی پارامترها افزایش می‌دهد و وجود خطا در مقدار پارامترهای تخمینی می‌تواند کاهش زیادی را در دقت مدل در مرحلهٔ صحت‌سنجی سبب گردد. این امر در نتایج جدول ۵ مشهود شده است.

۶- نتیجه‌گیری

در مدل آبشار مخازن خطی نامساوی با بارندگی موثر توزیع شده کلاسیک پارامتر تأخیر زیر حوضه‌ها، k_i، برای هر یک از زیر حوضه متفاوت می‌باشد (Singh, 1988). بنابراین به علت تعداد زیاد پارامتر قابل تخمین (به ازای هر زیرحوضه) محاسبهٔ این پارامترها، عملی بسیار دشوار بوده و تا حدی غیر عملی می‌نماید؛ اما در مدل GUHCR برای هر حوضه تنها یک پارامتر، $\bar{k}$، قابل تخمین وجود دارد. مدل GUHR[5] (López et al., 2005; Aguirre et al., 2005) نیز که از مفهوم مخازن آبشاری استفاده نموده است، دارای یک پارامتر قابل تخمین می‌باشد اما این مدل برای کلیهٔ زیرحوضه‌های موجود یک مقدار پارامتر تأخیر ثابت، k، اختیار می‌کند. بنابراین مدل GUHR نمی‌تواند تغییرات پارامتر تأخیر، k، زیرحوضه‌ها را به صورت موثری در مدل منظور و در حقیقت از خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌ها در مدل استفاده نمی‌شود. اما در مدل GUHCR پارامتر تأخیر هر زیر حوضه، k_i، ضمن ارتباط با خصوصیات ژئومورفولوژیکی زیر حوضه، مقدار متفاوتی را برای هر یک از زیرحوضه‌ها اختیار می‌نماید. بنابراین در این مدل ضمن کاهش پارامترهای قابل تخمین مدل به یک پارامتر، توانایی پوشش تغییرات پارامتر تأخیر، k_i، زیرحوضه‌ها نیز وجود دارد. بنابراین مدل GUHCR ضمن داشتن خاصیت مدل GUHR و مدل آبشار مخازن خطی غیر یکسان کلاسیک، تأثیر خصوصیات ژئومورفولوژیک حوضه را نیز در نظر می‌گیرد. بنا به همین خصوصیت و دارا بودن مفهوم فیزیکی و ژئومورفولوژیکی مقادیر k_i است که مدل ارائه شده خاصیت نیمه توزیعی داشته و برخلاف مدل‌های توده‌ای (Lumped) مانند مدل نش، می‌تواند از شرایط هیدرولوژیکی داخل حوضه نیز خبردار باشد. بدین منظور می‌توان توسط رابطهٔ (۱۴) IUH و به تبع آن دبی خروجی هر کدام از زیر حوضه‌ها را نیز تعیین کرد. بنابراین در کل از نتایج آماره‌ها این چنین بر می‌آید که صحت عمل GUHCR از مدل کلاسیک Nash بیشتر بوده و ضمن داشتن مزایا فوق‌الذکر قادر است به صورت مناسبی پدیدهٔ بارش- رواناب را شبیه‌سازی نماید.

در ضمن چنانچه ملاحظه گردید استفاده از روشهای تکمیلی تر تخمین پارامتر از جمله جستجوی مستقیم می‌تواند منجر به نتایج بهتری گردد لیکن استفاده از روشهای کلاسیک از جمله روش گشتاورها به دلیل سادگی عمومیت بیشتری داشته و در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت.

در این مقاله مدل ارئه شده در مورد حوضه‌ای که از طریق خطوط هم‌فاصله تقسیم گردیده، بررسی گردید اما با لحاظ کردن خطی بودن سیستم و اعمال اصل نسبتها، این مدل را می‌توان بر روی حوضه‌هایی که بر اساس نقاط مشترک بر روی شبکه زهکش به زیرحوضه‌ها تقسیم شده‌اندنیز بکار برد. اجرای این پیشنهاد به کارهای آتی موکول می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

1. Instantaneous Unit Hydrograph
2. Geomorphologic Unit Hydrograph
3. Digital Elevation Model
4. Geomorphologic Unit Hydrograph based on Cascade of linear Reservoirs
5. Geomorphologic Unit Hydrograph of Reservoirs

۷- مراجع

تماب، (۱۳۷۶). مطالعات حوضه معرف امامه. انتشارات مرکز تحقیقات و توسعهٔ منابع آب ایران.

شایان‌فر، حیدرعلی و شایقی، حسین، (۱۳۸۴). کاربرد MATLAB در علوم مهندسی، مؤسسه فرهنگی انتشاراتی یاوریان.

Aguirre, U., Goñi, M., López, J.J., Gimena, F.N., (2005). Application of a unit hydrograph based on subwatershed division and comparison with Nash's instantaneous unit hydrograph. Catena, 64, pp. 321-332.

Boyd, M. J., (1978). A storage-routing model relating drainage basin hydrology and geomorphology. *Water Resources Research*, 14 (15), pp. 921-928.

Boyd, M. J., Pilgrim, D. H., Cordery, I., (1979). A storage routing model based on catchment geomorphology. *J. of Hydrology*., 42, pp. 209-230.

Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W., (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York, USA.

Dooge, J. C. I., (1959). A general theory of the unit hydrograph theory. *J. of Geophysical Res.*, 64(2), pp. 241-256.

Archive of SID
www.SID.ir

Nourani, V., Monadjemi, P., (2006). Laboratory simulation of a geomorphological runoff routing model using liquid analog circuits. *J. of Envir. Hydrol*., 14, pp. 1-9.

Nourani, V., Monadjemi, P., Singh, V. P., (2007). Liquid analog model for laboratory simulation of rainfall-runoff process. *J. of Hydrol. Eng*., ASCE, 12(3), pp. 246-255.

Nourani, V., Mano, A., (2007). Semi-distributed flood runoff model in sub continental scale for south western Iran. Hydrol. Processes,21, pp. 3173-3180.

Olivera, F., Maidment, D. R., (1999). Geographic information systems based spatially distributed model for runoff routing. *Water Resources Research*, 35 (4), pp. 1155-1164.

Rodriguez-Iturbe, I., Valdés, J. B., (1979). The geomorphologic structure of hydrology response. *Water Resources Research*, 15 (6), pp. 1409–1420.

Rosso, R., (1984). Nash model relation to Horton order ratios. *Water Resources Research*, 20 (7), pp. 914–920.

Singh, V. P., (1988). Hydrologic systems, Vol. I. Rainfall-Runoff Modeling. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Singh, V. P., Woolhiser, D.A., (2002). Mathematical modeling of watershed hydrology. J. of Hydrol. Eng., *ASCE*, 7 (4), pp. 270-292.

Wang, G. T., Chen, S., (1996). A linear spatially distributed model for a surface rainfall-runoff system. *J. of Hydrol*.,185, pp. 183-198.

Yen, B. C., Lee, K. T., (1997). Unit hydrograph derivation for ungauged watersheds by stream-order laws. *J. of Hydrol*. Eng., ASCE, 2(1), pp. 1-9.

Yue, S., Hashino, M., (2000). Unit hydrographs to model quick and slow runoff components of stream flow. *J. of Hydrol*., 227, pp. 195-206.

Gupta, V. K., Waymire, E., Wang, C. T., (1980). A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology. *Water Resources Research*, 16 (5), pp. 855–862.

Hsieh, L. S., Wang, R. Y., (1999). A semi-distributed parallel-type linear reservoir rainfall-runoff model and its application in Taiwan. Hydrol. Processes, 13, pp. 1247-1268.

Jeng, R. I., Coon, G. C., (2003). True form instantaneous unit hydrograph of linear reservoirs. *J. of Irrigat. Drain. Eng*., ASCE, 129 (1), pp. 11-17.

Jenson, S. K. , Domingue,J. O., (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data. Photogrametic Engineering and Remote Sensing. 54 (11), pp. 1593-1600.

Karnieli, A. M., Diskin, M. H. , Lane, L. J., (1994). CELMOD 5-A semi-distributed cell model for conversion of rainfall into runoff in semi-arid watersheds. *J. of Hydrol*., 157, pp. 61-85.

López, J. J., Gimena, F. N., Goñi, M., Aguirre, U., (2005). Analysis of a unit hydrograph model based on watershed geomorphology represented as a cascade of reservoirs. *Agricultural Water Management*, 77, pp. 128–143.

Maidment, D.R., Olivera, J.F., Calver, A., Eatherall, A., Fraczek, W., (1996). A unit hydrograph derived from a spatially distributed velocity field. *Hydrol. Processes*, 10, pp. 831–844.

Maidment, D., (2002). Arc Hydro: GIS for Water Resources. ESRI Press, Redlands, CA.

Nash, J. E., (1957). The form of the instantaneous unit hydrograph. IASH publication, 45(3-4), pp. 114-121.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., (1970). River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles. *J. of Hydrol*., 10, pp. 282–290.

Archive of SID

www.SID.ir