

مقایسه مدل‌های هیبرید و نش برای استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای

(مطالعه موردی: حوضه آبریز ليقوان)

ایوب احمدین^{1*}، احمد فاخری فرد² و محمدعلی قربانی³

تاریخ دریافت: 88/7/28 تاریخ پذیرش: 88/12/20

1- کارشناسی ارشد، آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

2,3- استاد و دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: E-mail: a.ahmadin2006@gmail.com

چکیده

مدل نش، تعداد مخازن ذخیره و ضریب ذخیره، شکل کامل هیدروگراف واحد لحظه‌ای (*IUH*) را توصیف می‌کنند. در این مدل تعداد مخازن ذخیره، که باید یک عدد صحیح باشد، معمولاً زمانی که از داده‌های مشاهداتی استخراج می‌شود یک مقدار کسری بدست می‌آید که این یک محدودیت برای این مدل است. همچنین یک مخزن خطی منفرد در مدل نش، یک *IUH* بدون شاخه صعودی را بدست می‌دهد که این از لحاظ فیزیکی غیر منطقی است. برای شبیه‌سازی یک *IUH* کامل با شاخه صعودی، مدل نش حداقل به دو مخزن با اتصال سری نیاز دارد. با تقسیم مخزن خطی منفرد نش به دو مخزن سری با ضرایب ذخیره متفاوت k_1 و k_2 ، یک مدل هیبرید حاصل می‌شود. در این تحقیق مدل هیبرید در حوضه ليقوان بکار گرفته شده است. برای بررسی کارایی مدل حاضر نتایج بدست آمده با نتایج مدل نش با بکار بردن معیارهای ارزیابی خطای استاندارد و بازده مدل نش - ساتکلیف مقایسه شده است. میزان خطای استاندارد و بازده مدل نش - ساتکلیف مدل هیبرید در مقایسه با مدل نش، بترتیب کمتر و بیشتر است که این نشان دهنده برتری مدل هیبرید، نسبت به مدل نش، هم از لحاظ منطق فیزیکی و هم از لحاظ سازگاری با مشاهدات است.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبریز ليقوان، مخازن ذخیره، مدل نش، مدل هیبرید، هیدروگراف واحد

Comparison of Hybrid and Nash Models for Derivation of Instantaneous Unit Hydrograph (Case Study: Lighvan Watershed)

A Ahmadin^{1*}, A Fakheri Fard² and MA Gorbani³

Received: 20 October 2009 Accepted: 11 March 2010

¹MSc Student, Irrig. and Drain., University of Tabriz, Iran

^{2,3}Prof. and Assoc. Prof., Dept. of Water Engineering, University of Tabriz, Iran

*Corresponding author: E-mail: a.ahmadin2006@gmail.com

Abstract

In the Nash model, the number of reservoirs and storage coefficient describe the complete shape of *IUH*. In this model, the number of reservoirs which should be an integer values is generally a fractional value when derived from the observed data, and that is a major limitation for the model. Furthermore, a single linear reservoir of the Nash model yields an *IUH* without a rising limb which is physically unrealistic. To simulate a complete *IUH* with rising limb, the Nash model requires a minimum of two reservoirs connected in series. Splitting the Nash single linear reservoir into two serially connected reservoirs of unequal storage coefficients K_1 and K_2 (one hybrid unit), a hybrid model is introduced for derivation of a synthetic unit hydrograph. In this study, the Lighvan watershed was considered for application of the hybrid model. To exhibit the applicability of the hybrid model, the results, are compared with the Nash model results, using *STDER* and Nash-Satkolif output model values. The present approach yields *STDER* values lower and Nash-Satkolif output model values higher than those of the Nash method. Thus, the present approach performs better than the Nash method.

Keywords: Hybrid model, Unit hydrograph, Nash model, Storage reservoirs, Lighvan watershed

واحد، هیدروگراف واحد لحظه‌ای¹ (*IUH*) نامیده می‌شود. *IUH*، هیدروگراف رواناب مستقیم² (*DRH*) است که از یک حجم واحد از هیتوگراف بارش موثر³ (*ERH*) که به طور یکنواخت سطح حوضه را می‌پوشاند، نتیجه می‌شود (رایموند و جنگ 2003). برتری *IUH* نسبت به هیدروگراف واحد *D* ساعته⁴ (*DUH*) این است که *IUH*

مقدمه

تلاشهای زیادی در خصوص پیش بینی هیدروگراف جریان از بارش در حوضه‌های آبریز توسط محققین صورت گرفته است. به منظور استخراج هیدروگراف رواناب حاصل از یک رگبار با زمان‌ها و شدت‌های متفاوت، داشتن یک گراف واحد با مدت زمان بسیار کوتاه (از نظر تئوری لحظه‌ای) ضروری است. بر این اساس اگر زمان بارش موثر صفر باشد، هیدروگراف

¹ Instantaneous unit hydrograph

² Direct runoff hydrograph

³ Effective rainfall hyetograph

⁴ Durational unit hydrograph

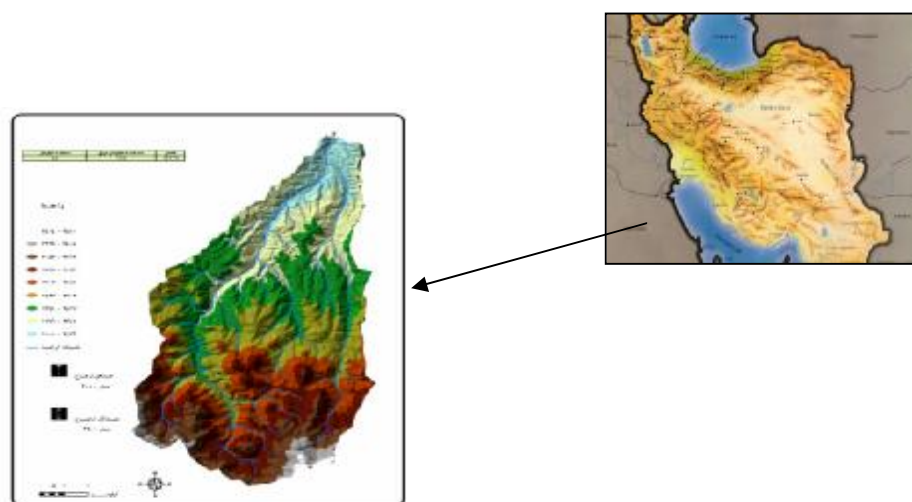
تعیین نمودند. رایموند و جنگ (2003) نشان دادند که مقدار اولیه هر IUH باید یک مقدار مثبت و مخالف صفر (هر چند کوچک) باشد و همچنین به این نتیجه رسیدند که تعداد مخازن خطی سری برای استخراج IUH، باید یک عدد صحیح باشد. آنها برای کاربردهای عملی یک IUH با سه مخزن خطی را پیشنهاد کردند. ساشیل و سینگ (2007)، یک روش ساده جهت شبیه سازی رواناب پیشنهاد نمود که نیازی به محاسبه تابع گاما یا تابع گامای ناقص ندارد. بهانیا و همکاران (2005) برای رفع محدودیت‌های مدل نش تقسیم مخزن خطی منفرد نش را به دو مخزن متصل سری با ضرایب ذخیره متفاوت بعنوان راه حل پیشنهاد کردند. در این روش، مجموعه ترکیب سری دو مخزن بعنوان یک مدل هیبرید مطرح شده است. برتری این روش این است که هیدروگراف واحد حاصله از آن علاوه بر سازگاری بیشتر با مشاهدات از نظر فیزیکی نیز منطقی است.

هدف اصلی این تحقیق معرفی و کاربرد مدل هیبرید به منظور استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای است که محدودیت‌ها و ایرادات مدل نش را ندارد. برای دستیابی به این هدف، مدل هیبرید در حوضه معرف ليقوان بكار برده شده و نتایج آن با نتایج حاصل از مدل نش مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه معرف ليقوان از زیر حوضه‌های مهم آبی چای بوده که با وسعتی معادل 76 کیلومترمربع در دامنه شمالی سهند قرار دارد. بلندترین نقطه آن 3620 متر و پایین‌ترین نقطه آن 2140 متر بالاتر از سطح دریای آزاد قرار دارد.

مشکل زمان واحد و محدودیت توزیع یکنواخت بارش در زمان را ندارد و استفاده از IUH برای تحقیقات و بررسی‌های تئوریک روابط بارش- رواناب مناسب‌تر است. IUH تنها شکل بیان عکس العمل حوضه به بارش است که مستقل از زمان بارش بوده و بنابراین یک بیان گرافیکی از تأثیر پارامترهای حوضه مثل طول، شکل، شیب و... بر روی رواناب حوضه است (ردی 1988). مهمترین مزیت یک IUH نسبت به UH، در مدل سازی بارش- رواناب این است که IUH به بارش موثر یکنواخت برای یک دوره زمانی خاص نیاز ندارد. بنابراین IUH برای توضیح رابطه ریاضی بین ERH و DRH در یک حوضه زهکشی مناسب‌تر است (رایموند و جنگ 2003). یکی از معروفترین روش‌های استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای مدل نش (1957) است. نش برای بدست آوردن IUH معادله‌ای را با فرض اینکه عکس العمل حوضه در مقابل یک بارش لحظه‌ای، معادل جریان از تعدادی از مخازن خطی باشد، پیشنهاد کرد. در این حالت حوضه به صورت یک سری از n مخزن که هر کدام از این مخازن دارای ضریب ذخیره یکسان k هستند، در نظر گرفته می‌شود. در مدل نش مقدار n که در حالت مطلوب باید یک عدد صحیح باشد معمولاً زمانی که از داده‌های مشاهداتی مشتق می‌شود مقدار کسری بدست می‌آید و این امر محدودیت بزرگی را ایجاد می‌کند. همچنین یک مخزن خطی منفرد در مدل نش یک IUH بدون شاخه در حال صعود ($t_p=0$) را بدست می‌دهد که از لحاظ فیزیکی غیرمنطقی است. برای شبیه سازی یک IUH کامل با شاخه در حال صعود ($t_p>0$) مدل نش بصورت سری حداقل به دو مخزن متصل به هم نیاز دارد. برای رفع محدودیت‌های مدل نش راه حل‌های مختلفی توسط محققان ارائه شده است. سینگ (1964) IUH را با بکار بردن یک مدل غیرخطی و با در نظر گرفتن شرایط ترکیبی زمین و جریان استخراج نمود. سینگ (2000) و بهانیا و همکاران (2003)، برای حوضه‌های بدون آمار، از توزیع گامای دو پارامتری شکل کامل IUH را با توجه به فاکتور شکل بدون بعد ($\beta=q_p t_p$)



شکل 1- موقعیت حوضه آبریز ليقوان

شده توسط مدل نش بر پایه‌ی مفهوم n مخزن خطی با ضرایب ذخیره یکسان، یک توزیع گامای دو پارامتری است. از آنجایی که توزیع گامای دو پارامتری تمایل به چپ دارد، لذا یک محدودیت اساسی برای توصیف همه شکل‌های ممکن IUH وجود دارد. برای غلبه بر این محدودیت، مدل هیبرید توسط بهانیا و همکاران (2005) پیشنهاد گردید.

مدل هیبرید

هر واحد مدل هیبرید شامل دو مخزن با ضرایب ذخیره نابرابر و متصل بصورت سری می‌باشد که در شکل 2 نشان داده شده است. بارش وارد اولین مخزن شده و سپس وارد دومین مخزن و نهایتاً با مسیریابی تا انتهای واحد هیبرید اول پیش می‌رود تا در خروجی بصورت یک هیدروگراف خارج شود که این خروجی برای واحد هیبرید دوم (با ویژگی‌های شبیه واحد اول) بعنوان ورودی محسوب می‌گردد. به همین ترتیب می‌توان آخرین خروجی را بصورت تحلیلی استنتاج کرد. برای توصیف هیدروگراف واحد، حداقل دو واحد هیبرید پایه بصورت سری توصیه شده است. برای حوضه‌های بزرگتر با شیب کم، انتظار می‌رود که هیدروگراف واحد به یک توزیع متقارن میل کند و در صورت ضرورت،

مدل نش

نش (1959) مدل مخازن خطی آبشاری را با استفاده از تابع گاما برای IUH بصورت زیر ارائه نمودند:

$$q = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}} \quad [1]$$

که n و k بترتیب تعداد مخازن و ضریب ذخیره در هر مخزن، q عمق رواناب و در واحد زمان بوده و شکل IUH را توصیف می‌کنند. روابط تجربی جهت تخمین پارامترهای n, k توسط بهانیا و همکاران (2003) بصورت زیر ارائه شده است:

$$\begin{aligned} n &= 5.53b^{1.75} + 1.04 & 0.01 < b < 0.35 \\ n &= 6.29b^{1.998} + 1.157 & b \geq 0.35 \end{aligned} \quad [2]$$

$$k = \frac{t_p}{n-1} \quad [3]$$

که b فاکتور شکل (بی‌بعد) بوده و بصورت حاصلضرب دبی اوج q_p (mm/h/mm) و زمان اوج t_p (h) تعریف می‌شود ($b = q_p t_p$). بر اساس مقادیر معلوم q_p و t_p ، و تخمین n و k (از معادلات 2 و 3) می‌توان شکل کامل هیدروگراف واحد مصنوعی¹ (SUH) را از معادله 1 بدست آورد. IUH استخراج

¹ Synthetic unit hydrograph

$$f(t) = \sum_{k=1}^n \frac{(t)^{k-1}}{(n-k)!(k-1)!} \left[\left(e^{-\frac{t}{k_1}} \left| \frac{d^{n-k}}{ds^{n-k}} \frac{1}{\left(s + \frac{1}{k_2}\right)^n} \right|_{s=-\frac{1}{k_1}} \right) + \left(e^{-\frac{t}{k_2}} \left| \frac{d^{n-k}}{ds^{n-k}} \frac{1}{\left(s + \frac{1}{k_1}\right)^n} \right|_{s=-\frac{1}{k_2}} \right) \right] \quad [8]$$

از طرفی با استفاده از ویژگی تبدیل لاپلاس معکوس داریم:

$$L^{-1}\{(F(s))\} = f(t)u(t) \quad [9]$$

که $u(t)$ تابع گام واحد است، در نهایت از به هم پیوستن معادلات فوق رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$Q(t) = \frac{1}{k_1^n k_2^n} \sum_{k=1}^n \frac{(t)^{k-1}}{(n-k)!(k-1)!} \left[\left(e^{-\frac{t}{k_1}} \left| \frac{d^{n-k}}{ds^{n-k}} \frac{1}{\left(s + \frac{1}{k_2}\right)^n} \right|_{s=-\frac{1}{k_1}} \right) + \left(e^{-\frac{t}{k_2}} \left| \frac{d^{n-k}}{ds^{n-k}} \frac{1}{\left(s + \frac{1}{k_1}\right)^n} \right|_{s=-\frac{1}{k_2}} \right) \right] \quad [10]$$

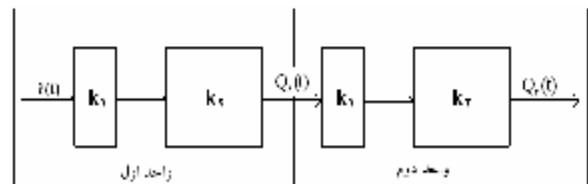
معادله 10 عبارت کلی IUH برای جریان خروجی از مدل هیبرید در نتیجه جریان ورودی با شدت پالس واحد به اولین واحد هیبرید است. شکل کلی مدل هیبرید (معادله 10) در واقع شکل اصلاح شده IUH برای استخراج هیدروگراف واحد مصنوعی مدل نش است.

مدل هیبرید دو واحدی

با نوشتن رابطه‌ی حجم تعادل برای یک زمان بسیار کوتاه در هر مخزن و با در نظر گرفتن اینکه خروجی از هر مخزن به‌عنوان مخزن بعدی باشد، در نهایت، رابطه (11) بدست می‌آید:

$$Q_1(t) = \frac{1}{(k_1 - k_2)} \left[\exp\left(-\frac{t}{k_1}\right) - \exp\left(-\frac{t}{k_2}\right) \right] \quad [11]$$

می‌توان تعداد بیشتری از واحدهای هیبریدی را در نظر گرفت. k_1 و k_2 بترتیب ضرایب ذخیره اولین و دومین مخزن در هر واحد هستند. شکل 2 دیاگرام شماتیک مدل را برای یک پالس بارش واحد لحظه‌ای $d(t)$ (در ورودی اولین واحد هیبرید) نشان می‌دهد.



شکل 2- ترتیب قرار گرفتن واحدهای اول و دوم مدل هیبرید

استخراج معادله کلی IUH از مدل هیبرید

تبدیل لاپلاس جریان خروجی از n امین واحد هیبرید را می‌توان بصورت زیر بیان کرد (بهائیا و همکاران 2005):

$$Q_n(t) = L^{-1} \frac{1}{(1+k_1s)^n (1+k_2s)^n} \quad [4]$$

از حل معادله 4 می‌توان IUH جریان خروجی از حوضه زهکشی از روی سری واحدهای هیبرید را بدست آورد. معادله 4 را بصورت زیر می‌توان نوشت:

$$Q_n(t) = \frac{1}{k_1^n k_2^n} L^{-1}\{(F(s))\} \quad [5]$$

که در آن:

$$F(s) = \frac{1}{\left(s + \frac{1}{k_1}\right)^n \left(s + \frac{1}{k_2}\right)^n} \quad [6]$$

عکس تبدیل لاپلاس $F(s)$ بصورت زیر است:

$$f(t) = L^{-1} \left[\frac{1}{\left(s + \frac{1}{k_1}\right)^n \left(s + \frac{1}{k_2}\right)^n} \right] \quad [7]$$

پس از حل، تبدیل لاپلاس $f(t)$ بصورت زیر بدست می‌آید.

این معادله واکنش در خروجی واحد اول، در نتیجه یک پالس بارش واحد در ورودی، را نشان می‌دهد. اگر $k_2 = 0$ و $k = k_1$ باشد، معادله 11 تبدیل به معادله مخزن خطی منفرد نش خواهد شد (سینگ 1988). برای k_1 و k_2 مشخص، معادله 11 زمان اوج، دبی اوج و شاخه-های صعودی و نزولی و در کل یک IUH را نشان می‌دهد. بنابراین معادله 11 نسخه‌ی اصلاح شده‌ی مدل نش است که در آن $k_2 > k_1$ بوده و مقادیر آنها مثبت است. برای واحد دوم نیز مشابه واحد اول عمل می‌کنیم با این تفاوت که در اینجا ورودی به واحد دوم خروجی از واحد اول است که در نهایت (بهانیا و همکاران 2005):

بر اساس پارامترهای Q_p, t_p, k_1 و k_2 ، سه فاکتور بی بعد α, β و λ با بکار بردن قضیه‌ی باکینگهام¹ تعریف شده‌اند: $a = k_2/k_1, b = q_p t_p, I = t_p/k_2$ که در آن، β فاکتور شکل بوده و مقادیر تیزی یا حلقه‌ای بودن شکل هیدروگراف را مشخص می‌کند، α توان ذخیره و λ نشان دهنده نسبت زمان اوج به زمان نگهداری موثر k_2 است. با بکاربردن الگوریتم مارکوآرت² این سه فاکتور به یکدیگر مرتبط می‌شوند و در نهایت دو پارامتر k_1 و k_2 بصورت زیر بدست می‌آیند (بهانیا و همکاران 2005):

$$Q_2(t) = \frac{1}{(k_1 - k_2)^2} \left\{ t \left[\exp\left(-\frac{t}{k_1}\right) + \exp\left(-\frac{t}{k_2}\right) \right] - 2 \left(\frac{k_1 k_2}{k_1 - k_2} \right) \times \left[\exp\left(-\frac{t}{k_1}\right) - \exp\left(-\frac{t}{k_2}\right) \right] \right\} \quad [12]$$

$$k_2 = \frac{b \cdot t_p}{9.4452(b)^3 - 8.2173(b)^2 + 4.306(b) - 0.4466} \quad [14]$$

$$k_1 = \frac{k_2}{-0.2073(\lambda)^3 + 1.772(\lambda)^2 - 5.2535(\lambda) + 7.1051} \quad [15]$$

بنابراین برای q_p و t_p معلوم یک هیدروگراف واحد و با بدست آوردن مقادیر k_1 و k_2 شکل کامل هیدروگراف واحد را می‌توان از مدل هیبرید دو واحدی (معادله 12) استخراج کرد. بر اساس بررسی‌های انجام یافته در مورد آمار و اطلاعات هیدروگراف‌های ثبت شده، پنج رویداد بارش-رواناب در تاریخ‌های متفاوت انتخاب شدند. هیتوگراف‌های بارش‌های جریان ساز با کسر شاخص ϕ از هیتوگراف‌های بارش و ابعاد هیدروگراف مشاهده‌ای با کسر دبی پایه از ابعاد هیدروگراف سیلاب مشخص شدند. ابعاد هیدروگراف واحد مشاهداتی با توجه به معادله‌ی ماتریسی $[Q]=[U][P_e]$ برای هر یک از رویدادها استخراج شده

معادله 12 تابع واکنش خروجی برای واحد دوم، در نتیجه ورود یک پالس بارش واحد به اولین واحد، را نشان می‌دهد که t_p آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$t_p = \frac{k_1 + k_2}{k_2 - k_1} (\sqrt{k_1 k_2}) \quad [13]$$

بنابراین یک هیدروگراف واحد متناظر با هر بارندگی در یک حوضه می‌تواند با معلوم بودن Q_p و t_p استخراج شود. در اینجا، باید توجه کرد که کاربرد یک واحد تنها یا یک ترکیب دوتائی شبیه بهم می‌تواند وابسته به داده‌های قابل دسترس ایجاد گردد. با این وجود ممکن است یک واحد هیبرید تنها در شبیه سازی یک شاخه صعودی پهن یا یک توزیع نزدیک به توزیع نرمال با شکست روبرو شود. بنابراین در بیشتر مواقع، یک واحد، برای شبیه سازی داده‌های واقعی ترجیح داده می‌شود. در تحقیق حاضر، ترکیب دو واحد شبیه بهم (معادله 12) بکار برده شده‌است. با زمان و جریان اوج معلوم یک هیدروگراف مشاهداتی، پارامترهای مجهول

¹ Buckingham

² Marquardt

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [Q_{t,Obs} - Q_{t,sim}]^2}{\sum_{i=1}^N [Q_{t,Obs} - \overline{Q_{t,Obs}}]^2} \quad [18]$$

نتایج

با توجه به اینکه برای تخمین پارامترهای مدل هیبرید به q_p و t_p هر رویداد نیاز است، این مقادیر پس از محاسبه در جدول زیر آورده شده‌اند.

جدول 1- مقادیر t_p و q_p مشاهداتی وقایع انتخابی

$\beta=q_p t_p$	$q_p(h^{-1})$	$q_p(h^{-1})$	رویدادهای
			مشاهداتی (تاریخ)
0/527	0/263	0/263	1380/2/6
0/544	0/136	0/136	1381/2/31
0/474	0/237	0/237	1381/4/18
0/567	0/132	0/132	1382/2/25
0/749	0/081	0/081	1382/8/7

بر اساس q_p و t_p هر رویداد، پارامترهای مدل هیبرید از طریق روابط تجربی و همچنین حل عددی نیوتن-رافسون و پارامترهای مدل نش از طریق روابط ارائه شده محاسبه و در جداول 2 و 3 آورده شده‌اند.

q_p و t_p برآورد گردید. پس از تخمین پارامترهای k_1 و k_2 با توجه به q_p و t_p هر رویداد، از طریق روابط تجربی و همچنین حل عددی نیوتن-رافسون، از معادله-ی مدل هیبرید دو واحدی (معادله 12) شکل کلی هیدروگراف واحد برای هر رویداد استخراج شد. نهایتاً نتایج حاصل از مدل هیبرید با نتایج بدست آمده از مدل نش، بر اساس معیارهای زیر مقایسه شدند.

$$STDER = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - Q_{ci})^2 w_i}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad [16]$$

$$W_i = \frac{(Q_{oi} + Q_{av})}{2Q_{av}} \quad [17]$$

STDER برای مقایسه میزان دقت دو یا چند روش به کار برده می‌شود و پائین بودن آن نشان دهنده سازگاری خوب، بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی است.

معیار مورد استفاده دیگر معیار بازده مدل نش-ساتکلیف (E) است، این معیار می‌تواند مقداری بین $-\infty$ تا یک اختیار کند. هر چه مقدار این معیار به عدد یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده کارایی بیشتر مدل می‌باشد (سینگ 1988).

جدول 2- محاسبه پارامترهای مدل هیبرید با استفاده از روابط تجربی و روش نیوتن-رافسون و مقایسه آنها با هم

اختلاف مقادیر k های روش						$\beta=q_p t_p$	$t_p(h)$	$q_p(h^{-1})$	رویدادهای مشاهداتی (تاریخ)
نیوتن-رافسون با روابط تجربی		روش نیوتن - رافسون		روابط تجربی					
$k_2(h)$	$k_2(h)$	$k_2(h)$	$k_2(h)$	$k_2(h)$	$k_2(h)$				
0/0195	0/0055	1/1247	0/5078	1/1442	0/5133	0/527	2	0/263	1380/2/6
0/0297	0/0141	2/1802	1/0032	2/2099	1/0173	0/544	4	0/136	1381/2/31
0/0255	0/0008	1/2316	0/5252	1/2571	0/5244	0/474	2	0/237	1381/4/18
0/0382	0/0113	2/2415	1/0143	2/2797	1/0256	0/567	4	0/132	1382/2/25
0/0271	0/0298	6659/3	1/7272	3/693	1/757	0/749	7	0/081	1382/8/7

جدول 3- محاسبه پارامترهای مدل نش

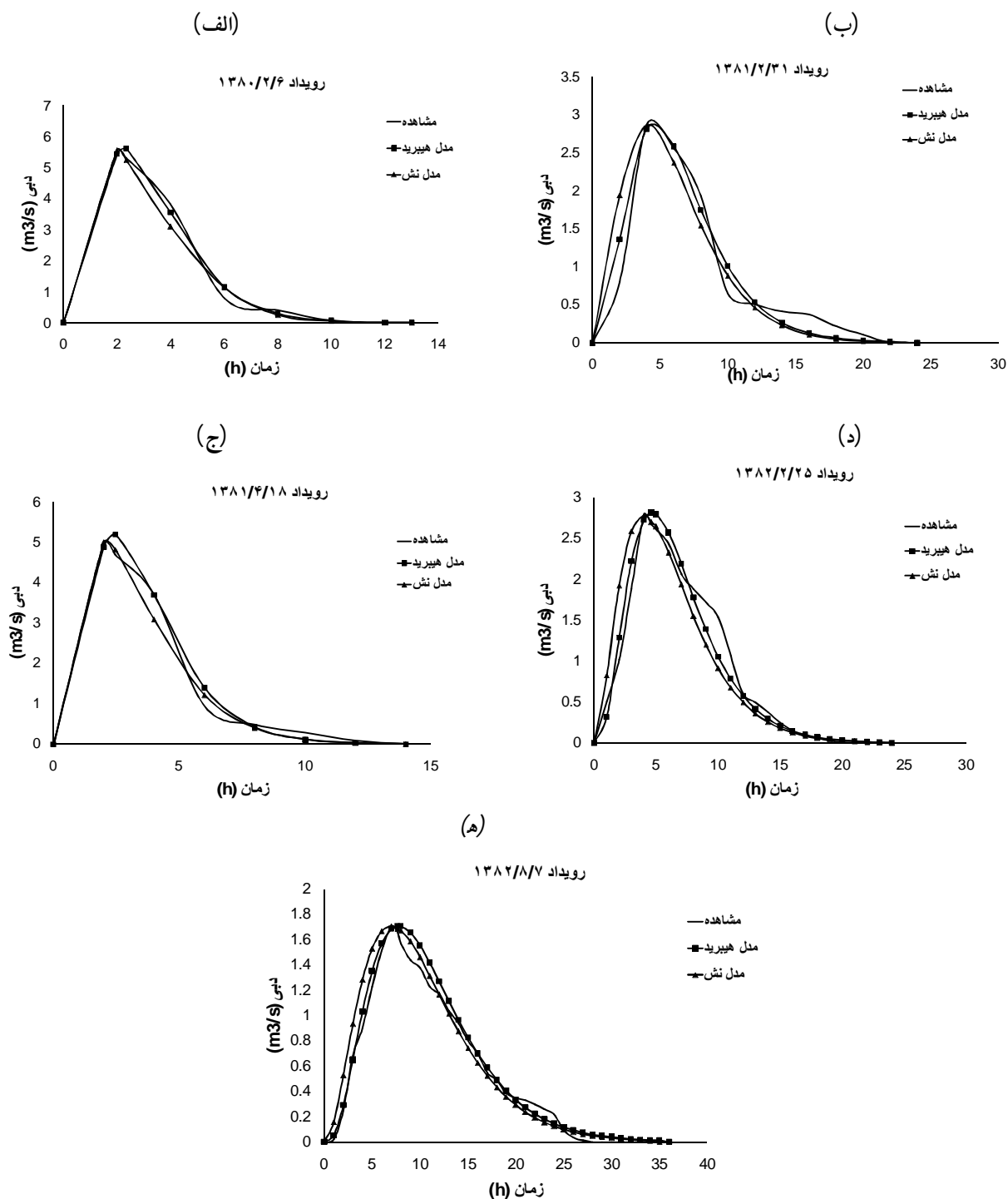
پارامترهای مدل نش		رویدادهای مشاهداتی (تاریخ)
k(h)	n	
1/0529	2/8995	1380/2/6
1/9795	3/0207	1381/2/31
1/2720	2/5723	1381/4/18
2/0912	2/9128	1382/2/25
3/2089	3/1815	1382/8/7

بر اساس نتایج جدول 4 مدل هیبرید مقادیر دبی اوج و زمان اوج را بیشتر از مشاهدات شبیه سازی می-کند. نمودارهای مربوط به مدل هیبرید و مدل نش که در واقع مقایسه ای بین هیدروگراف های واحد این دو مدل با هیدروگراف مشاهداتی است در شکل 3 آمده است.

با توجه به جدول 2 مشاهده می شود که تفاوت فاحشی بین دو روش روابط تجربی و روش نیوتن-رافسون وجود ندارد. در جدول 4 t_p و q_p بدست آمده از مدل هیبرید با t_p و q_p مشاهداتی هر رویداد مقایسه شده اند.

جدول 4- مقایسه t_p و q_p رویدادهای مشاهداتی و مقادیر محاسباتی (مدل هیبرید)

خطای روش نیوتن-رافسون (%)		خطای روش حاضر (%) (روابط تجربی)		$\beta=q_p t_p$	$t_p(h)$	$q_p(h^{-1})$	رویدادهای مشاهداتی (تاریخ)
t_p	q_p	t_p	q_p				
14	2/7	17	1/1	0/527	2	0/263	1380/20/6
12/5	1/9	13/7	0/6	0/544	4	0/136	1381/2/31
21/5	5/7	23	4/2	0/474	2	0/237	1381/4/18
12/5	4/7	15	1/1	0/567	4	0/132	1382/2/25
7/8	1/1	9	0/12	0/749	7	0/081	1382/8/7
13/7	3/2	15/5	1/4	-	-	-	(%) میانگین خطا



شکل 3- مقایسه هیدروگراف‌های واحد مشاهداتی و محاسباتی (مدل هیبرید و مدل نش) برای وقایع انتخابی

بترتیب برابر 50 و 75 درصد دبی اوج باشد) هیدروگراف‌های مدل هیبرید با استفاده از معادله 19 بدست آمده است.

$$Error(\%) = \frac{W_{Obs} - W_{Comp}}{W_{Obs}} \times 100 \quad [19]$$

با توجه به شکل 3 مشاهده می‌شود که مدل هیبرید، نسبت به مدل نش هم در شبیه‌سازی شاخه صعودی و هم در شبیه‌سازی شاخه نزولی اختلاف کمتری با مقادیر مشاهداتی دارد. در جدول 4 خطاهای نسبی W_{50} و W_{75} (پهنای هیدروگراف واحد در نقاطی که دبی

جدول 5- مقایسه W_{50} و W_{75} هیدروگراف‌های واحد مشاهداتی و محاسباتی (مدل هیبرید) برای رویدادهای انتخابی

خطای مدل هیبرید (%)		مدل هیبرید		مشاهدات		رویدادهای مشاهداتی
W_{50}	W_{75}	W_{50}	W_{75}	W_{50}	W_{75}	(تاریخ)
-5/4	2/33	3/5	2/2	3/7	2/15	1380/2/6
9/8	7/1	6/7	4/5	6/1	4/2	1381/2/31
1/3	-8/2	3/85	2/25	3/8	2/45	1381/4/18
-9/7	7/7	7/9	4/2	8/75	3/9	1382/2/25
-1	22	6/11	2/7	7/12	9/5	1382/8/7

بودن قابلیت کاربرد مدل هیبرید است. برای ارزیابی میزان دقت مدل هیبرید و مدل نش از دو معیار مقایسه استفاده شده است.

با توجه به جدول 5 ملاحظه می‌گردد که خطاهای نسبی W_{50} و W_{75} مدل هیبرید، به جز یک مورد، کمتر از 10 درصد است که این نشان دهنده رضایت بخش

جدول 6- مقایسه هیدروگراف واحد دو مدل هیبرید و نش با مشاهدات با استفاده از دو معیار خطای استاندارد

(STDER) و بازده مدل نش - ساتکلیف (E)

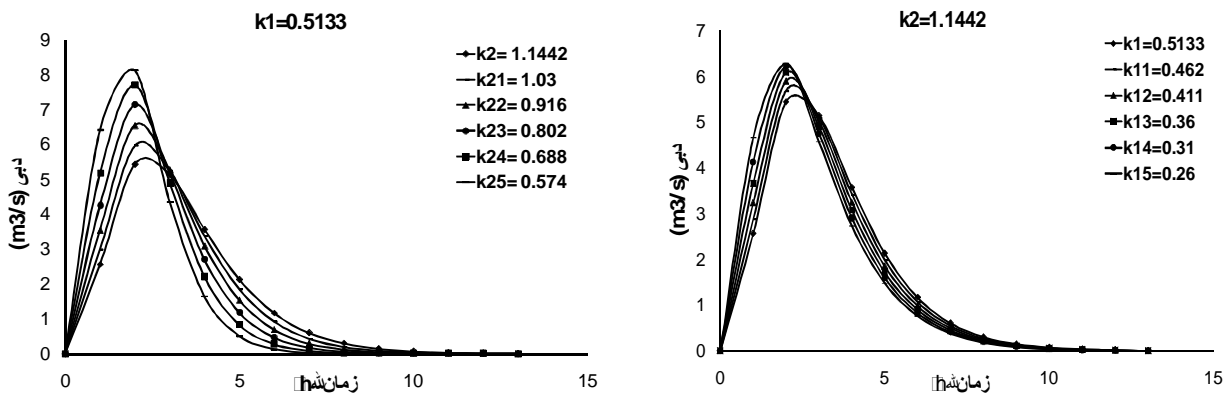
مدل نش		مدل هیبرید		رویدادهای مشاهداتی
E	STDER(%)	E	STDER(%)	(تاریخ)
0/982	25/67	0/993	13/35	1380/2/6
0/858	26/18	0/950	14/88	1381/2/31
0/982	22/24	0/990	11/86	1381/4/18
0/904	32/41	0/977	16/14	1382/2/25
0/93	15/9	0/967	11/97	1382/8/7
0/931	24/48	0/975	13/64	میانگین

مقدار تخمینی کاهش داده می‌شود و به همین ترتیب در مورد k_1 نیز محاسبات صورت می‌گیرد یعنی مقدار k_2 ثابت نگه داشته شده و مقدار k_1 به ترتیب به مقدار 10٪، 20٪، 30٪، 40٪ و 50٪ مقدار تخمینی کاهش داده می‌شود.

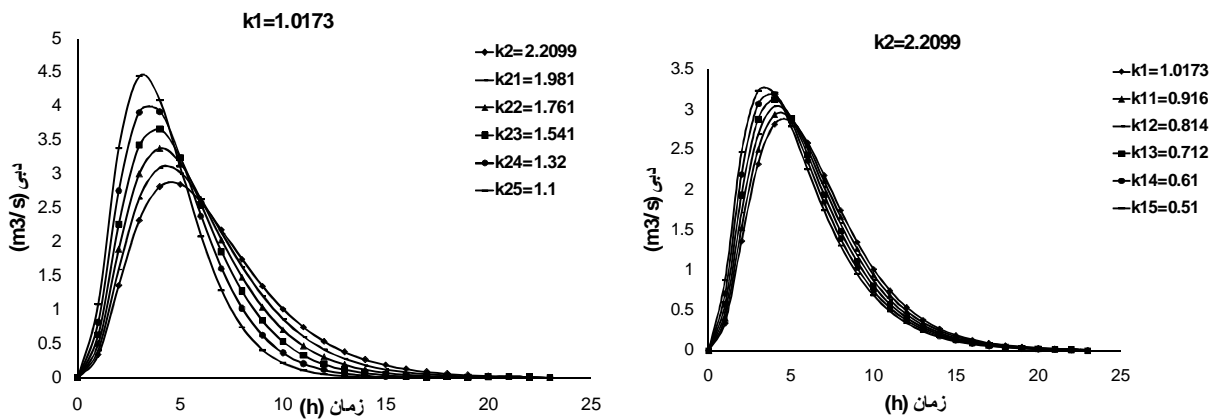
با توجه به شکل‌های 4 تا 8، مشخص می‌شود که دبی اوج مدل هیبرید به k_2 در مقایسه با k_1 بیشتر حساس است.

با توجه به جدول 6 در تمام وقایع مشاهداتی، میزان STDER و بازده مدل نش - ساتکلیف مدل هیبرید در مقایسه با مدل نش، بترتیب کمتر و بیشتر است که این نشان دهنده دقت مدل هیبرید، نسبت به مدل نش، در شبیه سازی مقادیر واقعی است.

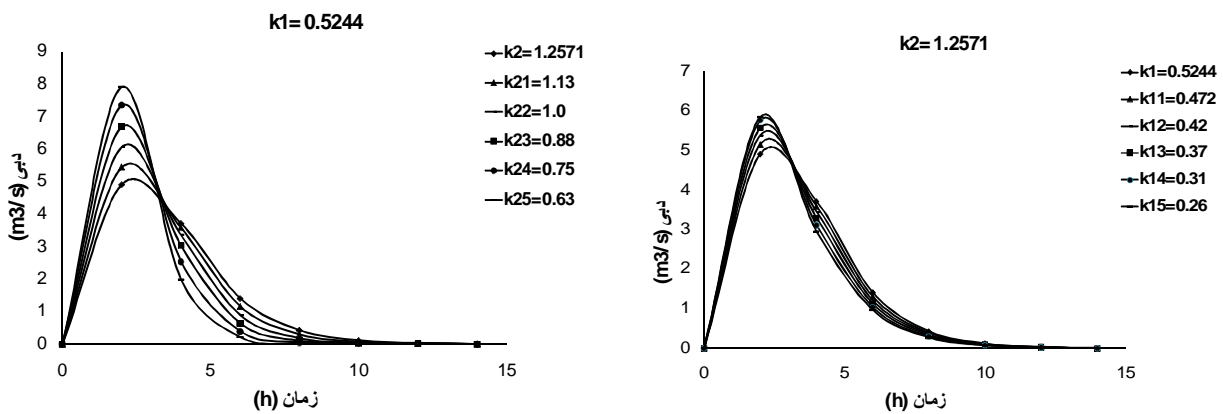
آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر k_1 و k_2 در مدل هیبرید بدین ترتیب است که ابتدا مقدار k_1 ثابت نگه داشته شده و k_2 به مقدار 10٪، 20٪، 30٪، 40٪ و 50٪



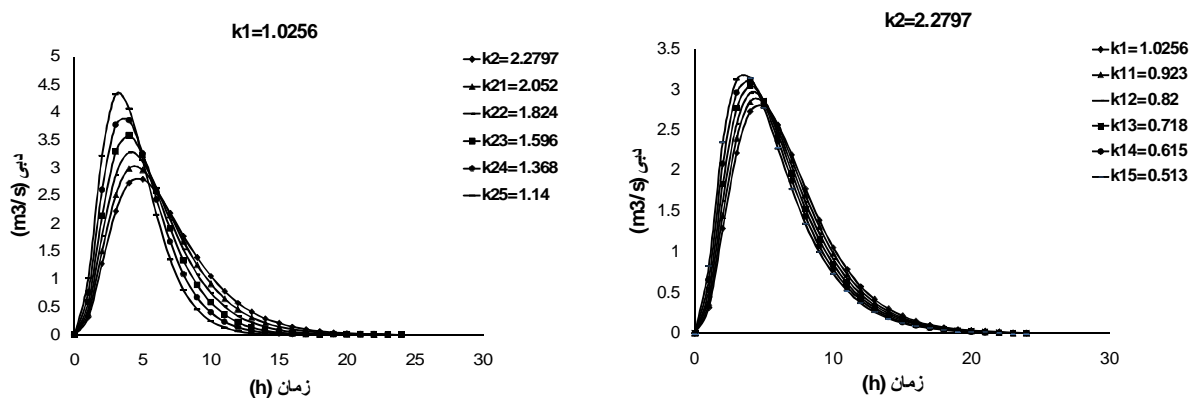
شکل 4- تغییرات هیدروگراف واحد مدل هیبرید با تغییر پارامترهای مدل (k_1 و k_2) برای رویداد 1380/2/6



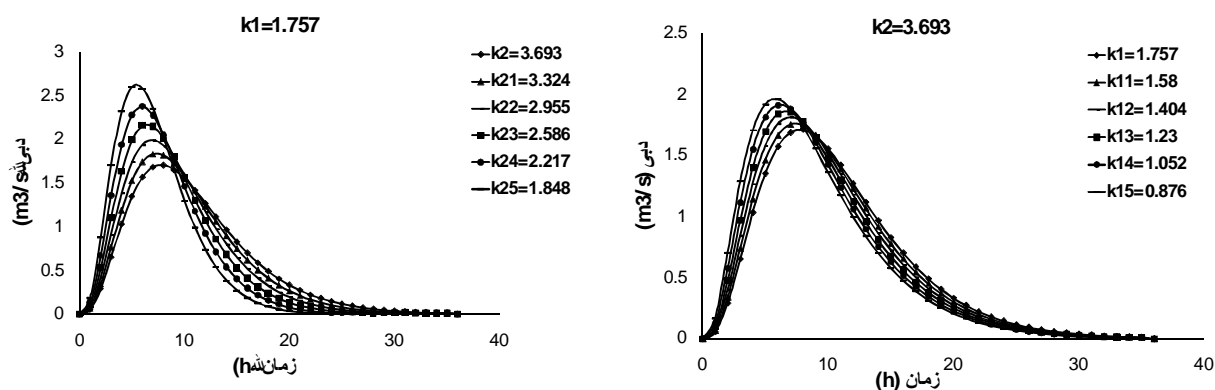
شکل 5- تغییرات هیدروگراف واحد مدل هیبرید با تغییر پارامترهای مدل (k_1 و k_2) برای رویداد 1381/2/31



شکل 6- تغییرات هیدروگراف واحد مدل هیبرید با تغییر پارامترهای مدل (k_1 و k_2) برای رویداد 1381/4/18



شکل 7- تغییرات هیدروگراف واحد مدل هیبرید با تغییر پارامترهای مدل (k_1 و k_2) برای رویداد 1382/2/25



شکل 8- تغییرات هیدروگراف واحد مدل هیبرید با تغییر پارامترهای مدل (k_1 و k_2) برای رویداد 1382/8/7

مدل هیبرید است. همچنین مدل هیبرید دو واحدی، نسبت به مقدار کسری که اغلب در مدل نش بکار می‌رود، منطقی‌تر بوده و خروجی یک واحد مدل هیبرید با $t_p > 0$ نسبت به خروجی از مخزن خطی منفرد نش با $t_p = 0$ واقع بینانه‌تر است که این مورد نتیجه تحقیقات رایموند و جنگ (2003) و سینگ (2007) را نیز تأیید می‌کند. همچنین روابط تجربی برای تخمین پارامترهای مدل مورد تحقیق، زمانی که داده‌های صحرائی بکار برده می‌شود، قابلیت اجرایی رضایت بخشی را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که دبی اوج، در مدل هیبرید، نسبت به پارامتر k_2 در مقایسه با پارامتر k_1 حساسیت بیشتری دارد و این امر با نتایج سینگ و بهانیا و همکاران (2007) مطابقت دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد، که اولاً مدل هیبرید هم زمان و هم دبی اوج سیلابها را بیشتر نشان می‌دهد که این مورد در ارتباط با دبی اوج، بدلیل کم بودن آن، قابل اغماض است، ثانیاً هیدروگراف‌های واحد بدست آمده از مدل حاضر در شبیه سازی هر دو بازوی صعودی و نزولی اختلاف کمی را با مقادیر مشاهده‌ای نشان می‌دهد که با تحقیقات بهانیا و همکاران (2005) مطابقت دارد و همچنین هیدروگراف‌های واحد این مدل در مقایسه با مدل نش، در همه رویدادهای مشاهده‌ای، دارای STDER (خطای استاندارد) کمتر و E (بازده مدل نش - ساتکلیف) بیشتر هستند که این نتایج، تحقیقات سینگ (2007) و بهانیا و همکاران (2005 و 2007) را تأیید می‌کند. در کل، مدل هیبرید دقت خوبی نسبت به مدل نش دارد و در واقع مدل نش یک شکل خاصی از

منابع مورد استفاده

- Bhunya PK, Ghosh NC, Mishra SK, Ojha CSP and Berndtsson R, 2005. Hybrid model for derivation of synthetic unit hydrograph. *J Hydrol Engin* 10(6): 458–467.
- Bhunya PK, Mishra SK and Berndtsson R, 2003. Simplified two-parameter gamma distribution for derivation of synthetic unit hydrograph. *J Hydrol Engin* 8(4): 226–230.
- Nash JE, 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph. *IASH Publisher* 42: 114-118.
- Nash JE, 1959. Synthetic determination of unit hydrograph parameters. *J Geophys Res* 64(1): 111–115.
- Raymond I and Jeng PEM, 2003. True form of instantaneous unit hydrograph of linear reservoirs. *J Irrigation and Drainage Engin* 129(1): 11-17
- Reddy PJ, 1988. *A Text Book of Hydrology*. Printed by Deepak Printing Service. Delhi, India
- Singh PK, 1964. Nonlinear instantaneous unit hydrograph theory. *J Hydrol Engin* 90(2): 313–350.
- Singh PK, Bhunya PK, Mishra SK and Chaube UC, 2007. An extended hybrid model for synthetic unit hydrograph derivation. *J Hydrology* 336: 347– 360.
- Singh SK, 2000. Transmuting synthetic hydrographs into gamma distribution. *J Hydrol Engin* 5(4): 380–385.
- Singh VP, 1988. *Hydrologic Systems: Rainfall-runoff Modeling*, Vol. 1, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Sushil K and Singh SK, 2007. Use of gamma distribution/Nash model further simplified for runoff modeling. *J Hydrol Engin* 12(2): 222–224.