

EXTENDED ABSTRACT

Comparison of Different Methods Efficiency for Estimation of Nash Instantaneous Unit Hydrograph Parameters in Flood Simulation (Case Study: Aland-Chay, Gara-Chay, Mahabad-Chay and Zab Rivers)

N. Khanmohammadi¹ and J. Behmanesh^{2*}

1- Ph.D. in Water Resources Engineering, Urmia University, Iran.

2* - Corresponding Author, Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Iran. (j.behmanesh@urmia.ac.ir).

Received: 20 June 2016

Revised: 17 October 2017

Accepted: 21 October 2017

Keywords: Basin's physical characteristics, Instantaneous Unit Hydrograph, Nash parameter, Nash model.
DOI: 10.22055/jise.2017.18316.1330.

Introduction

The Unit Hydrographic Theory, which was first proposed by Sherman in 1932, is used as one of the most important rainfall-runoff methods in hydrology. One of the most efficient models in simulating rainfall-runoff phenomenon is the conceptual model known as Nash Instantaneous Unit Hydrograph. In this model, the number of reservoirs and storage coefficients describes the complete shape of Instantaneous Unit Hydrograph (Ahmadin et al., 2010).

The model consists of two parameters including n and k . Different methods have been presented to estimate the mentioned parameters. Inaccurate estimation of the model parameters (n and k) causes an error in simulated hydrograph. Methods such as the moments, the least square and the maximum likelihood are some of the proposed ones (Snyder, 1955; Eagleson et al., 1966). The large number of parameters of these methods has limited their use (Rao and Tirtotjondro, 1995). Thus, the researchers tried to develop a model with lower number of parameters and more acceptable accuracy.

Some researchers such as Aron and White (1982), Collins (1983), Rosso (1984), Hann et al. (1994), Singh (1998), Singh (2000), Singh et al. (2007), and Bhunya et al. (2003) proposed relationships for estimating Nash Model's parameters. Others, including Bahremand and Mostafazadeh (2010), Ahmadin et al. (2010) and Aslani et al. (2016) used the proposed relationships and estimated the parameters of Nash model in three different basins of Iran.

Methodology

In this research, we used the data of hydrometer stations located on rivers of three basins including Urmia Lake (Bitas and Kouter stations on Mahabad-Chay River), Caspian Sea (Malhazan and Badalan stations on Gara-Chay and Aland-Chay Rivers, respectively), and Persian Gulf and Oman Sea (Garjal station on Zab River). It should be mentioned that the studied stations are located in West Azarbaijan, Iran.

Six different methods were used to estimate the parameters of Nash model. The applied methods were classified in three categories: the methods based on physiographic characteristics (P-B method; one case), the methods based on statistical distribution (D-B method; two cases), and the methods based on flood hydrograph (H-B method; three cases).

Five events of each studied station were selected, and then Nash parameters were computed for all flood events using employed methods. A flood event recorded in each station was stochastically

chosen, and then, using average values of Nash parameters for four remained events, the selected flood hydrograph was simulated. To evaluate the model performance, different statistical indices were used.

Results and Discussion

The results of used statistical indices in validation stage introduced the most suitable method for each studied station. The results showed that the methods based on flood hydrograph had more efficiency in comparison with the methods which are based on basin's physiographic characteristics or statistical distribution. Therefore, considering statistical indices results, three methods based on flood hydrograph were suggested as the best methods for calculating Nash model parameters in all studied stations (Garjal ($11.01 < RMSE = 12.99 \text{ m}^3/\text{s}$), Kouter ($1.79 < RMSE < 1.80 \text{ m}^3/\text{s}$), Malhazan ($1.13 < RMSE < 1.14 \text{ m}^3/\text{s}$), Badalan ($1.73 < RMSE < 1.74 \text{ m}^3/\text{s}$) and Bitas ($RMSE = 0.14 \text{ m}^3/\text{s}$)). Also, it should be mentioned that similar to the results of Bahremand and Mostafazadeh (2010), Nash method (located in the category related to methods based on basin's physiographic characteristics) gives poor results in all studied stations.

Conclusions

The use of Nash Instantaneous Unit Hydrograph Model, as an efficient technique for estimating flood hydrograph, could be a useful tool in hydrological studies. By correctly estimation of the mentioned model's parameters (n and k), the efficiency of this method in modeling the rainfall-runoff process can be increased. On the basis of the obtained results, the methods based on flood hydrograph can be introduced as suitable models for estimating Nash model parameters in studied stations. For future studies, it is proposed that researchers adopt other developed models for estimating Nash model parameters and apply other events recorded at other basins.

Acknowledgment

The authors would like to thank the reviewers for their constructive comments improving the quality of this paper.

References

- 1- Ahmadi, A., Fakheri Fard, A. and Gorbani, M.A. 2010. Comparison of Hybrid and Nash Models for Derivation of Instantaneous Unit Hydrograph (Case Study: Lighvan Watershed). *Water and Soil Science (Agricultural Science)*. 21(1). pp.29-41. (In Persian).
- 2- Aron, G. and White, E.L. 1982. Fitting a Gamma distribution over a synthetic unit hydrograph. *Water Resources Bulletin*. 18(1). pp.95-98.
- 3- Aslani M., Fazl Ola R. and Ahmadzadeh, M. 2016. Determination of Nash Conceptual Model Parameter using Auto Calibration in Kasilian Watershed. *Watershed Management Research*. 6(12). pp.21-28. (In Persian).
- 4- Bahremand, A.R. and Mostafazadeh, R. 2010. Comparison of different methods for parameter estimation of Nash's instantaneous unit hydrograph in JafarAbad watershed. *Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*. 86. pp.42-51. (In Persian)
- 5- Bhunya, P.K., Mishra, S.K. and Berndtsson, R. 2003. Simplified two-parameter Gamma distribution for derivation of synthetic unit hydrograph. *Hydrologic Engineering*. 8(4). pp.226-230.
- 6- Collins, M.A. 1983. Fitting a Gamma distribution over a synthetic unit hydrograph. *Water Resources Bulletin*. 18(1). pp.303-304.

- 7- Eagleson, P.S., Mejia, R. and March, F. 1966. Computation of optimum realizable unit hydrographs. *Water Resources Research*. 2. pp.755-764.
- 8- Hann, C.T., Barfield, B.J. and Hayes, J.C. 1994. *Design hydrology and sedimentology for small catchment*. Academic Press, USA.
- 9- Rao, A.R. and Tirtotjondro, W. 1995. Computation of unit hydrographs by a Bayesian method. *Hydrology*. 164. pp.325-344.
- 10-Rosso, R. 1984. Nash model relation to Horton order ratios. *Water Resources Research*. 20(7). pp.914-920.
- 11-Singh, S.L. 1998. Reconstructing a synthetic unit hydrograph into a Gamma distribution. *Proceeding of International conference on Integrated water Resources Management, Alexandria University, Egypt*.
- 12-Singh, S.K. 2000. Transmuting synthetic unit hydrograph into Gamma distribution. *Hydrologic Engineering*. 5(4). pp.380-385.
- 13-Singh, P.K., Bhunya, P.K., Mishra, S.K. and Chaube, U.C. 2007. An extended hybrid model for synthetic unit hydrograph derivation. *Hydrology*. 336. pp.347-360.
- 14-Snyder, W.M. 1955. Hydrograph analysis by the method of least squares. *Proceedings of American Society of Civil Engineers*. 81. pp.1-24.



© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقایسه کارایی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای Nash در شبیه‌سازی سیلاب (مطالعه موردی: رودخانه‌های الوندچای، قره‌چای، مهابادچای و زاب)

ندا خان محمدی^۱ و جواد بهمنش^{۲*}

۱- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. j.behmanesh@urmia.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۹

بازنگری: ۱۳۹۶/۷/۲۵

دریافت: ۱۳۹۵/۳/۳۱

چکیده

مدل مفهومی هیدروگراف واحد لحظه‌ای Nash یکی از مدل‌های کارآمد در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی نظیر پدیده بارش روان آب می‌باشد. دو پارامتر مدل Nash شامل n و K می‌باشند. روش‌های مختلفی برای تخمین پارامترهای مذکور ارائه شده‌اند. عدم دقت در تخمین پارامترهای مدل (n و K) باعث بروز خطا در هیدروگراف شبیه‌سازی شده می‌شود. در این تحقیق، روش‌های مختلف تخمین پارامترهای مدل Nash برای شبیه‌سازی سیلاب در پنج ایستگاه هیدرومتری شامل بیطاس، کوتر، مله‌ندان، بدلان و گرژال واقع در آذربایجان غربی مورد مقایسه قرار گرفتند. از هر ایستگاه پنج رویداد انتخاب و سپس پارامترهای مدل Nash توسط روش‌های به کار گرفته شده برای تمامی رویدادهای سیل محاسبه گردید. یک رویداد سیل ثبت شده در هر ایستگاه به صورت تصادفی انتخاب و سپس با استفاده از مقادیر متوسط پارامترهای Nash برای چهار رویداد باقی‌مانده، هیدروگراف سیل منتخب شبیه‌سازی شد. نتایج شاخص‌های آماری به کاررفته در مرحله صحت‌سنجی مناسب‌ترین روش برای هر ایستگاه مورد مطالعه را معرفی نمود. نتایج نشان داد که آن دسته از روش‌هایی که از ویژگی‌های هیدروگراف سیل‌های موجود جهت برآورد پارامترهای مدل Nash برای شبیه‌سازی رویداد سیل استفاده می‌کنند، نسبت به روش‌های مبتنی بر خصوصیات فیزیکی حوضه و توزیعات آماری کارایی بهتری دارند. بنابراین، با توجه به نتایج شاخص‌های آماری، سه روش مبتنی بر هیدروگراف جریان، برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه (گرژال $0.11 < RMSE < 12/99 \text{ m}^3/\text{s}$)، کوتر $1/80 < RMSE < 1/79 \text{ m}^3/\text{s}$)، مله‌ندان $1/14 < RMSE < 1/13 \text{ m}^3/\text{s}$)، بدلان $1/74 < RMSE < 1/73 \text{ m}^3/\text{s}$) و بیطاس $0 < RMSE < 1/14 \text{ m}^3/\text{s}$) به عنوان مناسب‌ترین روش‌ها جهت تعیین پارامترهای مدل Nash پیشنهاد می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: پارامتر نش، خصوصیات فیزیکی حوضه، مدل نش، هیدروگراف واحد لحظه‌ای.

مقدمه

می‌باشد. زیرا که این مدل، یک معادله ساده و صریح برای تعیین هیدروگراف واحد لحظه‌ای حوضه آبریز که در آن مخازن معنای شبه فیزیکی دارند، ارائه می‌کند (Nourani et al., 2009). مدل‌های مفهومی ساده نظیر مدل Nash (1957) در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی فرآیند بارش روان آب می‌توانند بسیار مناسب بوده و برای پیش‌بینی سیلاب و اهداف طراحی مختلف مورد استفاده قرار گیرند. زیرا دارای پارامترهای کم بوده و مقادیر آن‌ها را می‌توان بطور غیرمستقیم با استفاده از محاسبات برآورد نمود (Bardossy, 2007). پارامترهای این مدل نشان‌دهنده ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌های آبریز می‌باشند، ولی در حقیقت مقادیر این پارامترها به صورت فیزیکی قابل اندازه‌گیری نیستند. با توجه به اهمیت قابل توجه دقت برآورد مدل‌های مفهومی مانند مدل Nash (1957) روش‌های مختلفی برای تعیین پارامترهای آن‌ها توسعه یافته است. برخی روش‌های رایج عبارتند از: روش کمترین مربعات خطا، حداکثر درست‌نمایی، بیشترین آنتروپی و روش ماتریس معکوس (Eagleson et al., 1966; Snyder, 1955). اما تعداد پارامترهای زیاد آن‌ها باعث ایجاد محدودیت در استفاده از آن‌ها گردیده است (Rao and

برنامه‌ریزی، توسعه و بهره‌برداری از طرح‌های مختلف منابع آب، نیازمند مدل‌های تبدیل بارش به روان آب جهت ارزیابی روان آب حوضه‌های آبریز می‌باشد. به همین دلیل، روش هیدروگراف واحد برای حوضه‌هایی با آمار و اطلاعات اندک، مفید خواهد بود. تئوری هیدروگراف واحد اولین بار توسط Sherman (1932) ارائه گردید و از آن موقع به بعد از مهمترین روش‌های بارش روان آب در هیدرولوژی به کاررفته است. این مدل‌ها به صورت مدل‌های تجربی، مفهومی و فیزیکی طبقه‌بندی می‌گردند. مدل‌های تجربی محدودیت‌های خاص خود را دارند. زیرا این نوع مدل‌ها بیشتر برای مناطق خاصی توسعه پیدا کردند. مدل‌های فیزیکی نیز هزینه‌بر و وقت‌گیر بوده و دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. در حالی که مدل‌های مفهومی مانند مدل Nash که براساس مفهوم سری مخازن خطی در حوضه آبریز توسعه یافته، انعطاف‌پذیر بوده و مبتنی بر تقریب‌سازی و ساده‌سازی مفاهیم فیزیکی فرآیندها می‌باشند. Nash (1957) یک مدل مفهومی مخازن خطی آبخاری با ضرایب ذخیره ثابت را ارائه نمود. این مدل به عنوان یکی از مدل‌های رایج مطرح

پارامترهای مدل مفهومی Nash را برای شبیه‌سازی وقایع مختلف بارندگی-روان آب واقع در حوضه کسلیان در استان مازندران تخمین زدند. نتایج حاصل نشان داد که مدل ارایه شده قادر به تعیین پارامترهای مدل Nash با دقت و کارایی بالا می‌باشد. سیلاب و رسوب یکی از مشکلات عمده در رودخانه‌های مهابادچای، الوندچای، قره‌چای و ذاب در استان آذربایجان غربی می‌باشد. با توجه به کاربردی بودن مدل‌های مفهومی نسبت به مدل‌های تجربی و فیزیکی و از آن‌جاکه سیلاب و تلفات ناشی از آن یکی از مشکلات عمده در حوضه‌های کشور می‌باشد، در این مطالعه روش‌های مختلف تخمین پارامترهای هیدروگراف Nash در پنج ایستگاه واقع در سه حوضه آبریز مختلف که رودخانه‌های مذکور در آن جریان دارند و دارای شرایط مورفولوژیک متفاوت می‌باشند، مورد ارزیابی قرار گرفته و بهترین روش برای تخمین این پارامترها معرفی گردید. نتایج حاصل می‌تواند گامی موثر در جهت پیش‌بینی سیل و در نتیجه برنامه‌ریزی برای مدیریت سیلاب و رسوبات حمل شده توسط آن و در نهایت مدیریت منابع آب در حوضه‌های مورد مطالعه باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه از ایستگاه‌های هیدرومتری واقع روی رودخانه‌های سه حوضه آبریز مختلف شامل حوضه آبریز دریاچه ارومیه (ایستگاه‌های هیدرومتری بیطاس و کوتر واقع بر روی رودخانه مهابادچای)، حوضه آبریز دریای خزر (ایستگاه‌های هیدرومتری مله‌زان و بدلان، به ترتیب واقع بر روی رودخانه‌های قره‌چای و الوندچای) و حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (ایستگاه هیدرومتری گرژال واقع بر روی رودخانه ذاب) استفاده شده است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. علاوه بر این، خلاصه‌ای از پارامترهای فیزیکی حوضه‌های آبریز در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) ارایه شده است.

(Tirtotjondro, 1995). به همین دلیل محققین تلاش‌های زیادی جهت توسعه یک مدل که دارای پارامترهای کمتر و دقت قابل قبول باشد، انجام دادند. Nash (1958) پیشنهاد تخمین پارامترهای n و k را با استفاده از روش گشتاورها ارایه نمود (Dong, 2007). همچنین، با استفاده از ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه آبریز، معادلاتی برای به‌دست آوردن پارامترهای مدل Nash (1957) ارایه شد (Rosso, 1984). Singh et al. (2007) یک مدل هیبریدی برای شبیه‌سازی فرآیند بارش روان آب براساس مدل Nash (1957) پیشنهاد کردند. در این روش تعداد واحدهای هیبرید و ضرایب ذخیره با استفاده از معادلات تجربی به‌دست می‌آید. علاوه بر مطالعه‌های اشاره شده، Aron و White (1982)؛ Collins (1983)؛ Singh و Rosso (1984)؛ Hann et al. (1994)؛ Singh (1998)؛ Singh (2000) و Bhunya et al. (2003) معادلاتی را برای تعیین پارامترهای مدل Nash (1957) ارایه دادند که مورد توجه برخی از محققان قرار گرفت. Bhaskar et al. (1997) و Sahoo et al. (2006) از مدل Nash برای برآورد سیلاب حوضه‌های آبریز فاقد آمار استفاده نموده و نتیجه گرفتند که این مدل از دقت قابل قبولی در تخمین سیلاب برخوردار است. Bardossy (2007) از چهار تابع هدف برای برآورد جفت پارامتر منحصر به فرد مدل Nash با استفاده از متوسط مقادیر تابع هدف برای واسنجی رویدادها استفاده نمود. هم‌چنین Bahremand و Mostafazadeh (2010) به ارزیابی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای مدل هیدروگراف Nash در حوضه آبریز جعفرآباد گرگان پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که روش ممان و سعی و خطا در محاسبه پارامترهای هیدروگراف Nash بیشترین تطابق را با هیدروگراف‌های مشاهداتی داشته است. Ahmadin et al. (2010) در بخشی از تحقیق خود از روابط تجربی ارایه شده توسط Bhunya et al. (2003) برای تخمین پارامترهای مدل Nash در مطالعه خود استفاده نمودند. Aslani et al. (2016)، نیز با استفاده از روش واسنجی الگوریتم ژنتیک پیوسته،

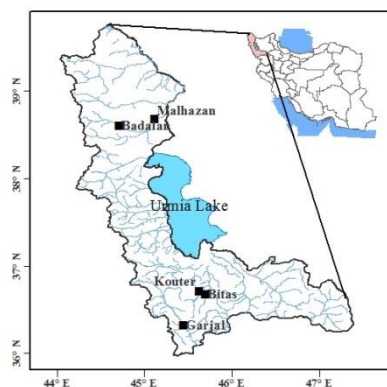


Fig. 1- Location of the studied stations

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱- پارامترهای فیزیکی حوضه‌های آبریز مورد مطالعه

Table 1- Physical parameters of the studied watershed

Watershed	Station	Area (Km ²)	Perimeter (Km)	Average height (m)	Length of the main waterway (Km)	Mean annual flow (MCM)
Urmia lake	Bitas	239	101	1743	24	36.6
	Kouter	417	145	1854	42	194.4
Caspian sea	Malhazan	217	95	1515	25	7.1
	Badalan	677	165	2489	49	100.8
Persian Gulf and Oman Sea	Garjal	2023	314	1833	108	1350.7

$$n = 2.29L^{0.1} \quad (۲)$$

$$K = \left(\frac{1.2A^{0.3}}{L^{0.1}S^{0.3}} \right) \quad (۳)$$

که در آن‌ها، L : طول آبراهه اصلی (کیلومتر)، A : مساحت حوضه (کیلومترمربع) و S : شیب حوضه بوده و K بر حسب واحد ساعت به دست می‌آید.

روش مبتنی بر توزیعات آماری (D-B M)

روش گاما ۱ (G1): مقادیر بهینه پارامترهای توزیع گاما، شامل پارامترهای n و K ، توسط روابط (۴) تا (۶) محاسبه می‌شوند (Karamoz and Araghinejad, 2010):

$$n = \frac{1}{4B} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4B}{3}} \right] \quad (۴)$$

$$K = \frac{\bar{x}}{n} \quad (۵)$$

$$B = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{N} \quad (۶)$$

که در آن، N : تعداد مشاهدات می‌باشد. با توجه به رابطه (۱)، مقدار x در این مطالعه، مقدار t (زمان) جایگذاری شده و \bar{x} میانگین بازه‌های زمانی در هیدروگراف مورد مطالعه می‌باشد.

روش گاما ۲ (G2): Ashkar و Bobee (1991)، برای حل معادله حاصله توسط روش حداکثر درست‌نمایی برای برآورد پارامترهای توزیع گاما روابط زیر را ارائه نمودند (نقل از Rao and Hamed, 2000):

مدل Nash

مدل مخازن خطی آبخاری ارایه شده توسط Nash با استفاده از تابع گاما برای IUH (Instantaneous Unit Hydrograph) به صورت رابطه (۱) می‌باشد (Nash, 1959).

$$q = \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{K} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}} \quad (۱)$$

که در رابطه (۱)، n و K به ترتیب تعداد مخازن و ضریب ذخیره در هر مخزن (بر حسب زمان) بوده که شکل IUH را توصیف می‌کنند، q عمق روان‌آب در واحد زمان در واحد باران موثر (با بعد عکس زمان)، $\Gamma(n)$ تابع گاما و t زمان می‌باشد. اگر n یک عدد صحیح باشد، $\Gamma(n) = (n-1)!$ خواهد بود، ولی اگر n یک عدد صحیح نباشد، $\Gamma(n)$ را می‌توان از جدول‌های تابع گاما درون‌یابی کرد. فرمول‌بندی هیدروگراف واحد لحظه‌ای Nash بر فرض رفتار حوضه آبریز به عنوان آبخاری از مخازن خطی متوالی است که بارش موثر به صورت لحظه‌ای به اولین مخزن وارد می‌گردد (Singh et al., 2007). با در دست داشتن مقادیر n و K ، می‌توان شکل کامل هیدروگراف واحد مصنوعی (SUH) را از رابطه (۱) به دست آورد. IUH استخراج شده توسط مدل Nash بر پایه مفهوم n مخزن خطی با ضرایب ذخیره یکسان، یک توزیع گامای دو پارامتری است (Ahmadin et al., 2010). برای تخمین مقادیر n و K در مدل Nash روش‌های مختلفی توسط محققان پیشنهاد شده است. در این تحقیق شش روش از این روش‌ها به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

روش مبتنی بر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه (P-B Method)

روش تجربی Nash (N): Nash براساس مطالعات خود در برخی از حوضه‌های آبریز انگلستان روابطی را پیشنهاد نمود. در این روش پارامترهای n و K با استفاده از خصوصیات حوضه آبریز براساس روابط (۲) و (۳) برآورد می‌شود (Bahreman and Mostafazadeh, 2010):

این تعریف، A' مساحت حوضه (ایبکر) می‌باشد. فرمول ارایه شده توسط Collins (1983) توسط رابطه (۱۴) ارایه شده است.

$$\alpha = 0.5\phi + 5.9\phi^2 \quad (14)$$

که در آن، q_p : دبی اوج (mm/h/mm) و t_p : زمان اوج (h) می‌باشد.

روش دبی و زمان اوج ۳ (Q3)

با تعریف V : حجم کل باران موثر، Hann et al. (1994) معادله (۱۵) را برای برآورد n ارایه دادند.

$$n = 1 + 6.5 \left(\frac{Q_p t_p}{V} \right)^{1.92} \quad (15)$$

لازم به ذکر است که در روش‌های دبی و زمان اوج ۲ و دبی و زمان اوج ۳ که فقط برای n ارایه شده‌اند، از رابطه $K = t_p / (n-1)$ جهت محاسبه K استفاده شده است.

در این تحقیق، رویدادهای سیل مربوط به پنج ایستگاه مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای هر رویداد پس از تفکیک دبی پایه به روش مستقیم، حجم روان آب، ارتفاع روان آب سطحی و پارامترهای مورد نیاز جهت کاربرد روابط مختلف محاسبه گردید. پارامترهای فیزیوگرافی مورد نیاز در محاسبه پارامترهای ورودی مدل Nash توسط نرم افزار WMS استخراج گردید. مدل Nash ابتدا با استفاده از پارامترهای n و K مربوط به هر رویداد و حاصل از روش‌های مختلف، واسنجی شده و سپس با استفاده از مقادیر متوسط پارامترهای n و K مربوط به هر ایستگاه و انتخاب تصادفی یک سیل از هر ایستگاه که در مرحله واسنجی استفاده نشده، صحت‌سنجی گردید. جدول (۲) رویدادهای مورد استفاده در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای حالت‌های واسنجی و صحت‌سنجی را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی عملکرد مدل در مرحله واسنجی، از شاخص‌های خطا همچون جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) که به صورت روابط (۱۶) تا (۱۸) بیان می‌شوند، در این مطالعه استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{N}} \quad (16)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - \hat{Q}_i| \quad (17)$$

$$n = \begin{cases} \frac{1}{U} [0.5000876 + 0.164885U - 0.05442U^2] & 0 \leq U \leq 0.5772 \\ \frac{8.898919 + 9.05995U + 0.977537U^2}{U(17.7928 + 11.96847U + U^2)} & 0.5772 \leq U \leq 17.0 \end{cases} \quad (7)$$

$$K = \frac{C}{n} \quad (8)$$

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (9)$$

$$U = LnC - LnG \quad (10)$$

$$G = (x_1 x_2 \dots x_N)^{1/N} \quad (11)$$

در این روش نیز همانند روش گاما ۱، مقدار x مقدار t (زمان) جایگذاری شده و \bar{x} : میانگین بازه‌های زمانی در هیدروگراف مورد مطالعه می‌باشد.

روش مبتنی بر هیدروگراف جریان (H-B Method)

روش دبی و زمان اوج ۱ (Q1)

روابط دیگری جهت تخمین پارامترهای n و K توسط Bhunya et al. (2003) به صورت روابط (۱۲) و (۱۳) ارایه گردیده است.

$$n = \begin{cases} 5.53\beta^{1.75} + 1.04 & 0.01 < \beta < 0.35 \\ 6.29\beta^{1.998} + 1.157 & \beta \geq 0.35 \end{cases} \quad (12)$$

$$K = \frac{t_p}{n-1} \quad (13)$$

که در آن‌ها، β : فاکتور شکل (بی‌بعد) بوده و به صورت حاصلضرب دبی اوج q_p (mm/h/mm) و زمان اوج t_p (h) تعریف می‌شود ($\beta = q_p t_p$).

روش دبی و زمان اوج ۲ (Q2)

محققانی نیز با تعریف $\phi = Q_p t_p / (1.008A')$ و $\alpha = n-1$ فرمول‌هایی را جهت محاسبه n ارایه داده‌اند.

نتایج و بحث

همان‌طور که اشاره شد، مقادیر n و K برای تمام سیل‌های کاربردی در مرحله واسنجی حاصل شد و نتایج شاخص‌های آماری برای هر ایستگاه به‌دست آمد. متوسط مقدار MAE (m^3/s)، R^2 و RMSE (m^3/s) در مرحله واسنجی برای ایستگاه گرژال به‌ترتیب، $۰/۷۰$ ، $۲/۰۸$ و $۰/۶۵$ ، $۸/۹۹$ و $۲/۶۲$ ، برای ایستگاه مله‌ذان به‌ترتیب، $۰/۸۳$ ، $۰/۷۴$ و $۱/۰۸$ ، برای ایستگاه بدلان به‌ترتیب $۲/۲۴$ ، $۰/۷۳$ و $۳/۰۳$ و برای ایستگاه بیطاس به‌ترتیب، $۰/۵۴$ ، $۰/۷۰$ و $۰/۷۲$ به‌دست آمد. بیان مقادیر متوسط، صرفاً جهت یافتن دید جامع نسبت به عملکرد روابط در ایستگاه موردنظر بوده که با توجه به متفاوت بودن شکل هیدروگراف سیل و زمان شروع و خاتمه آن در هر ایستگاه، نمی‌توان اظهار نظر خاصی نسبت به عملکرد روابط کاربردی در مرحله واسنجی در یک ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها ارائه نمود. با توجه به مقادیر متوسط خطا و همبستگی، ایستگاه گرژال دارای حداکثر خطا و حداقل مقدار ضریب تبیین بوده و دو ایستگاه بدلان و کوتر به‌ترتیب در مراتب بعدی قرار دارند. نتایج دو ایستگاه مله‌ذان و بیطاس تقریباً مشابه است. با توجه به جدول (۱)، ایستگاه‌های گرژال، بدلان و کوتر نسبت به دو ایستگاه دیگر (مله‌ذان و بیطاس) به‌ترتیب دارای بیشترین مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی و فاصله مرکز ثقل تا خروجی حوضه می‌باشند. مشخصات فیزیکی دو ایستگاه مله‌ذان و بیطاس تقریباً مشابه می‌باشد. بنابراین براساس نتایج مرحله واسنجی، خصوصیات فیزیکی حوضه روی نتایج روش‌های مختلف تاثیرگذار بوده و هرچه مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی و فاصله مرکز ثقل تا خروجی حوضه در ایستگاهی کمتر باشد، نتایج بهتری از روش‌های مورد مطالعه در مرحله واسنجی حاصل خواهد شد. نتایج کامل شاخص‌های آماری به‌عنوان نمونه برای ایستگاه گرژال در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج سایر ایستگاه‌ها به‌دلیل حجیم شدن مقاله ارائه نشده است.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)(\hat{Q}_i - \bar{\hat{Q}}_i) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2 \times \sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - \bar{\hat{Q}}_i)^2} \quad (18)$$

که در آنها، N : اندازه نمونه، \hat{Q}_i : مقادیر دبی تخمینی از مدل Nash با کاربرد روش‌های مختلف، $\bar{\hat{Q}}_i$: میانگین مقادیر دبی تخمینی از مدل Nash، Q_i : مقادیر دبی مشاهداتی و \bar{Q}_i : میانگین مقادیر دبی مشاهداتی می‌باشند. هر چه مقادیر شاخص‌های خطا به صفر و مقادیر ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل خواهد بود.

در مرحله صحت‌سنجی، علاوه بر شاخص‌های عملکرد کاربردی در مرحله واسنجی، از معیارهای نش ساتکلیف (C_{NS})، میزان خطای نسبی در دبی اوج (RE_{Qp}) و میزان خطای نسبی در زمان تا اوج (RE_{Tp}) استفاده شد (Bahremand and Mostafazadeh, 2010).

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{Q}_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \quad (19)$$

$$\%RE_{Qp} = 100 \left| \frac{\hat{Q}_i(\text{peak}) - Q_i(\text{peak})}{Q_i(\text{peak})} \right| \quad (20)$$

$$\%RE_{Tp} = 100 \left| \frac{\hat{T}_p - T_p}{T_p} \right| \quad (21)$$

که در آنها، T_p : مقدار مشاهداتی زمان اوج و \hat{T}_p : مقدار تخمینی زمان اوج می‌باشد. در معیار نش ساتکلیف، مقدار عددی یک، نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است. در معیارهای خطای نسبی، مقدار عددی صفر نشان‌دهنده برآورد دقیق مقادیر توسط مدل به‌کار رفته است.

جدول ۲- رویدادهای مورد استفاده در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی

Table 2- Applied events in calibration and validation steps

Stage	Station				
	Garjal	Kouter	Malhazan	Badalan	Bitas
Calibration	2007.12.07	2009.02.11	2009.05.01	2009.04.30	2008.03.03
	2010.04.22	2009.03.10	2009.08.11	2009.07.10	2008.03.13
	2011.04.23	2011.04.05	2009.09.10	2011.04.19	2011.04.12
	2011.05.24	2011.04.21	2010.09.10	2011.04.22	2011.04.21
Validation	2010.04.23	2008.11.21	2009.06.21	2011.04.18	2008.02.19

جدول ۳- مقادیر شاخص های آماری مربوط به رویدادهای کاربردی در مرحله واسنجی در ایستگاه گرژال
Table 3- Values of statistical indices related to the applied events in the calibration phase at GarJal Station

Method	Event	MAE (m ³ /s)	R ²	RMSE (m ³ /s)	Method	Event	MAE (m ³ /s)	R ²	RMSE (m ³ /s)
N	2007.12.07	3.56	0.08	4.16	Q1	2007.12.07	1.00	0.79	1.28
	2010.04.22	22.06	0.15	27.23		2010.04.22	7.80	0.70	10.23
	2011.04.23	30.33	0.02	37.52		2011.04.23	3.43	0.97	4.53
	2011.05.24	17.26	0.01	20.70		2011.05.24	2.80	0.95	3.85
G1	2007.12.07	1.55	0.46	1.85	Q2	2007.12.07	1.01	0.79	1.28
	2010.04.22	6.29	0.88	8.10		2010.04.22	7.79	0.70	10.22
	2011.04.23	13.26	0.58	15.51		2011.04.23	3.42	0.97	4.52
	2011.05.24	4.14	0.59	7.68		2011.05.24	3.08	0.96	3.76
G2	2007.12.07	1.55	0.45	1.85	Q3	2007.12.07	1.00	0.79	1.28
	2010.04.22	6.29	0.88	8.11		2010.04.22	7.84	0.70	10.26
	2011.04.23	13.28	0.58	15.53		2011.04.23	3.56	0.97	4.62
	2011.05.24	4.13	0.59	7.67		2011.05.24	3.47	0.98	3.97
		Average				7.08	0.65	8.99	

مقادیر نامناسب روش تجربی Nash در همه ایستگاه‌ها، به ارایه نتایج این روش در جداول مربوط به مرحله صحت‌سنجی اکتفا شده و از ارایه نتایج این روش در شکل‌ها صرف‌نظر شده است تا مقایسه روش‌های مورد مطالعه با یکدیگر به راحتی انجام گیرد. شکل (۲) نتایج ارایه شده در بخش قبلی را تایید می‌کند. این شکل‌ها نیز مشابهت و عدم توانایی دو روش گاما ۱ و گاما ۲ در برآورد هیدروگراف جریان را نشان می‌دهد. همچنین این شکل‌ها حاکی از ارایه نتایج یکسان توسط روابط مربوط به روش‌های مبتنی بر هیدروگراف جریان می‌باشد. جهت مقایسه بهتر روش‌ها نیاز به ارایه شاخص‌های آماری و معیار ارزیابی خطای برآورد شکل هیدروگراف توسط فرمول‌های کاربردی است. نتایج ارزیابی کارایی مدل Nash در برآورد مشخصه‌های هیدروگراف جریان در جدول (۵) ارایه است.

هر چند معیارهای ارزیابی ارایه شده در مرحله واسنجی از جمله کاربردی‌ترین معیارهای موجود در زمینه بررسی قدرت پیش‌بینی روش‌های مختلف می‌باشند، اما هیچ برتری در مقایسه با یکدیگر و حتی در مقایسه با سایر معیارهای موجود ندارند (Tarazkar and Sedghamiz, 2008). بنابراین روشی که دارای حداقل معیارهای خطا به همراه حداکثر مقدار ضریب تبیین در مقایسه با دیگر روابط باشد به عنوان مناسب‌ترین رابطه معرفی شده و برای ایستگاه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

براساس نتایج جدول (۳) ملاحظه می‌شود که روش‌های تجربی Nash، گاما ۱ و گاما ۲ در ایستگاه گرژال عملکرد مناسبی نداشته‌اند. در سایر ایستگاه‌ها نیز همانند جدول (۳) عملکرد نامناسب روش‌های مبتنی بر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه و روش‌های مبتنی بر توزیع‌های آماری مشاهده شد.

به طور کلی نتایج مرحله واسنجی نشان داد که روش‌های هم‌گروه (روش‌های مبتنی بر توزیعات آماری (گاما ۱ و ۲) و روش‌های هیدروگراف جریان (دبی و زمان اوج ۱، ۲ و ۳)) نتایج بسیار نزدیک به هم در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه ارایه داده‌اند.

مقادیر پارامترهای مدل Nash در مرحله صحت‌سنجی در جدول (۴) ارایه شده است. مقادیر ارایه شده در جدول (۴)، مقادیر محاسبه‌شده براساس متوسط مقدار پارامترهای Nash مربوط به چهار رویداد به کار رفته در مرحله واسنجی می‌باشد.

شکل (۲) هیدروگراف مقادیر دبی مشاهداتی و مقادیر دبی برآوردی توسط روش‌های مختلف در مدل Nash را در مرحله صحت‌سنجی نشان می‌دهد. در این شکل، نتایج مربوط به رویداد ۲۰۱۰/۰۴/۲۳ در ایستگاه گرژال، رویداد ۲۰۰۸/۱۱/۲۱ در ایستگاه کوتر، رویداد ۲۰۰۹/۰۶/۲۱ در ایستگاه مله‌دان، رویداد ۲۰۱۱/۰۴/۱۸ در ایستگاه بدلان و رویداد ۲۰۰۸/۰۲/۱۹ در ایستگاه بیطاس ارایه شده است. لازم به ذکر است که به دلیل

جدول ۴- متوسط پارامترهای مدل Nash در مرحله صحت‌سنجی

Table 4- Average values of Nash model's parameters in validation phase

Method	<i>n</i>				
	Garjal	Kouter	Malhazan	Badalan	Bitas
N	4	3	3	3	3
G1	2	2	2	2	2
G2	2	2	2	2	2
Q1	4	8	5	5	6
Q2	4	7	5	5	6
Q3	4	8	5	5	6

Method	<i>K</i> (hr)				
	Garjal	Kouter	Malhazan	Badalan	Bitas
N	10.9	7.3	7.9	8.7	6.9
G1	4.2	3.7	5.1	6.6	5.7
G2	4.2	3.7	5.1	6.6	5.7
Q1	2.3	1.3	1.9	2.0	1.9
Q2	2.4	1.3	1.9	2.0	1.9
Q3	2.4	1.3	1.9	2.0	1.9

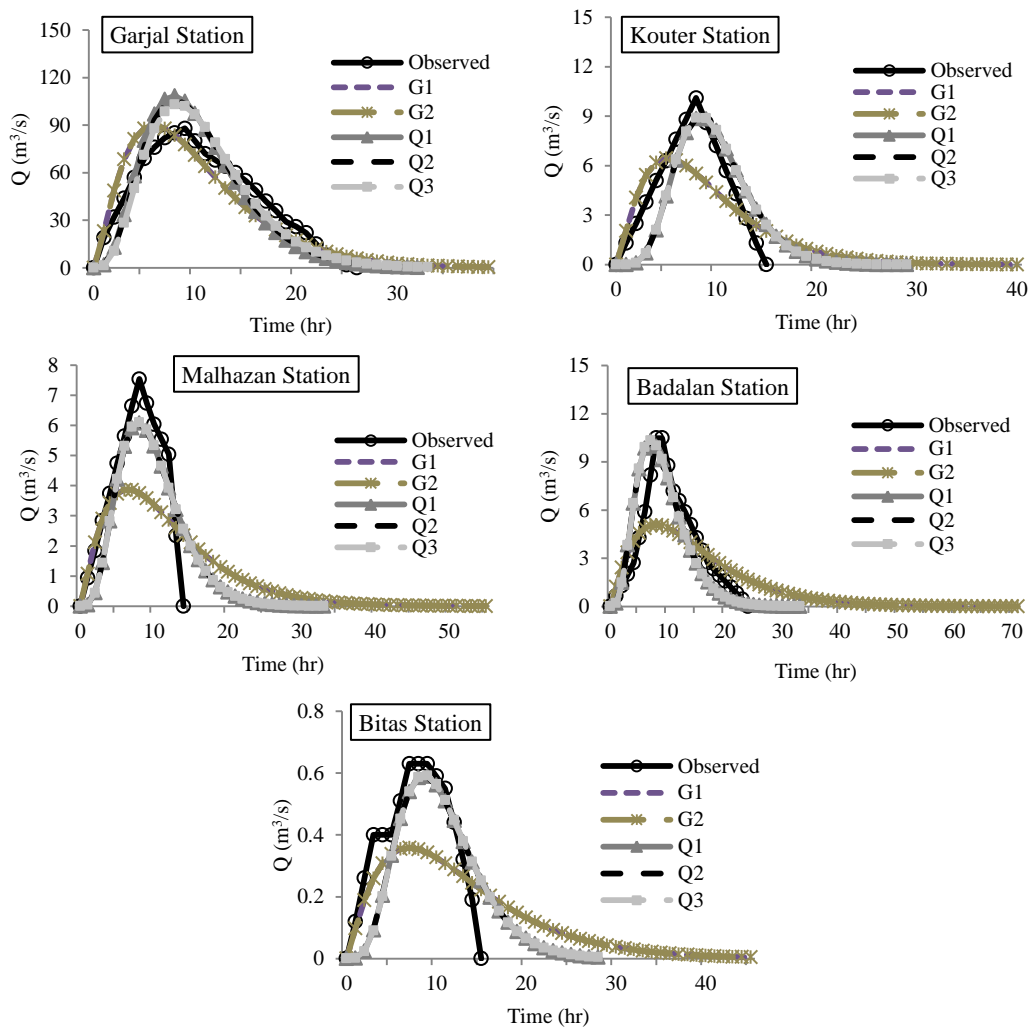


Fig. 2- Observed and simulated discharge Hydrographs in validation stage

شکل ۲- هیدروگراف‌های جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله صحت‌سنجی

مناسب‌ترین روش می‌باشد. در ایستگاه‌های بدلان و بیطاس نیز با اینکه روش‌های گاما ۱ و گاما ۲ حداکثر مقدار ضریب تبیین و حداقل میزان خطای نسبی در زمان تا اوج را ارایه داده‌اند، اما در چهار شاخص دیگر مقادیر مطلوبی نتیجه ندادند. شکل (۳)، ارائه‌دهنده متوسط مقادیر شاخص RMSE در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. نتایج این شکل همانند جدول (۵)، قابلیت روش مبتنی بر هیدروگراف جریان را نسبت به باقی روش‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

براساس نتایج جدول (۵)، روش تجربی Nash در هیچ‌کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه نتایج مطلوبی ارایه نداده است. همچنین بر مبنای نتایج شکل (۲) و جدول (۵)، گروه روش‌های مبتنی بر هیدروگراف جریان نسبت به گروه روش‌های مبتنی بر توزیع‌های آماری عملکرد بهتری را در ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته است. نتایج سه روش مبتنی بر هیدروگراف جریان یکسان بوده و براساس شاخص‌های آماری، اختلاف ناچیزی بین آنها وجود دارد. در میان سه روش مبتنی بر هیدروگراف جریان، روش دبی و زمان اوج ۳ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه با اختلاف بسیار ناچیز

جدول ۵- نتایج شاخص‌های آماری مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه در مرحله صحت‌سنجی

Table 5- Statistical indices results related to the studied stations in validation phase

Garjal Station						
Index	N	G1	G2	Q1	Q2	Q3
R ²	0.26	0.83	0.83	0.93	0.93	0.94
RMSE (m ³ .s)	45.89	12.22	12.23	12.99	11.96	11.01
MAE (m ³ .s)	38.05	10.35	10.36	10.85	10.03	9.15
NASH	-1.64	0.81	0.81	0.79	0.82	0.85
RE Q _p	70.67	2.02	1.98	23.27	20.57	17.13
RE T _p	222.22	33.33	33.33	11.11	11.11	11.11
Kouter Station						
Index	N	G1	G2	Q1	Q2	Q3
R ²	0.01	0.65	0.65	0.71	0.71	0.71
RMSE (m ³ .s)	4.62	2.06	2.06	1.80	1.79	1.79
MAE (m ³ .s)	3.85	1.64	1.64	1.58	1.57	1.57
NASH	-1.18	0.57	0.57	0.67	0.67	0.67
RE Q _p	74.18	36.19	36.20	12.32	12.49	11.85
RE T _p	112.50	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Malhazan Station						
Index	N	G1	G2	Q1	Q2	Q3
R ²	0.14	0.70	0.70	0.83	0.83	0.83
RMSE (m ³ .s)	3.76	1.99	2.00	1.14	1.13	1.13
MAE (m ³ .s)	3.26	1.54	1.55	0.98	0.98	0.97
NASH	-1.41	0.32	0.32	0.78	0.78	0.78
RE Q _p	73.92	48.75	48.76	19.43	19.45	19.05
RE T _p	112.50	12.50	12.50	0.00	0.00	0.00
Badalan Station						
Index	N	G1	G2	Q1	Q2	Q3
R ²	0.01	0.79	0.79	0.77	0.77	0.77
RMSE (m ³ .s)	4.06	2.14	2.14	1.73	1.73	1.74
MAE (m ³ .s)	3.08	1.58	1.58	1.31	1.31	1.32
NASH	-0.64	0.55	0.54	0.70	0.70	0.70
RE Q _p	73.15	51.55	51.56	1.91	1.97	1.40
RE T _p	162.50	0.00	0.00	12.50	12.50	12.50
Bitas Station						
Index	N	G1	G2	Q1	Q2	Q3
R ²	0.10	0.72	0.72	0.65	0.65	0.65
RMSE (m ³ .s)	0.31	0.18	0.18	0.14	0.14	0.14
MAE (m ³ .s)	0.28	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10
NASH	-1.27	0.28	0.28	0.56	0.56	0.55
RE Q _p	63.17	43.08	43.10	6.41	6.56	6.17
RE T _p	87.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50

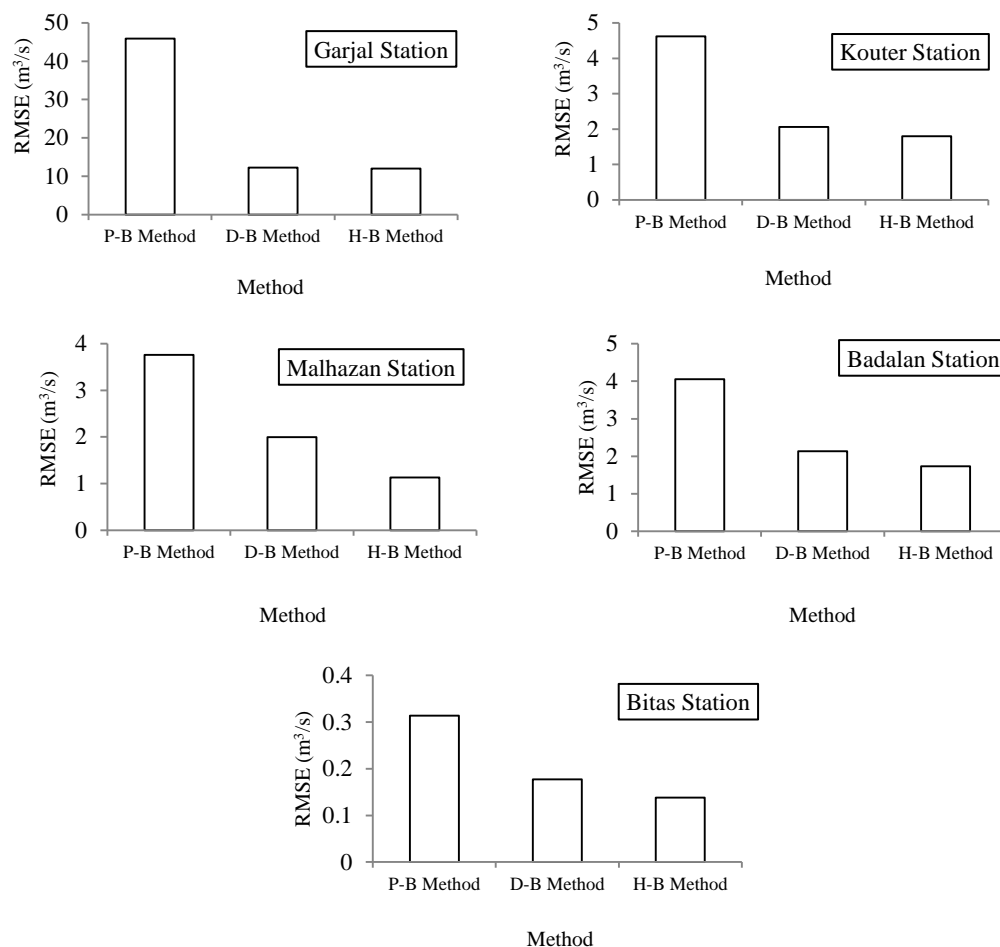


Fig. 3- RMSE index values related to three studied methods' categories

شکل ۳- مقادیر شاخص RMSE مربوط به سه دسته روش مورد مطالعه

صحیح پارامترهای این مدل (n و K)، می‌توان کارایی این روش را در مدل‌سازی فرآیند بارش-روان‌آب افزایش داد. روش‌های بسیاری برای تخمین پارامترهای این مدل ارائه شده که در مطالعه حاضر شش مورد از این روش‌ها در سه دسته مختلف، روش‌های مبتنی بر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه، روش‌های مبتنی بر توزیعات آماری و روش‌های مبتنی بر هیدروگراف‌های جریان مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور پارامترهای مدل Nash با استفاده از شش روش مختلف برای رویدادهای سیل مربوط به پنج ایستگاه هیدرومتری واقع در حوضه‌های آبریز متفاوت شمال غرب کشور واسنجی شد. سپس با استفاده از متوسط مقادیر محاسبه شده این پارامترها توسط همه روش‌های کاربردی، یک سیل برای مرحله صحت‌سنجی مدل در همه ایستگاه‌ها انتخاب شد. بررسی نتایج شاخص‌های آماری، مناسب‌ترین روش برای تخمین پارامترهای هیدروگراف Nash در هر ایستگاه را مشخص نمود. نتایج حاصل نشان داد که روش‌های مبتنی بر هیدروگراف‌های جریان که از هیدروگراف‌های جریان در تعیین پارامترهای مدل

به‌طور کلی، نتایج روش‌های مبتنی بر هیدروگراف جریان بهتر از روش‌های مبتنی بر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه و روش‌های مبتنی بر توزیعات آماری در مناطق مورد مطالعه بوده‌اند. مطابق نتایج Bahremand و Mostafazadeh (2010)، روش تجربی Nash در این تحقیق برای هر پنج ایستگاه مورد مطالعه نتایج ضعیفی ارائه داده است. مشابه نتایج Singh et al. (2007)، که در استفاده از روش دبی و زمان اوج یک به نتایج مناسبی برای کشور هندوستان دست یافته‌اند، در این تحقیق نیز این روش نسبتاً خوب عمل کرده است، اما Bahremand و Mostafazadeh (2010) نتایج خوبی از این روش به‌دست نیاوردند.

نتیجه‌گیری

استفاده از مدل مفهومی هیدروگراف واحد لحظه‌ای Nash به‌عنوان یک تکنیک کارآمد در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل می‌تواند ابزاری مفید در مطالعات هیدرولوژیک باشد. با تخمین

سیل‌های موجود در منطقه را جهت تعیین پارامترهای مدل Nash در پیش‌بینی سیلی که آمار آن در دست نیست، به کار برد.

سپاسگزاری

نویسندگان از مسئولان شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی بابت ارائه آمار هیدرومتری، سپاسگزاری می‌نمایند.

Nash استفاده می‌کنند، نسبت به دو روش دیگر (روش‌های مبتنی بر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه و روش‌های مبتنی بر توزیعات آماری) نتایج مطلوبی را در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌دهند. به عبارت دیگر، روش‌های مبتنی بر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه و روش‌های مبتنی بر توزیعات آماری روش‌های مناسبی برای مناطق مورد مطالعه نمی‌باشد و باید

References

- 1- Ahmadin, A., Fakheri Fard, A. and Gorbani, M.A., 2010. Comparison of Hybrid and Nash Models for Derivation of Instantaneous Unit Hydrograph (Case Study: Lighvan Watershed). *Water and Soil Science (Agricultural Science)*, 21(1), pp. 29-41. (In Persian).
- 2- Aron, G. and White, E.L., 1982. Fitting a Gamma distribution over a synthetic unit hydrograph. *Water Resources Bulletin*. 18(1), pp.95-98.
- 3- Aslani M., Fazl Ola R. and Ahmadizadeh, M., 2016. Determination of Nash Conceptual Model Parameter using Auto Calibration in Kasilian Watershed. *Watershed Management Research.*, 6(12), pp. 21-28. (In Persian).
- 4- Bahremand, A.R. and Mostafazadeh, R., 2010. Comparison of different methods for parameter estimation of nash's instantaneous unit hydrograph in JafarAbad watershed. *Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*. 86, pp.42-51. (In Persian).
- 5- Bardossy, A., 2007. Calibration of hydrologic model parameters for ungauged catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*. 11, pp.703-710
- 6- Bhaskar, N.R., Parida, B.P. and Nayak, A.K., 1997. Flood estimation for ungauged catchments using the GIUH. *Water Resource Planning and Management*. 123, pp.228-238.
- 7- Bobee, B. and Ashkar, F., 1991. *The Gamma family and derived distributions applied in hydrology*. Water Resources Press, Littleton, CO.
- 8- Bhunya, P.K., Mishra, S.K. and Berndtsson, R., 2003. Simplified two-parameter Gamma distribution for derivation of synthetic unit hydrograph. *Hydrologic Engineering*. 8(4), pp.226-230.
- 9- Collins, M.A, 1983. Fitting a Gamma distribution over a synthetic unit hydrograph. *Water Resources Bulletin*. 18(1), pp.303-304.
- 10- Dong, S.H., 2007. Genetic algorithm based parameter estimation of Nash Model. *Water Resources Management*. 22(4), pp.525-533.
- 11- Eagleson, P.S., Mejia, R. and March, F., 1966. Computation of optimum realizable unit hydrographs. *Water Resources Research*. 2, pp.755-764.
- 12- Hann, C.T., Barfield, B.J. and Hayes, J.C, 1994. *Design hydrology and sedimentology for small catchment*. Academic Press, USA.
- 13- Karamoz, M. and Araghinejad, S., 2010. *Advanced Hydrology*. Amirkabir University Pre. Second Pub.
- 14- Nash, J.E. 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph. *IASH Publication*. 45(3-4). pp.114-121.
- 15- Nash, J.E., 1959. Synthetic determination of unit hydrograph parameters. *Geophysical Research*. 64(1) pp.111-115.

- 16- Nourani, V., Singh, V.P. and Delafrouz, H., 2009. Three geomorphological rainfall- runoff models based on the linear reservoir concept. *Catena*. 76., pp.206-214.
- 17- Rao, A.R. and Tirtotjondro, W., 1995. Computation of unit hydrographs by a Bayesian method. *Journal of Hydrology*, 164(1-4), pp.325-344..
- 18- Rao, A.R. and Hamed, K.H., 2000. *Flood frequency analysis*. CRC Press, England.
- 19- Rosso, R., 1984. Nash model relation to Horton order ratios. *Water Resources Research*. 20(7), pp.914-920.
- 20- Sahoo, B., Chandarnath, C., Narendra, S.R., Rajendra, S. and Rakesh, K., 2006. Flood estimation by GIUH based Clark and Nash models. *Hydrologic Engineering*. 11(6), pp.515-525.
- 21- Sherman, L.K., 1932. Streamflow from rainfall by the unit-graph method. *Engineering News Record*. 108, pp.501-505.
- 22- Singh, S.L., 1998. Reconstructing a synthetic unit hydrograph into a Gamma distribution. *Proceeding of International conference on Integrated water Resources Management, Alexandria University, Egypt*.
- 23- Singh, S.K., 2000. Transmuting synthetic unit hydrograph into Gamma distribution. *Hydrologic Engineering*. 5(4), pp.380-385.
- 24- Singh, P.K., Bhunya, P.K., Mishra, S.K. and Chaube, U.C., 2007. An extended hybrid model for synthetic unit hydrograph derivation. *Journal of Hydrology*, 336(3-4), pp.347-360.
- 25- Snyder, W.M., 1955. Hydrograph analysis by the method of least squares. *Proceedings of American Society of Civil Engineers*. 81, pp.1-24.
- 26- Tarazkar, M.H. and Sedghamiz, A., 2008. Comparing monthly discharge forecasting for Karkheh River by using time series and artificial Intelligent traits. *Pajouhesh & Sazandegi*. 80, pp.51-58. (In Persian).