

EXTENDED ABSTRACT

Evaluating the effect of formation of flow pattern on the outflow hydrograph in the HEC-HMS simulator (Case study: Roudzard basin)

B. Moteshaffeh¹, A. M. Akhond Ali², M. R. Sharifi^{3*} and H. Zarei⁴

1- Graduated with a PhD in water resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3* Corresponding Author, Associate Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

4- Associate Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 4 July 2018

Revised: 15 September 2018

Accepted: 17 September 2018

Keywords:

HEC-HMS model, Routine pattern,

Lag pattern, Runoff generation.

TO CITE THIS ARTICLE:

Moteshaffeh, B., Akhond Ali, A. M., Sharifi, M. R., Zarei, H. (2023). 'Evaluating the effect of formation of flow pattern on the outflow hydrograph in the HEC-HMS simulator (case study: Roudzard basin)', Irrigation Sciences and Engineering, 46(2), pp. 1-14. doi: 10.22055/jise.2018.26976.1789.

Introduction

Runoff generation is a complex multi-factor process localized with the boundaries of a river basin (Vinogradov, 2009). So quantitative descriptions of distributed runoff generation are difficult to acquire in field setting (Vivoni, 2007). On the other hand, determination of runoff generation capacity as a significant factor in water resources management requires analyses which result in more accurate runoff estimation along with uncertainty. To do so, more actualized rainfall – runoff simulations should be done. Many efforts have been made by researches in order to approach simulation processes to the reality ones. The location of runoff generation causes different flow patterns which can have impact on simulation results (Brihnet and Benaabidate, 2016). Unlike Routine pattern in HEC-HMS, Lag pattern which considers runoff generation at the subbasin centroid seems closer to the reality. However its performing needs some preparation in HEC-HMS model (Choudhari et al., 2016). In present study both patterns will be performed in HEC-HMS and their similarities and differences will be investigated.

Methodology

Excess rainfall in each subbasin which is converted to runoff can be calculated either at the outlet of subbasin or at the projection point of subbasin centroid on the main subbasin streamflow. So two Routine and Lag patterns can be established. In Routine pattern which is a common widely used method in HEC-HMS, excess runoff is calculated at the subbasin outlet then routing simulation continues through the reach (Scharffenberge, 2016). This procedure is followed to The other subbasins and reaches until the total runoff hydrograph is obtained at the basin outlet. In lag pattern, The projection point of subbasin centroid on the main subbasin is considered as the location of converting rainfall to runoff and the routing is continued through the reach which connects this point to the next subbasin centroid. The 5 recorded rainfall-runoff event of 1352-1395 were used at the study area, Abolabbas basin. 3 out of 5 selected events included 10/10/88, 10/8/55 and 13/10/59 used for calibration and two remained 2/3/74 and 22/9/58 kept for validation. Other needed parameters and information were provided by HEC-

GEO HMS and ArcGIS 10.2 softwares. x Maskingum parameters for both patterns and k Muskingum parameter for Routine pattern were yielded through HEC-HMS calibration while k Muskingum parameter for Lag pattern was gained through some calculations using area and excess rainfall of each subbasin as well as the distance between projection point of each subbasin centroid on the main streamflow to subbasin outlet. SCS unit hydrograph and Muskingum methods were applied to converting excess rainfall to runoff in subbasins and routing in reaches respectively (Akhond-Ali and Kaboli, 2009). Finally using Peak-weighted RMS, Percent Error Peak and Nash-sutcliffe objective functions the model was calibrated and then verified. Considering the fact that the two patterns are basically different in reaches and in order to determine the sensitive parameters in Lag pattern the x and k parameters along with CN which is known as the most sensitive parameter in SCS method were selected for model calibration

Results and Discussion

The results showed that the amount of PEP objective function is identical for both patterns. While the Peak-Weighted RMS and Nash-Sutcliffe show that Routine pattern has been more efficient (Table 1). The weak result of the Lag pattern can be related to the two more parameters in model calibration. In order to improve the results of Lag pattern and determine the influence of x and k parameter, the alternative removal of these two parameters in calibration was performed. The amount of PWRMS and PEP indicated that in spite of x parameter, the removal of k parameter has had negative impact on patterns and it’s been dramatically more tangible for Lag pattern so that the amount of Nash-Sutcliffe objective function became acceptable. Validation results showed that there has been a huge error in peak flow simulation. One the other hand except for two cases in Routine pattern simulation, all objective function for both patterns has been successful in flow volume simulation. It can be indicated that Lag pattern is preferred for flow volume simulation (Table 2).

Table 1- Amount of objective functions in calibration of Routine and Lag patterns

	PWRMS		PEP		Nash	
	Routine pattern	Lag pattern	Routine pattern	Lag pattern	Routine pattern	Lag pattern
10/10/88	1/03	2/49	0	0	0/57	-0/13
8/10/55	6/96	8/35	0/02	0/02	0/68	0/37
13/10/59	3/87	6/41	0	0	0/43	-0/08

Table 2- Statistical criteria in validation of Routine and Lag patterns

	PWRMS				PEP				Nash										
	Routine pattern		Lag pattern		Routine pattern		Lag pattern		Routine pattern		Lag pattern								
	RMS	Nash-Sutcliffe	RMS	Nash-Sutcliffe	RMS	Nash-Sutcliffe	RMS	Nash-Sutcliffe	RMS	Nash-Sutcliffe	RMS	Nash-Sutcliffe							
2/ 3/ 74	7.5	unacceptable -51.71	-23	7.6	unacceptable -40.30	-13.33	8.0	unacceptable	9.12	3.33	8.8	unacceptable -21.67	-2.96	7.7	unacceptable -57.79	-28.15	9.6	unacceptable -47.14	-15.55
22/9/ 58	5.0	unacceptable -57.14	-3.47	5.4	unacceptable 58.79	040-4	6.3	unacceptable	16.14	21.38	6.2	unacceptable 33	9.83	5.0	unacceptable -59.63	-2.31	5.1	unacceptable -58.38	-8.09

Conclusion

Beside common way in HEC-HMS model for rainfall-runoff simulation, Lag pattern which is closer to reality can be considered. In comparison to Routine pattern The point of runoff generation and consequently the reaches are different in this pattern. The result of simulation using both methods showed that model calibration using CN and K parameters result in best simulation and k parameter is introduced as significant parameter in Lag pattern. Validation results indicated there has been vast error in peak flow simulation for both patterns while the the volume of flow be calculated with high accurate specially using Lag pattern.

Acknowledgements

Hereby, the authors of the article appreciate Khuzestan Water and Electricity Organization for providing the required data and information.

References

- 1- Akhond-Ali, A.M. and Seyyed Kaboli, H., 2009. Evaluation of SCS and Clark Unit Hydrograph Methods to Simulate flood events In Kasilian Basin. In 5th conference on *Watershed Management Science and Engineering (Natural Hazards Sustainable Management) Iran*, Gorgan. (In Persian).
- 2- Brirhet, H. and ,Benaabidate, L., 2016. Comparison Of Two Hydrological Models (Lumped And Distributed) Over A Pilot Area Of The Issen Watershed In The Souss Basin, Morocco. *European Scientific Journal*, 12(18), PP. 347-358
- 3- .Choudhari, K., Panigrahi, B. and Chandra Paul, M., 2016. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India), *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATICS AND GEOSCIENCES*,5(2), pp. 253-265
- 4- Scharffenberge, W., 2016. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual*. US Army Corps of Engineering.
- 5- Vinogradov. Y. B. 2009. *Runoff Generation and Storage in Watershed*. In HYDROLOGICAL CYCLE Vol. III
- 6- Vivoni, E. R., Entekhabi, D., Bras, R. L., and Ivanov, V. Y., 2007. Controls on runoff generation and scale-dependence in a distributed hydrologic model, *Hydrology and Earth System Sciences discussions (HESSD)*, 4, pp. 983-1029.



ارزیابی تأثیر نحوه‌ی شکل‌گیری الگوی جریان بر هیدروگراف خروجی حوضه‌ی آبریز در شبیه‌ساز HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبریز رود زرد)

بهزاد متشفع^۱، علی محمد آخوندعلی^۲، محمدرضا شریفی^۳ و حیدر زارعی^۴

- ۱- دانش آموخته دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۳- نویسنده مسئول، دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
msharifi@scu.ac.ir
- ۴- دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۶

بازنگری: ۱۳۹۷/۰۶/۲۴

دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۳

چکیده

دستیابی به برآورد روان‌آب حوضه، مستلزم شبیه‌سازی هر چه واقعی‌تر فرایند بارش-روان‌آب است. تلاش برای نزدیک نمودن شبیه‌سازی به واقعیت فرایند، همواره مورد نظر محققین بوده است. چگونگی موقعیت اولین نقطه شروع روان‌آب در سطح حوضه، منجر به الگوهای مختلف به دلیل شکل‌گیری جریان شده و در نتیجه، در میزان دقت شبیه‌سازی فرایند، موثر است. الگوی تأخیری شکل‌گیری جریان در حوضه آبریز، به دلیل فرض تشکیل جریان از مرکز سطح، برخلاف الگوی متعارف در شبیه‌سازی نظیر-HEC HMS، به واقعیت شروع جریان، نزدیک‌تر به نظر می‌رسد. در تحقیق حاضر برای ارزیابی الگوی تأخیری، در حوضه آبریز رود زرد، به مقایسه آن با الگوی متعارف در شبیه‌ساز HEC-HMS پرداخته شد. نتایج نشان داد الگوی تأخیری، برخلاف الگوی متعارف، به دلیل افزایش تعداد پارامترها، به ازای سه واقعه بارش، دارای مقادیر توابع هدف Nash و PWRMS به ترتیب $-۰/۱۳$ ، $۰/۳۷$ ، $۰/۰۸$ و $۲/۴۹$ ، $۸/۳۵$ ، $۶/۴۱$ می‌باشد که در مقایسه با مقادیر نظیر آن‌ها $۰/۵۷$ ، $۰/۶۸$ ، $۰/۴۳$ و $۱/۰۳$ ، $۶/۹۶$ ، $۳/۸۷$ در الگوی متعارف، دارای دقت پایین‌تری بود. این در حالی است که تحلیل حساسیت پارامترها نشان داد، نوع الگو، در حساسیت نسبی پارامترها، متفاوت است. به طوری که در الگوی تأخیری، پارامتر k ، در مقایسه با پارامتر CN از حساسیت بیشتری نسبت به حساسیت آن‌ها در الگوی متعارف، برخوردار است. مقایسه دو الگوی انتخابی در برآورد حجم سیلاب، نشان داد که الگوی تأخیری عملکرد مناسب‌تری نسبت به الگوی متعارف دارد.

کلید واژه‌ها: مدل HEC-HMS، الگوی متعارف، الگوی تأخیری، بهینه‌سازی، تشکیل روان‌آب.

مقدمه

تولید روان‌آب یک فرایند چند فاکتوره و پیچیده و شامل فرایندهای بهم پیوسته‌ای است که در محدوده‌ی مرزهای حوضه‌ی آبریز به وقوع می‌پیوندد (Vinogradov, 2009). لذا تعیین مقادیر توزیع روان‌آب در سطح حوضه بسیار مشکل است. (Vivoni et al., 2007). از سوی دیگر روان‌آب حاصل از بارش، پایه و اساس بسیاری از مطالعه‌های مربوط به طرح‌های توسعه و بهره‌برداری منابع آب می‌باشد. لذا محققین همواره درصدد توسعه و بهبود شبیه‌سازهای مختلف و تعیین عدم قطعیت آن‌ها بوده‌اند. از آن‌جا که نتایج خروجی مدل‌های بارش-روان‌آب به‌طور مستقیم در مسائلی از قبیل مدیریت منابع آب، کنترل سیلاب و طراحی سازه‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل‌سازی فرایند بارش-روان‌آب از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد. (Chow et al., 1988). فرایندهای مکانی در

مدل‌های روان‌آب وسیله‌ای برای ارائه‌ی حوضه‌ی آبریز برای مدل‌سازی فراهم می‌آورد. اساس این فرایندها بر داده‌های ورودی و این‌که چطور روان‌آب در سطح حوضه تولید و روندیابی می‌شود، قرار دارند. تغییرات زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی روابط بین بارش و روان‌آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند و لذا بایستی در مدل‌سازی مد نظر قرار گیرند (Beven, 2012). ساختار حوضه‌ی آبریز در مدل‌سازی بارش-روان‌آب می‌تواند به صورت یک پارچه (Lumped)، نیمه‌توزیعی (Semi-Distributed) و توزیعی (Distributed) طبقه‌بندی شود. در مدل‌های یک پارچه ساختار حوضه‌ی آبریز یکپارچه فرض شده و از تفاوت‌های مکانی صرف‌نظر می‌شود (Moradkhani and Sorooshian, 2008). در یک چنین مدل‌هایی، خروجی‌ها بدون در نظر گرفتن فرایندهای مکانی، الگوها و سازمان‌دهی حوضه‌ی آبریز به‌دست می‌آیند. در مدل‌های توزیعی سطح

پیوسته و تلفات نسبی قرار گرفتند. Benaabidate و Brirhet (2016) دو مدل مفهومی یک پارچه‌ی HEC-HMS و توزیعی ATHYS را در پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز Aguenza در طول سیلاب به کار بردند و هدف آن‌ها اندازه‌گیری میزان سازگاری مدل‌ها برای منطقه‌ی مورد مطالعه به منظور تعمیم آن به کل حوضه بود. نتایج به دست آمده از هر دو مدل رضایت‌بخش بوده و تفات چندانی بین آن‌ها به ویژه در شاخص NS به چشم نمی‌خورد. همچنین آن‌ها پیشنهاد نمودند که یک مدل توزیعی خوب می‌تواند باعث بهبود شبیه‌سازی حجم حاصل از سیلاب شود. Choudhari et al. (2014) با استفاده از ۲۴ رگبار، روان‌آب خروجی حوضه‌ی Baljore Nala واقع در هند را شبیه‌سازی کردند و در این شبیه‌سازی از هیدروگراف واحد SCS برای تبدیل بارش به روان‌آب و روش ماسکینگام (Muskingum) برای روندیابی استفاده نمودند. نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان داد که بارش-روان‌آب به نحو مطلوبی شبیه‌سازی شده است. Franchini و Pacciani (1991) مقایسه‌ی مفصلی از هفت مدل مفهومی در حوضه‌ی آبریز (sieve) که شامل مدل خطی ساده‌ی مخزن تا مدل پیچیده‌ی استنفورد می‌شد، به عمل آوردند. آن‌ها دریافتند که تمامی مدل‌ها بعد از کالیبراسیون با دقت مشابهی با داده‌های مشاهداتی تطابق دارند و نتیجه گرفتند با توجه به نتایج یکسان، مدل‌های ساده به طور قابل ملاحظه‌ای وقت کمتری برای رسیدن به نتایج مناسب نیاز دارند. Laganier et al. (2014) طی پژوهشی با رویکرد اجرای زوج روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مناسب برای مدل‌سازی هیدروگراف سیلاب‌های تند حوضه رودخانه گاردن فرانسه و با هدف مقایسه‌ی کارایی یک روش ساده شده روندیابی (روندیابی تأخیری) با یک روش هیدرولیکی کامل برای مدل‌سازی هیدروگراف سیلاب‌های تند حوضه رودخانه گاردن فرانسه به این نتیجه رسیدند که هر دو روش دارای نتایج مشابه بوده و روش روندیابی تأخیری برای تخمین جریان در پایین دست رودخانه گاردن مناسب تشخیص داده شد. Alavi et al. (2010) بدون استفاده از شبیه‌ساز، اقدام به به‌کارگیری روش روندیابی تأخیری در حوضه تحقیقاتی Eastern creek در استرالیا نمودند، آن‌ها برای محاسبه پارامتر k بین هر دو بازه، به‌جای استفاده از طول آب‌راه، از عامل جذر مساحت حوضه استفاده نمودند. در نتایج آن‌ها روش پیشنهادی در مقایسه با روش اصلی نتیجه‌ی بهتری داشت. Azizpour et al. (2017) با استفاده از شبیه‌ساز HEC-HMS سعی در به‌کارگیری مدل نیمه‌توزیعی روندیابی تأخیری، در فرایند بارش به روان‌آب، داشت. لیکن در عمل مدل تأخیری مزبور را صرفاً با استفاده از امکانات موجود نرم‌افزار و در واقع مطابق با روش متعارف، اجرا نمود.

آن‌چه در استفاده از مدل تأخیری مورد نظر است، نزدیک نمودن شبیه‌سازی نحوه‌ی شکل‌گیری جریان در زیرحوضه‌ها به آن‌چه در طبیعت رخ می‌دهد، می‌باشد. از آن‌جایی که روش متعارف

حوضه‌ی آبریز به واحدهای مجزای مربعی، مثلثی یا المان‌های غیرمنظم تقسیم شده و سپس پارامترهای ورودی و خروجی به‌صورت مکانی تغییر می‌کنند. در واقع ایجاد شبکه‌ی سلولی که پارامترهای توپوگرافی، بارندگی، نوع خاک و پوشش اراضی در آن به‌صورت مکانی تغییر می‌کند، امکان شبیه‌سازی دقیق‌تر را فراهم می‌آورد. با تمام این تفسیرها، از یک‌سو استفاده از مدل توزیعی به دلیل کمبود اطلاعات با محدودیت مواجه است و از سوی دیگر مدل‌های یکپارچه در عین سادگی و سهولت کاربری، وابسته به فرضیات محدودکننده‌ای هستند، لذا محققین همواره در پی توسعه‌ی مدل‌هایی موسوم به مدل‌های نیمه توزیعی بوده‌اند. این مدل‌ها ممکن است با مدل‌های یکپارچه در زیرحوضه‌ها مطابقت داشته باشند و تنها قادر به نمایش برخی از تفاوت‌های مکانی در مقیاس کوچک‌تری هستند.

قابلیت سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS امکان استفاده از آن را برای مدل‌سازی هم به‌صورت یک پارچه و هم به‌صورت نیمه‌توزیعی فراهم می‌کند و تاکنون مطالعه‌های گوناگونی توسط این شبیه‌ساز به انجام رسیده است. Hosseini et al. (2015) با کمک مدل HEC-HMS میزان روان‌آب حاصل از بارش را در حوضه‌ی کشکان استان لرستان مدل‌سازی نموده و نشان دادند که این مدل کارایی بالایی در شبیه‌سازی روان‌آب روزانه طی دوره‌ی ترسالی و همچنین در حداکثر دبی لحظه‌ای به ازای دوره بازگشت‌های کمتر از ۳۰۰ سال دارد. Zolfaghari et al. (2014) روابط بارش-روان‌آب حوضه‌ی آبریز کشکان در استان لرستان را با به‌کارگیری مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و روش SCS شبیه‌سازی نمودند. نتایج بررسی نشان داد که مدل HEC-HMS با دقتی حدود ۹۴ درصد قادر به پیش‌بینی روان‌آب است. Noori et al. (2012) مدل HEC-HMS را در تخمین سیلاب حوضه‌ی قروه واقع در استان کردستان به کار بردند و با استفاده از روش‌های SCS و اشنایدر، هیدروگراف سیل را شبیه‌سازی و واسنجی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد روش SCS در شبیه‌سازی دبی اوج هیدروگراف با داده‌های مشاهداتی تطابق بهتری دارد. Karimi et al. (2011) توانمندی مدل HEC-HMS را در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل و مشخصات سیل شامل دبی اوج، حجم روان‌آب و زمان اوج با استفاده از سه روش هیدروگراف واحد مصنوعی SCS، اشنایدر و کلارک در حوضه‌ی آبریز چهل‌گزی و با استفاده از هفت واقعه‌ی رگبار مورد بررسی قرار دادند. مقایسه‌ی نتایج، حاکی از شبیه‌سازی مطلوب و کارایی بهتر روش SCS نسبت به دو روش دیگر بود. Seyyed Kaboli و Akhound-Ali (2009) چهار روش تلفات نسبی، تلفات پیوسته، تلفات اولیه-پیوسته و شماره منحنی SCS را توسط شبیه‌ساز HEC-HMS در حوضه آبریز کسلیلیان مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش شماره منحنی SCS بر سایر روش‌ها برتری نسبی داشته و پس از آن به‌ترتیب روش‌های تلفات اولیه-پیوسته، تلفات

در شبیه‌ساز، اولین نقطه‌ی تشکیل روان‌آب را در خروجی هر یک از زیرحوضه‌های محدوده مورد مطالعه قرار می‌دهد، لذا با توجه به این که در واقعیت، نقطه‌ی شروع روان‌آب، محلی است که بارش رسیده به سطح، قابلیت روان‌آب شدن را پیدا می‌کند لذا بر این اساس، به‌نظر می‌رسد انتخاب نقطه‌ی شروع جریان در محلی در بالادست خروجی، بتواند شبیه‌سازی دقیق‌تری، ارائه نماید. از این‌رو اجرای مدل تأخیری برای دستیابی به شبیه‌سازی دقیق‌تر می‌تواند مورد نظر باشد. از سویی دیگر اجرای مدل تأخیری با استفاده از شبیه‌ساز متداولی نظیر HEC-HMS، نیاز به اعمال برخ تغییرات در نحوه کار با آن می‌باشد. مرور منابع نشان می‌دهد که به‌کارگیری مدل تأخیری با لحاظ نمودن الگوی شکل‌گیری جریان در شبیه‌ساز HEC-HMS، تاکنون استفاده نشده است. لذا در تحقیق حاضر با هدف ارزیابی مدل تأخیری، با استفاده از شبیه‌ساز HEC-HMS، اقدام به مدل‌سازی تأخیری گردید.

مدل HEC-HMS

مدل HEC-HMS یکی از مدل‌های پرکاربرد در شبیه‌سازی بارش-روان‌آب در حوضه‌های شاخه درختی است. این مدل مجموعه‌ای از مدل‌های ریاضی است که قابلیت محاسبه‌ی تلفات بارش، تبدیل بارش به روان‌آب از طریق روابط مختلف در زیرحوضه‌ها و روندیابی جریان در رودخانه‌ها، مخازن و همچنین سازه‌های آبی را دارد. به‌طور کلی این مدل دارای چهار بخش اصلی مدل حوضه، تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی، مشخصه‌های کنترلی و واسنجی می‌باشد و حداقل یک مدل حوضه، یک مدل هواشناسی و یک مشخصه کنترل برای اجرای پروژه مورد نیاز است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه‌ی آبریز ابوالعباس واقع در استان خوزستان می‌باشد. این حوضه بزرگ‌ترین زیرحوضه‌ی رودخانه‌ی رود زرد بوده و در محدوده‌ی جغرافیایی $31^{\circ} 42'$ تا $31^{\circ} 44'$ عرض شمالی و $49^{\circ} 54'$ تا $50^{\circ} 05'$ طول شرقی واقع شده است. مساحت این حوضه 283 کیلومتر مربع، محیط آن $87/4$ کیلومتر و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا

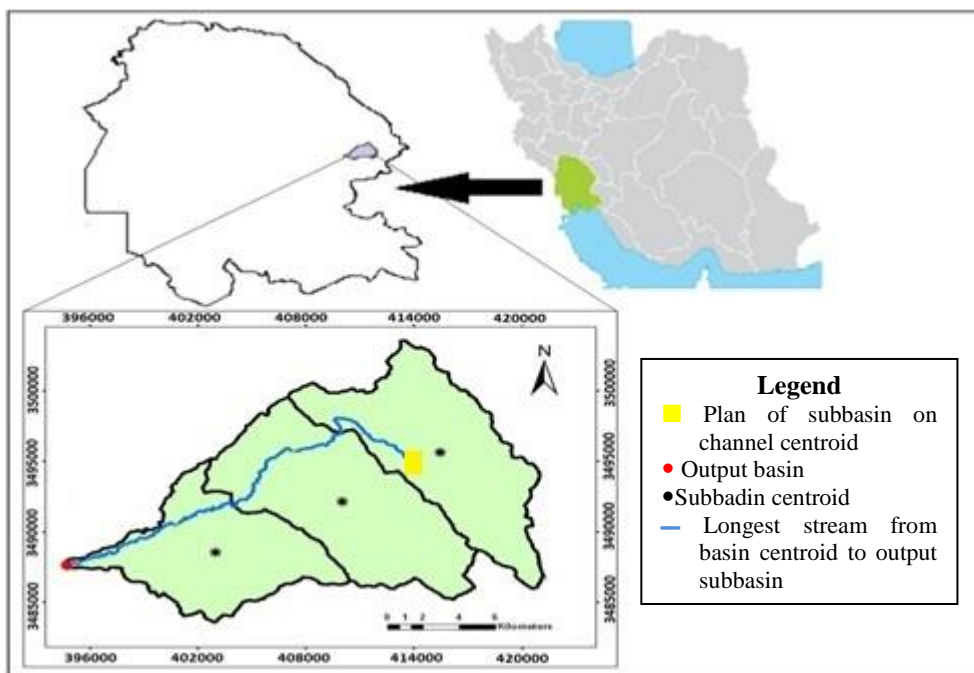


Fig. 1- Location of study area in Iran and Khuzestan
شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران و استان خوزستان

برای روندیابی جریان در بازه‌ها مدل روندیابی ماسکینگام به کار گرفته شد. در روش ماسکینگام مقدار ذخیره، باید به عنوان تابعی از جریان ورودی و خروجی بیان شود. ذخیره، در رودخانه‌ها شامل دو بخش منشوری و تیغه‌ای است. ذخیره منشوری از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$prism S = O * K \quad (۴)$$

که $prism S =$ ذخیره‌ی منشوری

$O =$ جریان خروجی

و $K =$ زمان پیمایش در طول بازه مورد نظر است. ذخیره تیغه‌ای مطابق رابطه‌ی (۵) حساب می‌شود:

$$wege S = (I - O) * K * X \quad (۵)$$

که در آن $wege S$ ذخیره‌ی تیغه‌ای، $(I - O)$ تفاوت جریان ورودی و خروجی، و X ضریب وزنی بدون بعدی است که میزان تأثیر جریان ورودی و خروجی را بر مقدار ذخیره مشخص می‌کند. بنابراین معادله ذخیره‌سازی ماسکینگام به قرار روابط (۶) و (۷) است:

$$S = O * K + (I - O) * K * X \quad (۶)$$

$$S = K [XI + (I - X)O] \quad (۷)$$

زمانی که ذخیره فقط تابع خروجی باشد، $X = 0$ و زمانی که جریان ورودی و خروجی سهم یکسانی در ذخیره سازی داشته باشند، $X = 0.5$ می‌باشد. از ترکیب معادله فوق با معادله پیوستگی، معادله روندیابی ماسکینگام به دست می‌آید:

$$O_2 = C_1 I_1 + C_2 I_2 + C_3 O_1 \quad (۸)$$

که در آن:

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(I - X) + \Delta t} \quad (۹)$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(I - X) + \Delta t} \quad (۱۰)$$

$$C_3 = \frac{2K(I - X) - \Delta t}{2K(I - X) + \Delta t} \quad (۱۱)$$

در نهایت با داشتن هیدروگراف ورودی، گام زمانی مشخص و تخمین پارامترهای X و k ، هیدروگراف جریان خروجی به دست می‌آید. لازم به ذکر است که پارامترهای X و k ماسکینگام بازه‌ها در الگوی متعارف از طریق واسنجی مدل به دست می‌آید.

الگوی تأخیری روندیابی جریان در مدل HEC-HMS

زمانی که شدت بارش بیشتر از شدت نفوذ باشد، مازاد آن به صورت روان‌آب بر روی سطح زمین جاری خواهد شد

الگوی متعارف روندیابی جریان در مدل HEC-HMS

الگوی متعارف روندیابی جریان همان الگوی معرفی شده توسط مدل و مورد استفاده در پژوهش‌های مختلف است. (Scharffenberge, 2016). به این صورت است که ابتدا مقدار بارش به روان‌آب تبدیل شده و در خروجی زیرحوضه قرار می‌گیرد و روندیابی در آب‌راهه یا بازه‌های رودخانه از خروجی زیرحوضه آغاز می‌شود و به همین ترتیب در زیرحوضه‌های پایین ادامه پیدا می‌کند و سرانجام هیدروگراف تغییر یافته و مجموع در خروجی حوضه محاسبه می‌شود. بنابراین در حوضه‌ی مورد مطالعه پس از جداسازی آب پایه به روش خط مستقیم، بارش در زیرحوضه‌ی یک (Subbasin 1) به روان‌آب تبدیل شده و در ادامه در بازه‌ی یک (Reach 1) روندیابی می‌شود و در خروجی زیرحوضه‌ی دو (Subbasin 2) در محل (junction 1) به روان‌آب تولید شده توسط زیرحوضه‌ی دو می‌پیوندد. به همین ترتیب مجموع دبی‌ها در این محل در بازه‌ی دو (Reach 1) روندیابی شده و نهایتاً در محل خروجی حوضه (Outlet) با روان‌آب حاصل از زیرحوضه‌ی سه (Subbasin 3) جمع شده و هیدروگراف شبیه‌سازی شده‌ی نهایی به دست می‌آید (شکل ۲ الف). تبدیل بارش به روان‌آب در تمامی زیرحوضه‌ها با استفاده از روش هیدروگراف واحد مصنوعی SCS و روندیابی جریان در بازه‌ها به روش ماسکینگام انجام می‌شود. در هیدروگراف مصنوعی SCS، پارامتر دبی پیک یک پارامتر بدون بعد است. در این روش مختصات نقاط هیدروگراف واحد از جدول بدون بعد که در آن مقادیر نسبت زمان (t/t_p) در مقابل دبی (Q/Q_p) هیدروگراف داده شده است، به دست می‌آید. لذا برای به دست آوردن مختصات نقاط هیدروگراف واحد بایستی باید مقادیر t_p و Q_p در دست باشند تا از روی آن‌ها و به کمک جدول مربوطه مقادیر t و Q به دست آید. مقادیر t_p و Q_p از رابطه‌های (۱) و (۲) به دست می‌آید: (Alizadeh, 2007)

$$Q_p = 0.208A/t_p \quad (۱)$$

$$t_p = D/2 + t_l \quad (۲)$$

که در آن D تداوم بارش (ساعت)، A مساحت حوضه (کیلومتر مربع)، Q_p دبی پیک هیدروگراف واحد بر حسب مترمکعب بر ثانیه برای یک میلی‌متر روان‌آب است و t_p زمان رسیدن به دبی پیک می‌باشد. برای حوضه‌هایی که زمان تاخیر آن‌ها اندازه‌گیری نشده، می‌توان آن را از طریق زمان تمرکز و به کمک رابطه‌ی (۳) محاسبه کرد:

$$t_l = 0.6t_c \quad (۳)$$

که در آن t_l و t_c به ترتیب زمان تأخیر و زمان تمرکز حوضه می‌باشند. لازم به ذکر است زمان تأخیر زیرحوضه‌ها در تحقیق پیش رو از طریق الحاقیه‌ی HEC-GEO HMS به دست می‌آید.

به‌دست آمده و برای محاسبه‌ی پارامتر k ماسکینگام بازه‌ها به این صورت عمل می‌شود که ابتدا هیدروگراف هر بارش در نرم‌افزار Excel ترسیم شده و سطح زیر آن به عنوان حجم روان‌آب محاسبه می‌گردد. سپس حجم روان‌آب بر سطح کل حوضه تقسیم شده تا ارتفاع روان‌آب حاصل از آن بارش به‌دست آید. در مرحله‌ی بعد پس از محاسبه‌ی تلفات اولیه، تلفات ثانویه‌ی (φ) با استفاده از ارتفاع روان‌آب و سعی و خطا و نهایتاً برازش نمودار محاسبه شده و هیتوگراف بارش مازاد رسم می‌گردد. مرکز ثقل بارش مازاد و هیدروگراف محاسبه شده و از هم کسر می‌گردد به‌این ترتیب پارامتر K برای هر بارش به‌دست می‌آید. در گام بعدی ارتفاع بارش موثر برای هر زیرحوضه (p) با استفاده از سطح زیرهیدروگراف و تقسیم آن به سطح زیرحوضه حساب می‌شود. فاصله‌ی مرکز ثقل زیرحوضه‌ها تا خروجی کل حوضه (d) نیز قبلاً با استفاده از الحاقیه‌ی HEC-GEO HMS به‌دست آمده است. لذا به کمک رابطه‌ی (۱۲) و K حاصل از مرحله‌ی قبل ضریب ثابت k به ازای هر بارش محاسبه می‌گردد که در فاصله‌ی بین مرکز ثقل‌های زیرحوضه‌ها ضرب شده و به عنوان k ماسکینگام در مدل قرار می‌گیرد.

$$K = \frac{k \sum_{i=1}^n A_i R_i d_i}{\sum_{i=1}^n R_i A_i} \quad (12)$$

که در این رابطه:

\bar{A} شماره زیرحوضه

n تعداد زیرحوضه‌ها

K زمان تاخیر کل حوضه (ساعت)

A_i مساحت هر زیرحوضه (کیلومترمربع)

R_i باران مازاد هر زیرحوضه (میلی‌متر)

و d_i فاصله نزدیک‌ترین نقطه آبراهه اصلی هر زیرحوضه به مرکز ثقل زیرحوضه تا خروجی زیرحوضه به کیلومتر می‌باشد.

(Mahdavi, 2003). این آب پس از پر کردن گودی‌های سطح زمین در امتداد شیب جریان پیدا کرده و از طریق شبکه‌ی آبراهه‌ها و سپس روخانه‌ی اصلی از حوضه خارج می‌شود (Alizadeh, 2007). لذا امکان ایجاد آن در نه تنها در خروجی حوضه بلکه در تمام سطح حوضه‌ی آبریز وجود دارد. برخلاف الگوی متعارف شرح داده شده، در الگوی تأخیری تبدیل بارش به روان‌آب در مرکز ثقل زیرحوضه‌ها محاسبه می‌شود نه در خروجی آن‌ها و لذا به نظر می‌رسد که به واقعیت نزدیک‌تر است. در این الگو در زیرحوضه‌ی یک (Sub basin 1) بارش به روان‌آب تبدیل می‌شود ولی به جای قرار گرفتن هیدروگراف، در خروجی زیرحوضه در روی تصویر مرکز ثقل زیرحوضه در روی آبراهه‌ی اصلی قرار می‌گیرد و از آن‌جا این جریان در بازه‌ی یک (Reach 1) که مرکز ثقل زیرحوضه اول را به مرکز ثقل زیرحوضه‌ی دوم وصل می‌کند، روندیابی می‌شود تا به (Junction 1) برسد. در زیرحوضه‌ی دوم (Sub basin 2) نیز بارش به روان‌آب تبدیل شده و در تصویر مرکز ثقل حوضه روی آبراهه‌ی اصلی یعنی (Junction 1) قرار می‌گیرد. مقادیر روان‌آب این دو جریان در این محل به هم ملحق می‌شود و در بازه‌ی دوم (Reach 2) که از مرکز ثقل زیرحوضه‌ی دوم روی آبراهه تا تصویر مرکز ثقل زیرحوضه‌ی سوم روی آبراهه و در محل (Junction 2) امتداد دارد روندیابی می‌شود. در این محل است که روان‌آب حاصل شده از زیرحوضه‌ی سوم (Sub basin 3) نیز به آن اضافه می‌شود و نهایتاً روندیابی در بازه‌ی سوم (Reach 3) از محل (Junction 2) تا خروجی حوضه ادامه می‌یابد (شکل ۲ ب). لذا در الگوی تأخیری علاوه بر تغییر در محل هیدروگراف خروجی محاسبه‌شده برای زیرحوضه‌ها و تغییر محل بازه‌ها، بازه‌ی جدیدی به مدل اضافه خواهد شد. همانند الگوی متعارف در این الگو نیز تبدیل بارش به روان‌آب و روندیابی با استفاده از روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی SCS و ماسکینگام صورت می‌پذیرد. همچنین پارامتر x ماسکینگام بازه‌ها از طریق بهینه‌سازی مدل

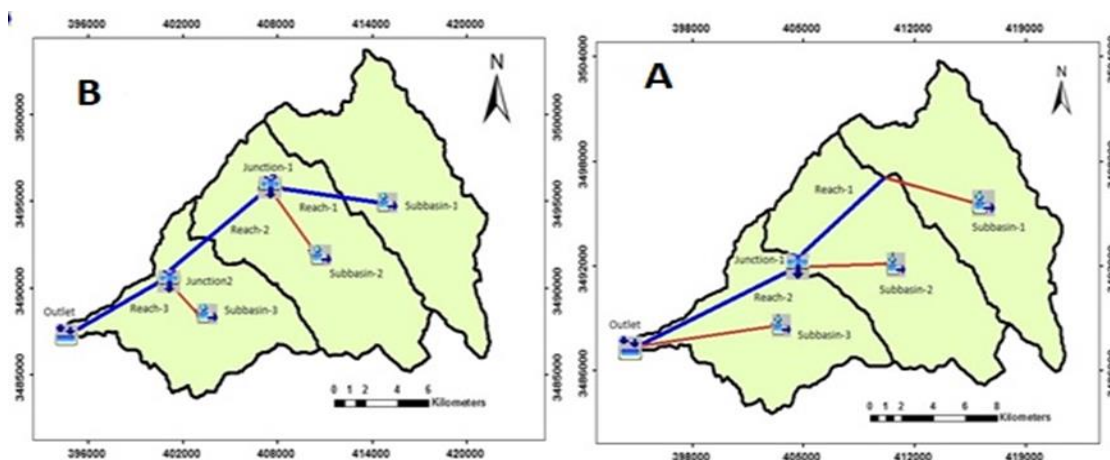


Fig. 2- Stream patterns A)- conventional B)- delayed

شکل ۲- الگوهای جریان الف) متعارف ب) تأخیری

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

در مرحله واسنجی از داده‌های واقعی بارش- روان آب و با استفاده از یک سری توابع هدف برای برآورد پارامترهای مدل استفاده می‌شود، به نحوی که بهترین برازش بین نتایج داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای حاصل گردد. با توجه به اینکه دو شبکه‌ی جریان از نظر روندیابی در آبراهه دارای بازه‌های متفاوتی هستند و به منظور تعیین میزان حساسیت مدل به تغییر و تأثیر پارامترهای x و k پارامترهای مذکور به همراه پارامتر CN که پارامتری حساس در روش SCS می‌باشد، برای واسنجی انتخاب شدند. قابل ذکر است که تعداد زیاد پارامتر در واسنجی نتیجه‌ی معکوس داشته و باعث بهبود هیدروگراف خروجی نمی‌گردد. به دلیل وجود بیش از یک پارامتر، در بهینه سازی، الگوریتم نلدر مید (Nelder Mead Algorithm) به عنوان الگوریتم جستجو استفاده شد. این الگوریتم در هر تکرار برای اطمینان از قابل قبول بودن مقادیر آزمون پارامترها کنترل می‌شود. اگر پارامترها در دامنه قابل قبول قرار نگیرند، مدل HEC-HMS مقادیر آزمون را تا رسیدن به حداقل افزایش داده و یا تا رسیدن به مقدار حداکثر کاهش می‌دهد و سپس مجدداً جستجو ادامه پیدا می‌کند. برای مقایسه میزان تطابق هیدروگراف محاسباتی با هیدروگراف مشاهداتی مقادیر توابع هدف مورد بررسی قرار می‌گیرند توابع هدف درصد خطا در دبی اوج (Percent Peak Error)، خطای وزنی جذر میانگین مربعات (RMS) دبی اوج (Peak-Weighted RMS) Error و Nash-Sutcliffe به شرح زیر در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند:

خطای وزنی جذر میانگین مربعات (RMS) دبی اوج

برای بررسی میزان تطابق دبی‌های متناظر مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل به کار می‌رود (رابطه‌ی ۱۳) و بهترین مقدار آن صفر است که حاکی از تطابق کامل دبی‌های محاسباتی و مشاهداتی و در نتیجه دقت بالای نتایج شبیه سازی است.

$$z = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\sum_{t=1}^n (q_o(t) - q_s(t))^2 \left(\frac{q_o(t) + q_o(\text{mean})}{2q_o(\text{mean})} \right) \right]} \quad (13)$$

در این رابطه $q_o(t)$ دبی مشاهداتی در زمان t و $q_s(t)$ دبی محاسباتی در زمان t و نهایتاً $q_o(\text{mean})$ دبی متوسط مشاهده شده می‌باشد.

درصد خطا در دبی اوج

درصد خطای بین دبی مشاهداتی و دبی محاسباتی است (رابطه‌ی ۱۴). از آنجایی که محاسبه‌ی دبی اوج به عنوان یکی از مهم ترین پارامترهای کلیدی هیدروگراف در بسیاری از مطالعه‌های هیدرولوژی و مسائل طراحی اهمیت دارد لذا مقدار

درصد خطای شبیه‌سازی شده از اهمیت بالایی برخوردار است و هر چه مقدار آن به طرف صفر میل پیدا کند مدل دقیق تر و قابل اعتمادتر خواهد بود.

$$z = \frac{q_s - q_o}{q_o} \times 100 \quad (14)$$

در این رابطه q_o دبی اوج مشاهداتی و q_s دبی اوج محاسباتی می‌باشد.

شاخص Nash - Sutcliffe

شاخص نش- ساتکلیف یک شاخص نرمال شده است که بزرگی نسبی واریانس باقی مانده را در مقایسه با داده‌های مشاهداتی اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص میزان تطابق داده‌های مشاهداتی را نسبت به مقادیر شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد. مقدار این شاخص بین صفر و منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند.

$$NSE = 1 - \frac{\sum (Q_o(t) - Q_s(t))^2}{\sum (Q_o(t) - \bar{Q}_o)^2} \quad (15)$$

در این رابطه

$Q_o(t)$ دبی مشاهداتی در زمان t

$Q_s(t)$ دبی محاسباتی در زمان t

$\bar{Q}_o(t)$ میانگین دبی‌های مشاهداتی می‌باشد

مقدار بهینه NSE برابر یک است که نشان می‌دهد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی وجود دارد. مقدار صفر این شاخص بر این واقعیت دلالت دارد که دقت پیش‌بینی داده‌های محاسباتی، برابر دقت پیش‌بینی توسط میانگین داده‌های مشاهداتی است و مقدار کمتر از صفر بیانگر این است که دقت پیش‌بینی توسط میانگین داده‌های مشاهداتی بیشتر از دقت پیش‌بینی‌های مدل مورد نظر است. مقادیر بین صفر و یک، به این صورت توصیف می‌شوند که اگر NSE بزرگتر از ۰/۷۵ باشد، نتایج شبیه‌سازی خوب، اگر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، نتایج قابل قبول یا رضایت‌بخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد، نتایج غیر قابل قبول خواهد بود.

علاوه بر آن در اعتبارسنجی مدل اجرا شده برای دو الگو، از شاخص‌های درصد خطا در حجم و درصد خطا در دبی اوج طبق روابط (۱۶) و (۱۷) نیز استفاده شد.

$$DV = \frac{V^* - V}{V} \times 100 \quad (16)$$

$$z = \frac{q_s - q_o}{q_o} \times 100 \quad (17)$$

که در این روابط V^* و q_s به ترتیب حجم روان آب محاسباتی و دبی اوج محاسباتی و V و q_o به ترتیب حجم روان آب مشاهداتی و دبی اوج مشاهداتی می‌باشند.

طولانی‌ترین مسیر جریان از مرکز ثقل تا خروجی زیرحوضه برای اجرای مدل استخراج شدند و در نهایت مدل HEC-HMS برای دو الگوی جریان متعارف و تأخیری اجرا شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تعیین خصوصیات حوضه و لایه‌های مستخرج شده از الحاقیه‌ی HEC-GEO HMS در جدول (۱) و شکل (۳) آورده شده است.

آماده کردن داده‌های مورد نیاز مدل

ابتدا دوره‌ی آماری بارندگی از سال ۵۲ تا ۹۴ مورد بررسی قرار گرفته و سه رخداد بارش و هیدروگراف نظیر آن‌ها مورخ‌های ۵۹/۱۰/۱۳ و ۵۵/۱۰/۸، ۸۸/۱۰/۱۰ و دو رخداد بارش مورخ ۷۴/۳/۲ و ۵۸/۹/۲۲ جهت اعتبارسنجی مدل انتخاب شدند. در گام بعدی با کمک نرم‌افزار ArcGIS10.2 و همچنین الحاقیه‌ی HEC-GEO HMS اطلاعات و پارامترهای مورد نیاز شامل لایه‌های CN، شیب حوضه، تجمع جریان، جهت جریان، طولانی‌ترین مسیر جریان تا خروجی زیرحوضه و

جدول ۱- خصوصیات زیرحوضه‌های مورد مطالعه

Table 1- Properties of the studied subbasins

	Area (km ²)	Perimeter (km)	CN	Delay time (h)	Distance between subbasin centroid output basin
Subbasin 1	96.73	76.02	80.39	1.31	30.8
Subbasin 2	105.97	16.68	72.47	1.76	21.73
Subbasin 3	76.84	64.82	57.30	1.91	8.51

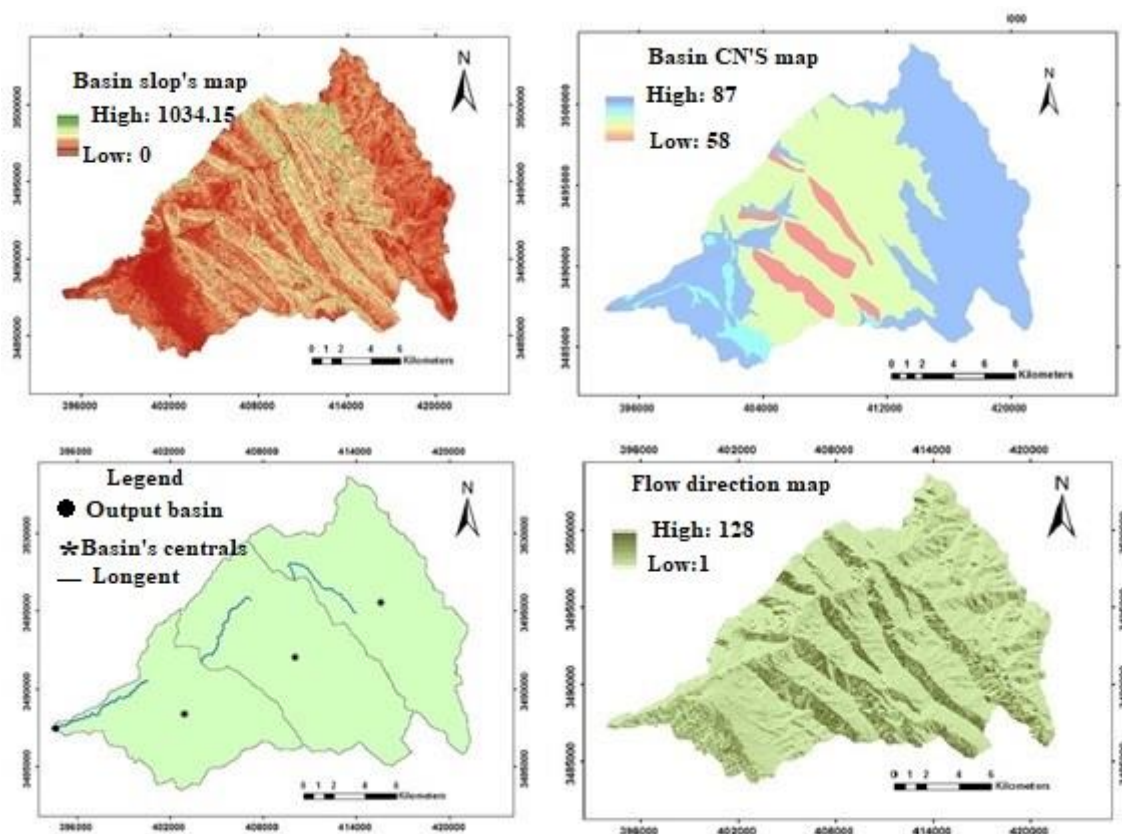


Fig. 3- Prepared layers by HEC-GEO HMS for model's run

شکل ۳- برخی لایه‌های تهیه شده توسط HEC-GEO HMS برای اجرای مدل

نتایج واسنجی مدل HEC-HMS برای الگوهای متعارف و تأخیری

پس از اجرای مدل و واسنجی آن، مقادیر توابع هدف برای الگوی متعارف و تأخیری برای رخدادهای بارش طبق جدول (۲) به دست آمد. همان طور که قبلاً ذکر شد از پارامترهای CN زیر حوضه ها و k و x بازه ها در واسنجی استفاده شد. نتایج جدول (۲) نشان می دهد که مقادیر تابع هدف PEP برای هر دو الگو و در تمامی بارش ها مشابه بوده لذا هر دو الگو عملکرد مناسبی در محاسبه دبی اوج در مقایسه با مقادیر مشاهده ای داشته اند. باید در نظر داشت که این تابع از تمام مقادیر هیدروگراف به غیر از دبی اوج صرف نظر می کند و تمرکز تنها روی مقدار دبی اوج می باشد. مقادیر تابع PWRMS برای بارش ۸۸/۱۰/۱۰ در هر دو الگوی متعارف و تأخیری به ترتیب ۱/۰۳ و ۲/۴۹ بوده که نشان می دهد شبیه سازی این بارش نسبت به دو بارش ۵۵/۱۰/۸ با مقادیر ۶/۹۶ و ۸/۳۵ و ۵۹/۱۰/۱۳ با مقادیر ۳/۸۷ و ۶/۴۱ رضایت بخش تر بوده است. همچنین بهترین مقدار تابع Nash محاسبه شده مربوط به بارش ۵۵/۱۰/۸، به ترتیب مقدار ۰/۶۸ برای الگوی متعارف و ۰/۳۷ برای الگوی تأخیری است. در حالی که مقدار آن در الگوی متعارف برای رخداد ۸۸/۱۰/۱۰ برابر ۰/۵۷ و برای واقعه ای ۵۹/۱۰/۱۳ برابر ۰/۴۳ بوده و در الگوی تأخیری برای این دو رخداد به ترتیب مقادیر منفی ۰/۱۳ و ۰/۰۸ است که حاکی از آن است که داده های مشاهداتی بهتر از شبیه سازی الگوی تأخیری است. هیدروگراف های مربوط به واسنجی مدل با توابع هدف در شکل (۴) آورده شده است. ارائه ای نتایج ضعیف تر الگوی تأخیری در مقایسه با الگوی متعارف را می توان مربوط به تعداد پارامتر بیشتر آن دانست. همان طور که در بخش تشریح الگوی تأخیری اشاره شد، این الگو نسبت به الگوی متعارف دارای یک بازه بیشتر می باشد که در نتیجه تعداد پارامترهای کالیبراسیون از هفت پارامتر در الگوی متعارف، به نه پارامتر در الگوی تأخیری افزایش می یابد و افزایش تعداد پارامترهای کالیبره در مدل HEC-HMS باعث عملکرد ضعیف تر مدل می شود. لذا در قدم بعدی و به منظور بهبود نتایج شبیه سازی الگوی تأخیری و تعیین تأثیر تعداد پارامترهای x و k ، این پارامترها به طور متناوب از پارامترهای واسنجی حذف می شوند. با این روش نه تنها نتایج الگوی تأخیری به طور قابل توجهی بهبود می یابد بلکه میزان تأثیر پارامترهای x و k نیز مشخص خواهد شد.

مقادیر توابع هدف پس از حذف متناوب پارامتر x و k در جداول (۳) و (۴) آورده شده است. همان طور که نتایج نشان

می دهد حذف پارامتر k در هر دو الگوی جریان روی نتایج توابع PEP و PWRMS تأثیر منفی داشته است و نتایج آن برای هر دو الگو حتی از واسنجی با تمامی پارامترها ضعیف تر بوده است. در مقابل حذف پارامتر x و بهینه سازی مدل تنها با پارامتر CN حوضه ها و پارامتر k بازه ها بهترین نتیجه را ارائه داده است. در مورد الگوی تأخیری تأثیر پارامتر k و حذف پارامتر x به مراتب بیشتر بوده است و در مورد توابع هدف PWRMS و Nash کاملاً محسوس می باشد به طوری که نتایج تابع Nash از محدوده ی غیر قابل قبول به رضایت بخش تبدیل می شود. با توجه به این که المان های هیدرولوژیکی بازه ها در دو الگو با هم متفاوت است می توان گفت در این الگو وجود پارامتر k برای بهینه سازی مدل ضرورت دارد در حالی که در الگوی متعارف حذف آن به خصوص در تابع Nash و در دو بارش ۸۸/۱۰/۱۰ و ۵۵/۱۰/۸ تغییر نمی کند.

در مرحله ی بعد از میانگین پارامترهای بهینه ی حاصل شده از توابع هدف، به صورت جداگانه برای اعتبارسنجی دو الگو و با استفاده از دو رخداد بارش ۷۴/۳/۲ و ۵۸/۹/۲۲ استفاده می شود. همان طور که در جدول (۵) آمده است، تابع هدف Nash-Sutcliffe عملکرد مناسبی نداشته و در هر دو رخداد بارش غیر قابل قبول توصیف می شود. همچنین کمترین مقدار RMS در رخداد ۵۸/۹/۲۲ به میزان پنج برای تابع PWRMS و Nash و الگوی متعارف بوده در مقابل الگوی تأخیری در همین بارش و برای تابع Nash، RMS برابر ۵/۱ را ارائه می نماید. بررسی میزان خطای دبی اوج نشان می دهد که خطای قابل توجهی در برآورد این پارامتر وجود داشته و کمترین مقدار آن مربوط به رخداد ۷۴/۳/۲ و حاصل از اجرای مدل با الگوی متعارف و به میزان ۹/۱۲ است. اما در برآورد حجم سیلاب، غیر از سه مورد، عملکرد هر سه تابع در هر دو الگو و برای هر دو بارش رضایت بخش است که هر سه مورد مربوط به الگوی متعارف بوده و دو مورد آن مربوط به بارش ۷۴/۳/۲ با میزان خطای ۲۳- و ۲۸/۱۵- درصد و به ترتیب برای توابع PWRMS و Nash-Sutcliffe و یک مورد آن برای بارش ۵۸/۹/۲۲ با درصد خطای ۲۱/۳۸ و برای تابع هدف PEP می باشد. با توجه به دامنه ی تغییرات میزان خطا که در الگوی تأخیری بین ۲/۹۶ تا ۱۵ و در الگوی متعارف بین ۲/۳۱ تا ۲۸ درصد است می توان گفت الگوی تأخیری بر الگوی متعارف برتری دارد. لذا با توجه به این که در بقیه ی شاخص ها تفاوت چندانی بین دو مدل دیده نمی شود، می توان استفاده از الگوی تأخیری را برای برآورد حجم سیلاب توصیه نمود.

جدول ۲- مقادیر توابع هدف الگوی متعارف و تأخیری در واسنجی مدل

Table 2- Amount of objective functions in calibration of Routine and Lag patterns

Rainfall date	PWRMS		PEP		Nash	
	Routine pattern	Lag pattern	Routine pattern	Lag pattern	Routine pattern	Lag pattern
10.10.88	1.03	2.49	0	0	0.57	-0.13
8.10.55	6.96	8.35	0.02	0.02	0.68	0.37
13.10.59	3.87	6.41	0	0	0.43	-0.08

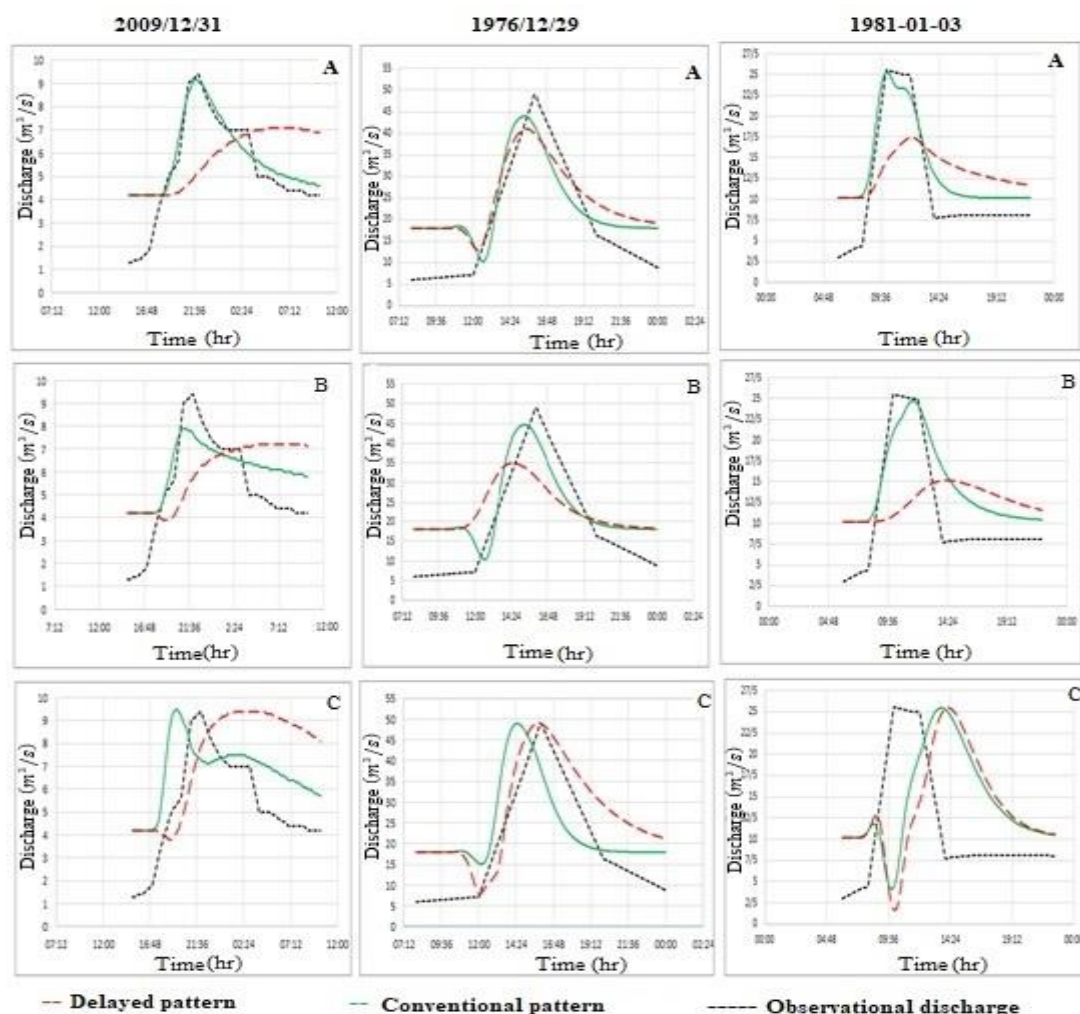


Fig. 4- Hydrograph of objective functions of conventional and delayed patterns in model calibration
A)- PWRMS B)- Nash C)- PEP

شکل ۴- هیدروگراف توابع هدف الگوهای متعارف و تأخیری در واسنجی مدل (الف) PWRMS (ب) Nash (ج) PEP

جدول ۳- مقادیر توابع هدف الگوی متعارف و تأخیری در واسنجی مدل بدون پارامتر K

Table 3- The values of the objective functions of the conventional and delayed in calibration of non-parameter K model

Rainfall date	PWRMS		PEP		Nash	
	Routine pattern	Lag pattern	Routine pattern	Lag pattern	Routine pattern	Lag pattern
10.10.88	1.04	2.49	0	25.52	0/74	-1.43
8.10.55	7.04	14.58	4.29	0	0/67	0.13
13.10.59	4.67	7.89	0	0	0/38	-0/01

جدول ۴- مقادیر توابع هدف الگوی متعارف و تأخیری در واسنجی مدل بدون پارامتر X

Table 4- The values of the objective functions of the conventional and delayed in calibration of non-parameter X model

Rainfall date	PWRMS		PEP		Nash	
	Routine pattern	Lag pattern	Routine pattern	Lag pattern	Routine pattern	Lag pattern
10.10.88	0.87	0.98	0	0	0/77	0.57
8.10.55	6.96	8.65	0.02	0	0/68	0.48
13.10.59	3.92	3.90	0	0	0/55	0.51

جدول ۵- مقادیر آماره‌ها پس از اعتبار سنجی الگوی متعارف و تأخیری
Table 5- Statistical criteria in validation of Routine and Lag patterns

PWRMS		PEP		Nash	
Routine pattern	Lag pattern	Routine pattern	Lag pattern	Routine pattern	Lag pattern
Nash-Sutcliffe RMS	Nash-Sutcliffe RMS	Nash-Sutcliffe RMS	Nash-Sutcliffe RMS	Nash-Sutcliffe RMS	Nash-Sutcliffe RMS
PEV	PEV	PEV	PEV	PEV	PEV
PEP	PEP	PEP	PEP	PEP	PEP
2/ 3/ 74	7/6	8/0	8/8	7/7	6/9
unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable
7/5	-23	-13/33	3/33	-2/96	-28/15
unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable
5/0	-51/71	-40/30	9/12	-21/67	-57/79
unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable
22/9/ 58	5/4	4/04	6/2	5/0	5/1
unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable
	-3/47	58/79	21/38	9/83	-2/31
	-57/14	16/14	33	-59/63	

نتیجه گیری

در کنار روش متعارف شبیه‌سازی بارش- روان آب در مدل HEC-HMS می‌توان الگوی جریان دیگری را متصور شد که برخلاف روش متعارف، روان آب حاصله را روی تصویر مرکز ثقل زیرحوضه روی آب‌راه‌های اصلی محاسبه می‌کند که به آن‌چه در واقعیت رخ می‌دهد، نزدیک‌تر است. به نظر می‌رسد چنین الگویی به دلیل تفاوت کامل در نحوه‌ی جریان و بازه‌های روندیابی نسبت به روش متعارف، باعث بهبود نتایج شبیه‌سازی و عملکرد مدل HEC-HMS شود. واسنجی هر دو الگو با استفاده از توابع هدف PWRME، Nash-Sutcliffe و PEP نشان داد الگوی تأخیری جریان، به دلیل دارا بودن بازه‌های بیشتر و در نتیجه افزایش پارامترهای واسنجی عملکرد پایین‌تری نسبت به الگوی متعارف داشته و تنها تابع هدف PEP در هر دو الگو و برای هر سه بارش ۰/۱۰/۱۰، ۸۸/۱۰/۸، ۵۵/۱۰/۸ و ۵۹/۱۰/۱۳ مقادیر یکسان ۰، ۰/۰۲ و ۰ را ارائه داد. لذا به منظور بهبود نتایج الگوی تأخیری و همچنین تعیین میزان تأثیر پارامترهای x و k بازه‌ها، حذف متناوب پارامترهای اخیر در هر دو الگو صورت گرفت که نتایج حذف پارامتر x و کالیبراسیون مدل تنها با حضور پارامترهای CN و k

حاکمی از بهبود قابل توجه نتایج شبیه‌سازی برای الگوی تأخیری و عدم تأثیر قابل توجه در نتایج واسنجی الگوی متعارف بود و لذا پارامتر k به‌عنوان پارامتر اساسی در بهینه‌سازی الگوی تأخیری معرفی شد که می‌توان این برجستگی نسبت به الگوی متعارف را به نحوی اتصال بازه‌ها در این الگو مربوط دانست. در ادامه نتایج اعتبارسنجی مدل برای هر دو الگوی جریان نشان داد شاخص نش-ساتکلیف در هر دو الگو غیرقابل قبول بوده و همچنین خطای قابل توجه در محاسبه‌ی دبی اوج سیلاب وجود دارد. در مقابل به‌غیر از سه مورد، محاسبه‌ی حجم سیلاب برای تمامی توابع هدف و در هر دو بارش رضایت‌بخش بوده و با توجه به این‌که هر سه مورد مربوط به الگوی متعارف بوده و همچنین با در نظر گرفتن میزان خطا می‌توان گفت الگوی تأخیری بر الگوی متعارف برتری داشته و لذا برای محاسبه‌ی حجم سیلاب این الگو پیشنهاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان مقاله از سازمان آب و برق خوزستان بابت در اختیار قرار دادن آمار و اطلاعات مورد نیاز تقدیر بعمل می‌آورند.

References

- 1- Akhound-Ali, A.M. and Seyyed Kaboli, H., 2009. Evaluation of SCS and Clark Unit Hydrograph Methods to Simulate flood events In Kasilian Basin. In *5th Conference on Watershed Management Science and Engineering (Natural Hazards Sustainable Management) Iran*, Gorgan (In Persian).

- 2- Alavi, S. and Akhound-Ali, A.M. and Ghomshi, M., 2010. Replacement of subbasin area instead of subbasin channel in lag method of runoff routing, Thesis, *Shahid Chamran University of Ahvaz*, Iran. 112p. (In Persian).
- 3- Alizadeh, A., 2007. *Principles of Applied Hydrology.*, Central Library Publication of Ferdowsi University of Mashhad . (In Persian).
- 4- Azizpour, Z., Akhound-Ali, A.M., Sharifi, M.R. and Zarei, H., 2017. Development of Semi distributed Lag-and-Route Model by Synthetic Unit Hydrograph, Thesis, *Shahid Chamran University of Ahvaz*, Iran. 152p. (In Persian).
- 5- Beven, K., 2012. *Rainfall Runoff Modeling The Primer*. John Wiley & Sons.
- 6- Brirhet, H. and Benaabidate, L., 2016. Comparison Of Two Hydrological Models (Lumped And Distributed) Over A Pilot Area Of The Issen Watershed In The Souss Basin, Morocco. *European Scientific Journal*, 12(18), PP. 347-358
- 7- Choudhari, K., Panigrahi, B. and Chandra Paul, M., 2014. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India), *International Journal Of Geomatics and Geosciences*, 5(2), pp. 253-265.
- 8- Chow, V.T. Maidment, D.R, and Mays, L.W., 1988. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill. New York.
- 9- Franchini, M. and Pacciani, M., 1991. Comparative analysis of several conceptual rainfall-runoff models. *Journal of hydrology*, 122(1-4), pp.161-219.
- 10- Hosseini, M., Jafar Biglou, M., Yamani, M. and Ground, F., 2015. Prediction of historical floods of the Kashkan River using the hydrological model HEC-HMS. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 4(1), pp.118-133. (In Persian).
- 11- Karimi, M. Malekinezhad, H., Aghbari, H. and Azizian, M.S., 2011. Evaluation of different runoff Hydrograph simulations using HEC-HMS software (case study: Chehel Gazi basin). *Iranian Water Research Journal*, PP.29-38 (In Persian).
- 12- Laganier, O., Ayrat, P. A., Salze, D. and Sauvagnargues. S., 2014. A coupling of hydrologic and hydraulic models appropriate for the fast floods of the Gardon River basin (France). *Natural Hazards and Earth System Science*, 14, PP. 2899-2920.
- 13- Mahdavi, M., 2003. *Applied Hydrology*. Tehran University Publications. (In Persian).
- 14- Moradkhani, H. and Sorooshian, S., 2008. *General Review of Rainfall-Runoff Modeling: Model Calibration, Data Assimilation, and Uncertainty Analysis* (pp. 1-24). Springer Berlin Heidelberg.
- 15- Noori, F., Behmanesh, J, Mohammadnejad, B. and rezaei, H., 2012. Evaluation of WMS/HEC-HMS model in flood prediction of Ghorveh basin. *Journal of Water and Soil Conservation*, 19(4), pp. 201-210. (In Persian).
- 16- Scharffenberge, W., 2016. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual*. US Army Corps of Engineering.
- 17- Vinogradov. Y. B. 2009. Runoff Generation and Storage in Watershed. In *Hydrological Cycle* Vol. III.
- 18- Vivoni, E. R., Entekhabi, D., Bras, R. L., and Ivanov, V. Y., 2007. Controls on runoff generation and Scale-dependence in a distributed hydrologic model, *Hydrology and Earth System Sciences discussions (HESSD)*, 4, pp. 983-1029.
- 19- Zolfaghari, H., Tahmasebipour, N. and Baharvandi, N., 2014. Simulation of Kashkan Basin Rainfall-Runoff Relations Using SCS Method. *Geography and Environmental Sustainability*, 4(1), pp.1-12. (In Persia).