



صفحه	نویسندگان	عنوان
۱	بهزاد متشفع، علی محمد آخوندعلی، محمدرضا شریفی و حیدر زارعی	ارزیابی تأثیر نحوه‌ی شکل‌گیری الگوی جریان بر هیدروگراف خروجی حوضه‌ی آبریز در شبیه‌ساز HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبریز رود زرد)
۱۵	نادیا شهرکی، صفر معروفی و محمدصادق غضنفری مقدم	توسعه مدل شبیه‌سازی توالی بارش روزانه با استفاده از زنجیره مارکف و حفظ همبستگی مکانی (مطالعه موردی: استان خوزستان)
۳۱	پروین چهارده چریکی قلی زاده، منوچهر فتحی مقدم و صادق حقیقی پور	بررسی عددی و آزمایشگاهی خصوصیات جریان گذرا در شبکه لوله ویسکوالاستیک با استفاده از تحلیل معکوس
۴۵	نسرین مرادی مجد، غلامعباس فلاح قاله‌ری و منصور چترنور	مدل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت و صنعت نیشکر استان خوزستان
۵۹	مرضیه فلاح مرسلی، هادی رضانی اعتدالی، محمد بی‌جن‌خان و علی مهدوی مزده	ارزیابی کاربرد شیرهای خودکار تنظیم دبی برای افزایش یکنواختی توزیع آب در سامانه آبیاری قطره‌ای در اراضی شیبدار و مدل‌سازی به وسیله نرم افزار EPANET (مطالعه موردی: بوستان باراجین قزوین)
۷۵	بهزاد زاهدی، محمدحسین پورمحمدی، حسین اسلامی، احسان دریکوند و محسن سلیمانی بابرصاد	شناسایی مناطق احتمالی تغذیه آب‌های زیرزمینی به روش تجزیه و تحلیل چند معیاره مبتنی بر GIS (مطالعه موردی: دشت دزفول - اندیمشک)
۹۱	مصطفی نیسی، سید محسن سجادی و محمود شفاعی بجستان	بررسی آزمایشگاهی دبی و افت انرژی جریان عبوری از دریچه سالونی - بیضوی در شرایط جریان آزاد
۱۰۳	علی قدمی فیروزآبادی، فریبرز عباسی، مهدی جوزی، بهروز ابوالپور، نادر کوهی چله کران، امیر اسلامی، پیمان ورجاوند و ابوالفضل ناصری	بررسی حجم آب کاربردی، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در باغات انجیر کشور

مدیر مسؤول: سعید برومندنسب

سردبیر: سید محمود کاشفی پور

مدیر داخلی: مهدی دریایی

تایپ و صفحه آرایی: ندا یزدانی

ویراستار: ندا یزدانی

### هیأت تحریریه:

استاد	آخوندعلی، علی محمد	استاد	هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
استاد	حیدرپور، منوچهر	استاد	آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
استاد	زندپارسا، شاهرخ	استاد	آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
استاد	قمشی، مهدی	استاد	سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
استاد	کاشفی پور، سید محمود	استاد	سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
استاد	لیاقت، عبدالمجید	استاد	آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
استاد	حسین زاده دلیر، علی	استاد	گروه مهندسی آب- دانشکده کشاورزی- دانشگاه تبریز.
استاد	ناصری، عبد علی	استاد	آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
استاد	استفانو پالیارا	استاد	گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیزا، ایتالیا
دانشیار	لای سای هین	دانشیار	گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه مالایا، مالزی.
استاد	رضا احمدیان	استاد	گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاردیف، انگلستان
دانشیار	هنک ریتزما	دانشیار	گروه مدیریت منابع آب، گروه علوم محیط زیست، دانشگاه واگنینگن و پژوهش، هلند

صاحب امتیاز: دانشگاه شهید چمران اهواز - دانشکده مهندسی آب و محیط زیست

کلیه مکاتبات از طریق سردبیر مجله به نشانی اهواز - دانشگاه شهید چمران اهواز - دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دفتر مجله علمی علوم و مهندسی آبیاری تلفن ۰۹۰۴۶۳۰۵۶۴۸ و دورنگار ۰۳۳۶۵۶۷۰۳ (۰۶۱) صورت گیرد.

این مجله در سایت <http://jise.scu.ac.ir> نمایه می شود.

نشانی پست الکترونیکی: [JISE.Water@yahoo.com](mailto:JISE.Water@yahoo.com) و [JISE.Water@scu.ac.ir](mailto:JISE.Water@scu.ac.ir)

مجوز انتشار از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی ۱۲۴/۱۰۳۶۲ به تاریخ ۷۷/۱۰/۸ و مجوز دفتر بررسی نشریات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ۳/۱۱/۱۲۶۴ به تاریخ

۸۸/۷/ ۲۹ برای مجله علوم و مهندسی آبیاری

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## اسامی بررسی کنندگان مقالات این شماره

لاله	دیوبند	حمید	آماده
فریدون	رادمنش	جواد	احدیان
مصطفی	رحمانشاهی	آرش	ادیب
حیدر	زارعی	سعید	اسلامیان
میثم	سالاری جزی	عاطفه	پرورش ریزی
علی	شاهنظری	پروانه	تیشه زن
احمد	فتحی	سیروس	جعفری
بابک	لشکرآرا	سید مهدی	حسینی
امیر	ناصرین	عادل	دحیماوی
		سیده سولماز	دشتی



## پیشگفتار

سپاس و ستایش پروردگار متعال که بر ما منت گذاشت تا با همت و پشتکار اعضای هیأت تحریریه، کارکنان مجله، همکاری داوران و ویراستاران، جلد ۴۶، شماره ۲ مجله علمی علوم و مهندسی آبیاری با خرسندی فراوان به علاقه‌مندان علوم مهندسی آب تقدیم گردد.

مجله علوم و مهندسی آبیاری یک سابقه حدود ۴۳ ساله دارد و وزارت علوم و تحقیقات و فناوری مجوز این مجله علمی- پژوهشی در شکل حاضر در سال ۱۳۸۸ صادر کرد. این مجله در سایت های بین المللی ISC و Doaj نیز نمایه شده است. امتیاز این مجله متعلق به دانشگاه شهید چمران اهواز است.

هیأت تحریریه مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری امیدوار است که همکاران محترم در کلیه مراکز علمی و پژوهشی با ارسال مقالات ارزنده علمی و کاربردی خود در تخصص‌های مهندسی آب، آبیاری و زهکشی، منابع آب، سازه های آبی، هیدرولیک رسوب، محیط زیست آبی، آبخیزداری، آب- هواشناسی (هیدرومتئورولوژی)، هیدرولوژی، آب های زیرزمینی، اقتصاد آب و علوم وابسته به آنها، با این مجله همکاری نموده و در فراهم ساختن زمینه‌ی استمرار و پیوستگی چاپ و انتشار مجله و ارائه خدمات بیشتر و ارزنده تر در نشر علوم مهندسی آب و آبیاری ما را همراهی نمایند. از کلیه بررسی کنندگان مقالات و صاحب نظران که در فرصت های گوناگون با ارائه نظرات اصلاحی خود در بهبود کیفیت مجله نقشی به عهده گرفته اند، صمیمانه سپاسگزاری می نماید.

از همکاران گرامی که نتیجه مطالعات و تحقیقات خود را جهت چاپ و انتشار به این مجله ارسال می نمایند تقاضا می شود که ضوابط تعیین شده (راهنمای تهیه مقاله) را دقیقاً رعایت فرمایند. توجه به ضوابط مجله و رعایت آن از جانب صاحبان مقاله، ضمن جلوگیری از دوباره کارهای زیاد و وقت گیر، موجب تسریع و بهبود کیفیت چاپ مقالات نیز خواهد گردید.

سردبیر

صفحه	عنوان
۱	ارزیابی تأثیر نحوه‌ی شکل‌گیری الگوی جریان بر هیدروگراف خروجی حوضه‌ی آبریز در شبیه‌ساز HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبریز رود زرد) بهزاد متشفع، علی محمد آخوندعلی، محمدرضا شریفی و حیدر زارعی
۱۵	توسعه مدل شبیه‌سازی توالی بارش روزانه با استفاده از زنجیره مارکف و حفظ همبستگی مکانی (مطالعه موردی: استان خوزستان) نادیا شهرکی، صفر معروفی و محمدصادق غضنفری‌مقدم
۳۱	بررسی عددی و آزمایشگاهی خصوصیات جریان گذرا در شبکه لوله ویسکوالاستیک با استفاده از تحلیل معکوس پروین چهارده چریکی قلی زاده، منوچهر فتحی مقدم و صادق حقیقی پور
۴۵	مدل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت و صنعت نیشکر استان خوزستان نسرتین مرادی مجد، غلامعباس فلاح قاهری و منصور چترنور
۵۹	ارزیابی کاربرد شیرهای خودکار تنظیم دبی برای افزایش یکنواختی توزیع آب در سامانه آبیاری قطره‌ای در اراضی شیبدار و مدل‌سازی به وسیله نرم افزار EPANET (مطالعه موردی: بوستان باراجین قزوین) مرضیه فلاح مرسلی، هادی رضانی اعتدالی، محمد بی‌جن خان و علی مهدوی مزده
۷۵	شناسایی مناطق احتمالی تغذیه آب‌های زیرزمینی به روش تجزیه و تحلیل چند معیاره مبتنی بر GIS (مطالعه موردی: دشت دزفول - اندیمشک) بهزاد زاهدی، محمدحسین پورمحمدی، حسین اسلامی، احسان دریکوند و محسن سلیمانی بابرصاد
۹۱	بررسی آزمایشگاهی دبی و افت انرژی جریان عبوری از دریچه سالونی - بیضوی در شرایط جریان آزاد مصطفی نیسی، سید محسن سجادی و محمود شفاعی بجستان
۱۰۳	بررسی حجم آب کاربردی، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در باغات انجیر کشور علی قدمی فیروزآبادی، فریبرز عباسی، مهدی جوزی، بهروز ابوالپور، نادر کوهی چله کران، امیر اسلامی، پیمان ورجاوند و ابوالفضل ناصری

**EXTENDED ABSTRACT**

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

B. Moteshaffeh<sup>1</sup>, A. M. Akhond Ali<sup>2</sup>, M. R. Sharifi<sup>3\*</sup> and H. Zarei<sup>4</sup>

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 convert 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	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable										
		-51.71	-23	7.6	-40.30	-13.33	8.0	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	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable
		-57.14	-3.47	5.4	58.79	040-4	6.3	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<sup>۱</sup>، علی محمد آخوندعلی<sup>۲</sup>، محمدرضا شریفی<sup>۳</sup> و حیدر زارعی<sup>۴</sup>

- 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  $-0.13$ ،  $0.37$ ،  $0.08$  و  $2.49$ ،  $8.35$ ،  $6.41$  می‌باشد که در مقایسه با مقادیر نظیر آن‌ها  $0.57$ ،  $0.68$ ،  $0.43$ ،  $1.03$ ،  $6.96$ ،  $3.87$  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 صرف نظر 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 به‌منظور تعمیم آن به کل حوضه بود. نتایج به‌دست 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، به‌عمل 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 به‌طور 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 آب‌راهه، 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 به‌دلیل 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 یک‌پارچه 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 به‌کار 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

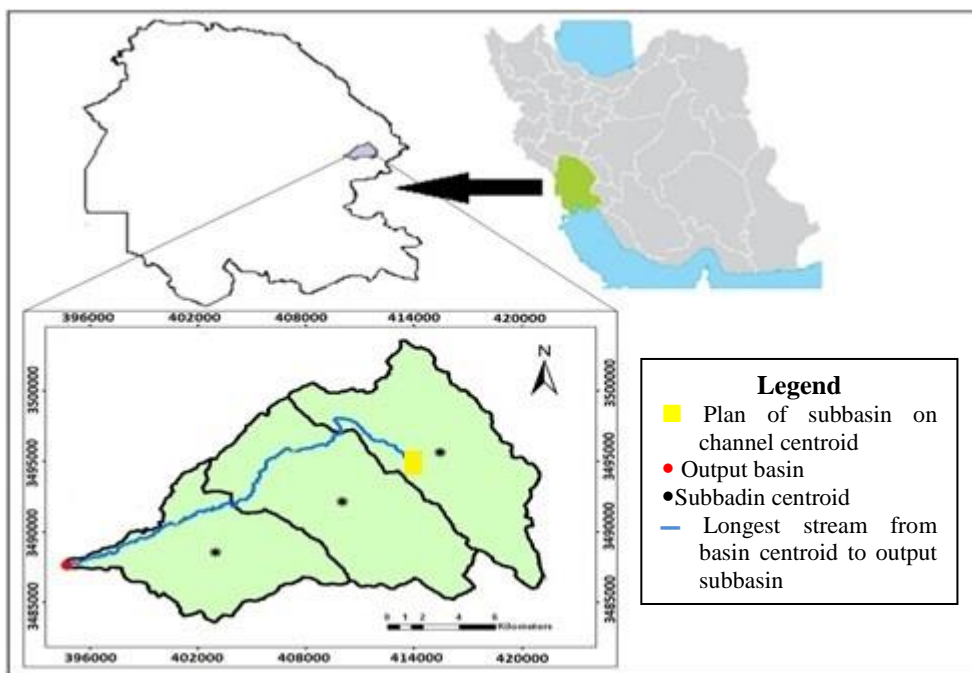


Fig. 1- Location of study area in Iran and Khuzestan  
شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران و استان خوزستان



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  
 $K =$  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 تأخیر 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  $(\varphi)$  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 تصویر 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

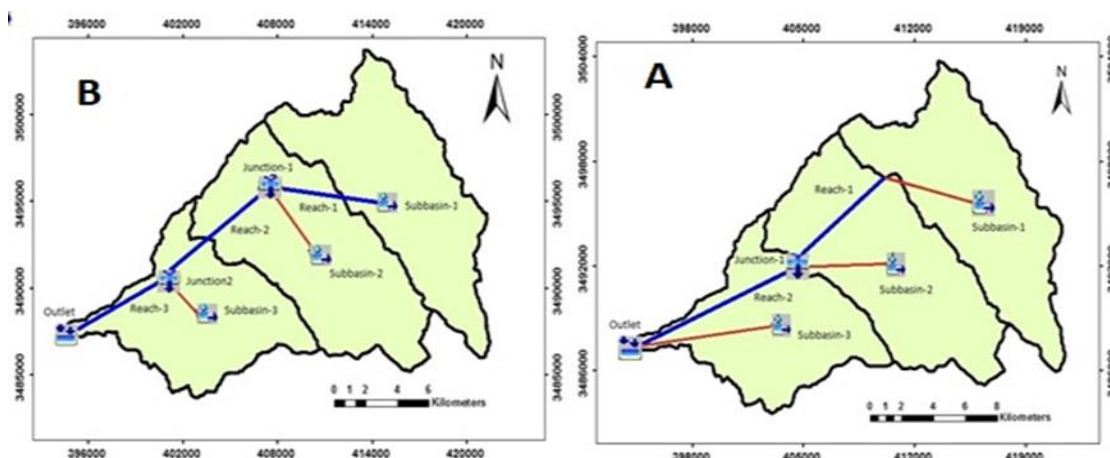


Fig. 2- Stream patterns A)- conventional B)- delayed

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 <sup>2</sup> )	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

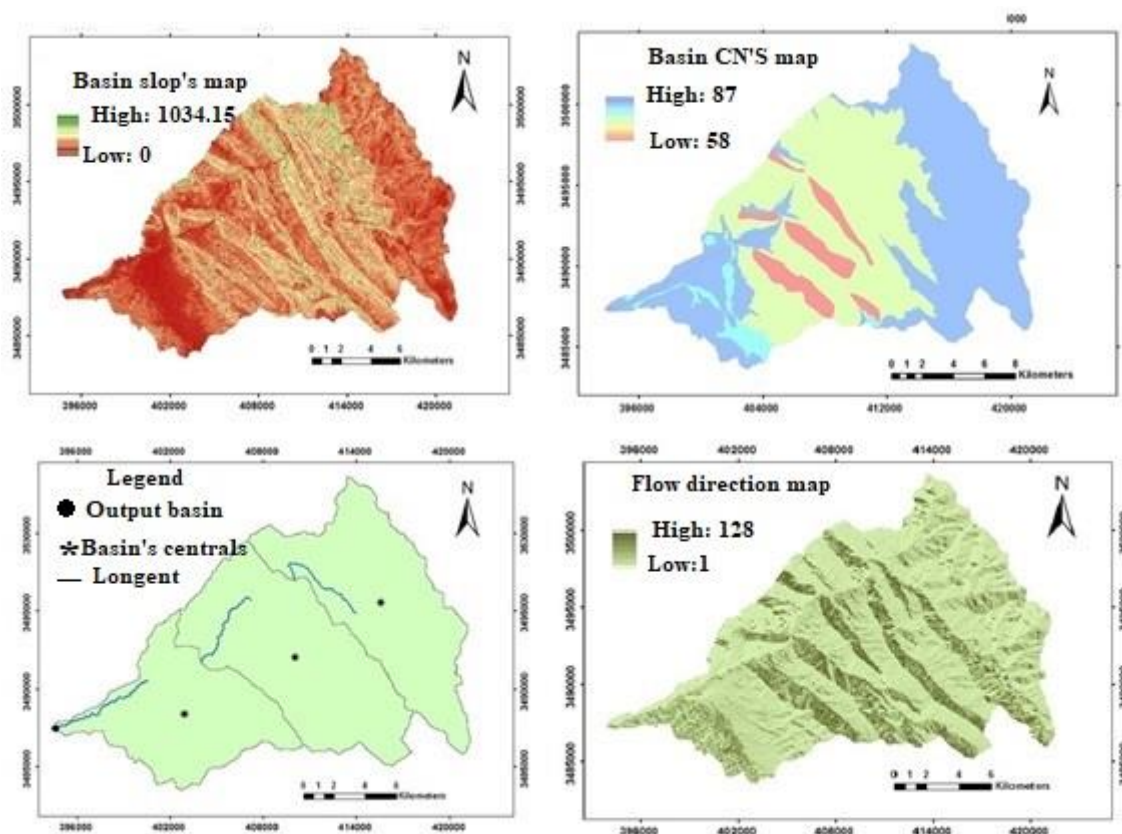


Fig. 3- Prepared layers by HEC-GEO HMS for model's run

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 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

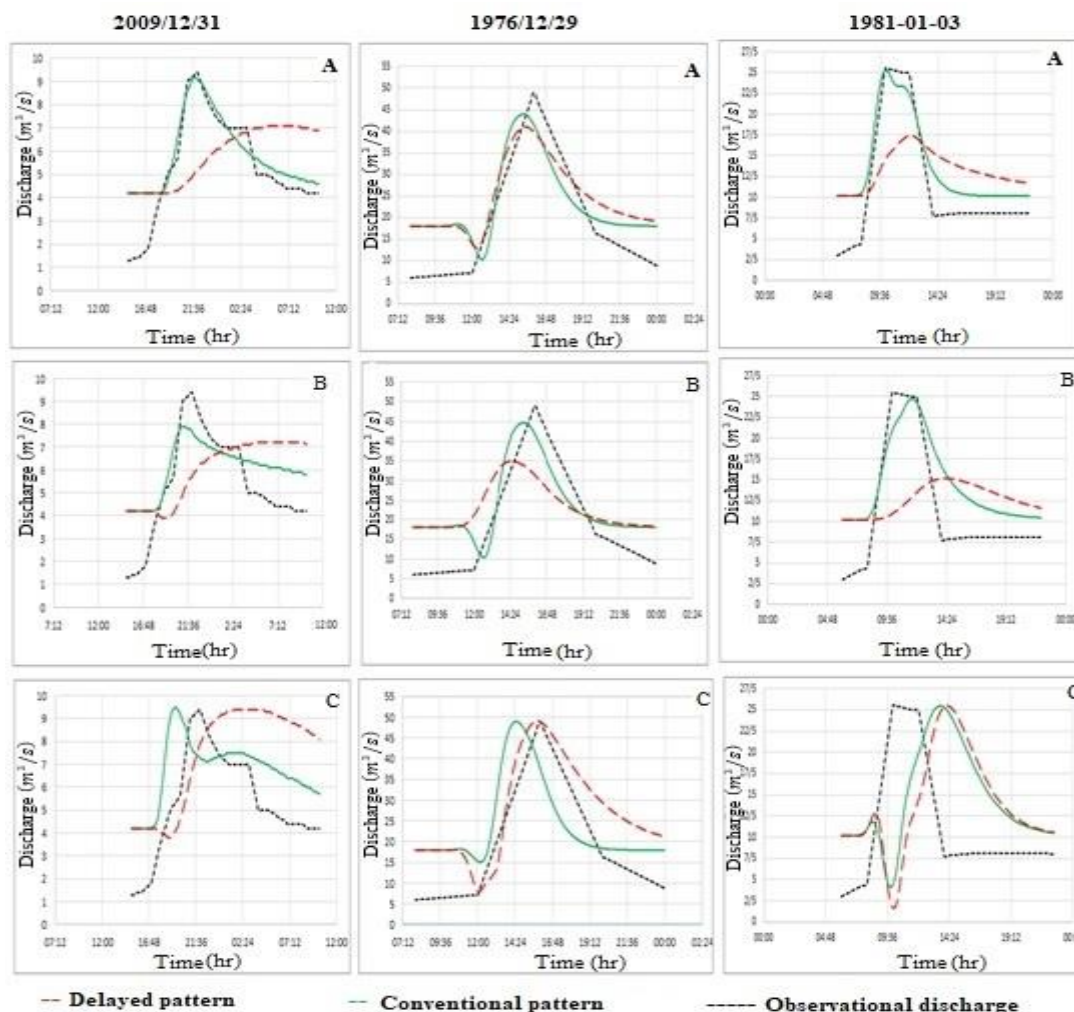


Fig. 4- Hydrograph of objective functions of conventional and delayed patterns in model calibration  
A)- PWRMS B)- Nash C)- PEP

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	-4/04	21/38	9/83	-57/79
unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable
22/9/ 58	5/4	۴/۳	6/2	5/0	5/1
unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable
	-3/47	-4/04	21/38	9/83	-2/31
	-57/14	58/79	16/14	33	-59/63
	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable	unacceptable

### 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).



**EXTENDED ABSTRACT**

**Development of Daily Rainfall Simulation Model by Using Markove Chain and Preserve Spatial Correlation  
(Case Study: Khozestan Province)**

N. Shahraki<sup>1</sup>, S. Marofi<sup>2\*</sup>, MS. Ghazanfari Moghadam<sup>3</sup>

1- Ph.D. Student of Water Sciences Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2\*- Corresponding Author, Professor of Water Sciences Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.  
([marofi@basu.ac.ir](mailto:marofi@basu.ac.ir))

3- Assistant Professor on Graduate University of advanced technology, Kerman, Iran.

**ARTICLE INFO**

*Article history:*

Received: 22 April 2018

Revised: 30 May 2019

Accepted: 1 June 2019

*Keywords:*

Wilks approach, Regional rainfall, Climate of arid moderate, Climate of semi-arid moderate.

**TO CITE THIS ARTICLE:**

Shahraki, N., Marofi, S., Ghazanfari Moghadam, M. S. (2023). 'Development of Daily Rainfall Simulation Model by Using Markove Chain and Preserve Spatial Correlation (Case Study: Khozestan Province)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(2), pp. 15-29. doi: 10.22055/jise.2019.25534.1757.

**Introduction**

Water scarcity is a big problem in many areas, especially in arid and semi-arid regions. It is rising due to the demand growth driven by increased economic activity and population growth in developing countries. Since Iran is on the world's dry belt and it has rain equivalent to 1/3 of the rain world's average, it is considered a dry country. The rain trend indicates that Iran is going to drought, so plans and measures of water resources management should be developed accordingly (Samadi Broujeni and Ebrahimi, 2010). Also rainfall in Iran is one of the main variables for assessing of water resources, but its spatial and temporal distribution is very Non-uniform. For this reason, the water resources distribution of the country is not uniform, too. Preservation and water resources management are not only a function of rainfall but also depend on the variability of rainfall. If spatial change of rainfall be small, the water resources are more homogeneity and consistency (Mirmousavi and zohrehvandi, 2011). Hence, the rainfall variations are important in assessing water resources of rivers and the relative study of local and regional water resources. Although various approaches have been proposed for modeling of rainfall, the use of single generators can not properly reproduce the spatial correlations between different meteorological variables. In this paper, was used the first-order Markov chain(MC1), the second-order Markov chain(MC2) and the third-order Markov chain(MC3) for the occurrence of daily precipitation. The Wilks method was used to simulate the occurrence of daily precipitation by preserving the spatial correlation between stations for four synoptic stations in Khozestan province of Iran, considering the importance of preserving the spatial correlation between adjacent stations in water and agricultural studies in daily scale, which has not been studied in Iran up to now.

**Methodology**

In this study 4 synoptic stations of Khozestan province of Iran which have daily 30 years rainfall dataset have been used in order to modeling occurrence of daily rainfall. The geographical and climatic characteristics of the stations are presented in Table (1). Based on extended de Martonne classification (Khalili, 1997), climates of the stations are arid moderate and semi-arid moderate. The model is made just for rainy periods. To this aim, a stochastic rainfall time series consisting of MC1, MC2 and MC3 have been used for reproducing rainfall occurrence. To detect the best order of MC models, the Akaike information criterion (AIC) has been used. After identification of the best order of MC model, due to the importance of the

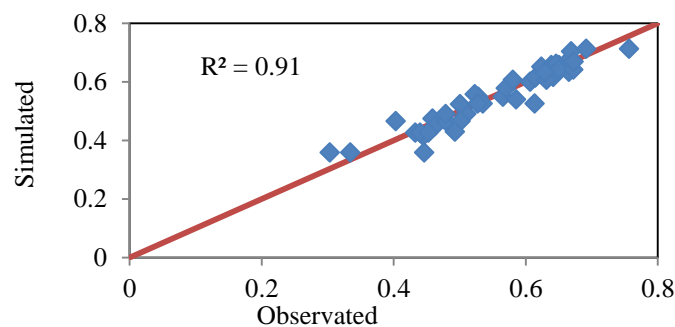
spatial correlation among the study stations, the Wilks approach has also been used for the rainfall events modeling.

**Table 1- Geographic information of the study stations**

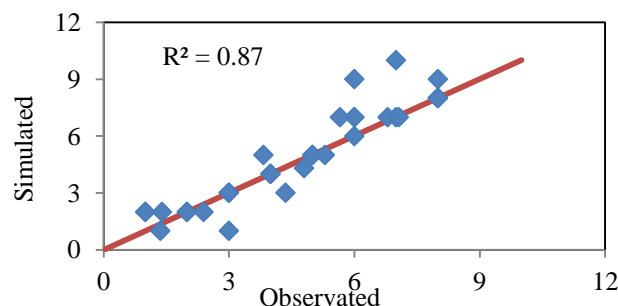
Station	UTM		Elevation from sea level (m)	Climate
	X	Y		
Ahwaz	277996	3468896	22.5	Arid moderate
Abadan	235699	3362624	6.6	Arid moderate
Omidiyeh	370802	3404521	34.9	Arid moderate
Dezful	253884	3587786	143	Semi-arid moderate

## Results and Discussion

In this study, the important characteristics had been considered related to dry and wet short periods such as simple and conditional probabilities. Wet and dry day's probabilities had been calculated using MC1, MC2 and MC3. The model order is chosen as the order that minimizes the AIC for all the stations. Based on the AIC result, MC1 had performed as the best model order to wet and dry events modeling in all of stations. Also, based on MC1, the occurrence probability of a wet day was not directly related to its rainfall amount. In all stations, the  $P_{ww}$  didn't increase with any increasing in rainfall amount. Chi-Square test indicated that in each significant level, there weren't any evidences to accept the zero hypotheses, which confirm independent of data. Therefore, the frequency of transmission states followed the two-state MC method. The results from run tests calculated using the Minitab software also showed the stationary condition of the MC. As noted, the probability of consecutive wet days and the probability of wet day were obtained using MC1. The result show, the average consecutive wet days probabilities for Ahwaz, Abadan, Omidiyeh and Dezful were 38.91, 36.37, 43.32 and 44.88%, respectively. Furthermore in these stations, the average probabilities of wet days occurrence were 13.9, 10.7, 13.5 and 17.7%, respectively. Also, The performance of the Wilks approach has verified using coefficient of determination ( $R^2$ ). The base of results from Fig. (1) and (2) indicate that this model is able to simulate the occurrence of precipitation with acceptable accuracy in the study stations.



**Fig. 1- Comparison of observation and simulation of correlation between occurrence rainfall, for all station pairs**



**Fig. 2- Comparison of observation and simulation of number wet days for all stations**

### Conclusion

The MC1, MC2 and MC3 models have been fitted to predict daily precipitation data series to identify the dry and wet spells sequences. Based on the AIC criterion, the MC1 is selected as the best model for the all stations. Based on this criterion, the average of preference MC1 compared with second and third order was 61 and 74% for all study stations, respectively. The average probability of 2 consecutive wet days ( $P_{ww}$ ) varies between 36.37 (Abadan) and 44.88% (Dezful). Also, the average probability of wet day occurrence ( $P_w$ ) changes from 10.7 (Abadan) to 17.7% (Dezful). Also, based on the  $R^2$ , the result illustrate that Wilks approach can accurately simulate the occurrence of rainfall in a regional manner.

### Acknowledgements

The authors express their special thanks and gratitude to Meteorological Organization (IRIMO) for their support in providing the daily rainfall data of the study stations for doing this research.

### References.

- 1- Khalili, A., 1997. Integrated water plan of Iran. *Meteorological studies, Ministry of power, Iran.*
- 2- Mirmousavi, H. and Zohrehvandi, H., 2011. Modeling of weekly rainfall probabilities to analyze consecutive dry days (Case to study: Nahavand Meteorological Station of Hamedan Province. *In 2the National Conference on Applied Research in Water Resources of Iran, 18-19 May, Zanjan Regional Water Authority, Zanjan, Iran.* (In Persian).
- 3- Samadi Broujeni, H. and Ebrahimi, A.S., 2010. *Drought consequences and ways to deal with it in Chaharmahal va Bakhtiari province.* Shahrekord University, pp.460. (In Persian).



## توسعه مدل شبیه‌سازی توالی بارش روزانه با استفاده از زنجیره مارکف و حفظ همبستگی مکانی (مطالعه موردی: استان خوزستان)

نادیا شهرکی<sup>۱</sup>، صفر معروفی<sup>۲\*</sup> و محمدصادق غضنفری مقدم<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. marofi@basu.ac.ir

۳- استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

بازنگری: ۱۳۹۸/۰۳/۰۹

دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲

### چکیده

یکی از راه‌حل‌های عملی در بخش کشاورزی پیش‌بینی بارندگی و پراکندگی زمانی آن است. مدیریت مناسب استفاده از آب باران و پیش‌بینی وقوع و یا عدم وقوع بارش در دوره‌های روزانه نقش بارزی در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و مدیریت منابع آب دارد. در این مطالعه به منظور مدل‌سازی بارش ۲۴ ساعته و توالی‌های مربوطه، از داده‌های بارش روزانه چهار ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان که دارای اقلیم‌های خشک معتدل، نیمه‌خشک معتدل و دوره آماری ۳۰ ساله بودند، استفاده گردید. شبیه‌سازی فقط برای ماه‌هایی صورت گرفت که در آن‌ها بارش ثبت شده، وجود داشت. بدین منظور از مدل زنجیره مارکف مرتبه‌های اول، دوم و سوم دو حالت برای محاسبات وقوع بارش استفاده گردید. برای تعیین مناسب‌ترین مرتبه مدل زنجیره مارکف از آزمون AIC استفاده شد. همچنین با توجه به اهمیت حفظ همبستگی مکانی بین ایستگاه‌های مورد بررسی، از روش ویلکس در شبیه‌سازی وقوع بارش استفاده گردید. عملکرد روش ویلکس در شبیه‌سازی وقوع بارش روزانه توسط مدل زنجیره مارکف مرتبه اول و همبستگی مکانی بین ایستگاه‌های مورد بررسی با استفاده از شاخص آماری ضریب تعیین ( $R^2$ ) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی معیار AIC نشان می‌دهد که مدل زنجیره مارکف مرتبه اول برای برآورد وقوع بارش روزانه مناسب‌ترین مدل می‌باشد. بر اساس این معیار، به‌طور متوسط برتری مدل زنجیره مارکف مرتبه اول از مرتبه دوم و سوم به ترتیب ۶۱ و ۷۴ درصد برای تمام ایستگاه‌های مطالعاتی بوده است. همچنین براساس معیار  $R^2$ ، مشخص شد که روش ویلکس قادر است با دقت قابل قبولی، وقوع بارش را به‌صورت منطقه‌ای شبیه‌سازی نماید.

کلید واژه‌ها: روش ویلکس، بارش منطقه‌ای، اقلیم خشک معتدل، اقلیم نیمه‌خشک معتدل.

### مقدمه

کمبود آب مشکل بزرگی در بسیاری از مناطق به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. کمبود آب همراه با رشد تقاضا با توجه به افزایش فعالیت‌های اقتصادی و رشد جمعیت در کشورهای در حال توسعه افزایش می‌یابد. از آن‌جا که کشور ایران بر روی کمربند خشکی جهان قرار دارد و با دارا بودن بارندگی معادل یک سوم متوسط جهانی، کشوری خشک محسوب می‌شود. روند بارندگی در ایران حاکی از آن است که این کشور به سوی خشکی پیش می‌رود و می‌بایست برنامه‌ریزی‌ها و تدابیر در مدیریت منابع آب بر این اساس پی‌ریزی شود (Samadi and Baziyarpoor, 2017). توزیع زمانی و مکانی بارش در ایران که از متغیرهای اساسی برای ارزیابی مهبایی بالقوه منابع آب می‌باشد، بسیار ناموزون است (Bakhtiari et al., 2014). به‌همین دلیل توزیع منابع آب کشور نیز یک‌نواخت نیست. حفاظت و مدیریت منابع آب ضمن این که تابعی از بارش

دریافتی است، به تغییرپذیری بارش نیز بستگی دارد. هرچه تغییرات مکانی بارش کوچکتر باشد، همگنی و یک‌دستی منابع آب بیشتر می‌شود. از سوی دیگر هرچه تغییرپذیری زمانی بارش کم‌تر باشد، منابع آب نیز با ثبات‌تر بوده و عرضه دایمی آب امکان‌پذیر می‌شود (Mirmousavi and Zohrevandi, 2011). بارش یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخه آب و انرژی در جهان است. تخمین بارندگی در مقیاس‌های زمانی و مکانی کاربرد گسترده‌ای در مطالعه‌های خشک‌سالی و مدل‌های هیدرولوژیک دارد (Nadi and Baziyarpoor, 2017). بارش یکی از سنج‌های جوی است که در ابعاد زمان و مکان تغییرات بسیار زیادی از خود نشان می‌دهد (Darand, 2016). به‌علت اثرات مهم بارش بر فرایندهای مختلف، مطالعات متفاوتی در زمینه بررسی تغییرات کمی آن انجام شده است (Salarijazi, 2017). دوره‌ای از بارندگی‌های سنگین ممکن است تأثیری متفاوت روی منابع آب،

Mouelhi et al., 2016) می‌توان اشاره کرد. استفاده از مولدهای تک‌مکانی، قادر به بازتولید مناسب همبستگی‌های مکانی موجود بین متغیرهای مختلف هواشناسی نمی‌باشند (Byung-Jin et al., 2015). چندین مدل برای شبیه‌سازی بارندگی وجود دارد از جمله می‌توان به مطالعات Goodarzi et al. (2018) اشاره کرد. آن‌ها شبیه‌سازی بارش‌های سنگین را با استفاده از مدل WRF انجام دادند. نتایج تحقیق آن‌ها بیانگر عملکرد نسبتاً مطلوب مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین است. همچنین Wilks (1998) برای شبیه‌سازی تصادفی باران روزانه در چندین ایستگاه هم‌زمان با استفاده از روش Wilks، مدل دو مرحله‌ای (زنجیره مارکف مرتبه اول برای وقوع بارندگی و تابع توزیع نمایی برای مقدار باران) را ارائه داد. این اولین روشی است که در شبیه‌سازی باران چندایستگاهی، ویژگی‌های آماری را حفظ می‌کند. این امر موجب گسترش استفاده از مولدهای چندمکانی با استفاده از روش ویلکس شده است (Srikanthan, 2005; Brissette et al., 2007; Srikanthan and Pegram, 2009; Thompson et al., 2007; Byung-Jin, et al., 2015).

در سال‌های اخیر مطالعه‌های زیادی برای مدل‌سازی مکانی و زمانی بارش در ایستگاه‌های متعدد مطرح شده است. از جمله می‌توان به مدل k- نزدیک‌ترین همسایه Apipattanavis et al (2007) مدل مارکف پنهان (Ailliot et al (2009)، Kwon et al (2009)، Khalil et al (2010) و Ghamghami et al (2016)، مدل مبتنی بر Copula، Li et al (2013) و Bardossy و pegram (2009) مدل مبتنی بر روش ویلکس و Byung-Jin, et al (2015) و Mhanna و Bauwens (2011) اشاره نمود.

در یک جمع‌بندی از مطالعه‌های انجام‌یافته نشان داده شد که گرچه روش‌های زیادی برای مدل‌سازی بارش ارائه شده است، اما استفاده از مولدهای تک‌مکانی، قادر به بازتولید مناسب همبستگی‌های مکانی موجود بین متغیرهای مختلف هواشناسی نمی‌باشند. از آن‌جا که همبستگی مکانی بین ایستگاه‌های مجاور در مطالعه‌های منابع آب و کشاورزی بسیار مهم است و شبیه‌سازی بارش را با دقت بالاتری انجام می‌دهد، در این تحقیق، از روش ویلکس با کمک مدل زنجیره مارکف برای شبیه‌سازی دقیق‌تر وقوع بارش روزانه با حفظ همبستگی مکانی در چهار ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان، استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق شبیه‌سازی وقوع بارش روزانه براساس ساختار همبستگی مکانی بارش (به‌صورت چند ایستگاهی) صورت گرفت. هدف اصلی از این تحقیق، حفظ وابستگی‌های فضایی در سری‌های شبیه‌سازی شده بوده است. زیرا وقوع بارندگی به‌خصوص بارش‌های زمستانه در ایران، بیشتر تحت تأثیر حرکات

تخلیه رودخانه و منابع آبی یک منطقه داشته باشد (Mozafari et al., 2017).

داده‌های بارندگی در مدیریت منابع آب از مهمترین ورودی‌های مدل‌های ریاضی هیدرولوژی، کشاورزی، اکولوژی و حفاظت آب و خاک می‌باشند، با این وجود اغلب بروز مشکلاتی از قبیل طول ناکافی سری‌های ثبت‌شده، عدم تایید صحت و یا عدم ثبت داده‌ها منجر به بروز پاره‌ای مشکلات و در نهایت گسترش استفاده از روش‌هایی جهت مدل‌سازی و توان پیش‌بینی داده‌ها شده است (Ghasdi et al., 2016).

مطالعه‌هایی در خصوص پیش‌بینی بارش و تولید داده‌های بارش برای ایستگاه‌های فاقد آمار صورت گرفته است، در این راستا می‌توان به تحقیقات Azhdary Moghaddam و Heravi (2018) و Hasanalizadeh et al. (2015) اشاره کرد. Hasanalizadeh et al. (2015) مدل‌سازی توأم تغییرات زمانی- مکانی بارش ماهانه در بخشی از استان گلستان را انجام دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل نمایی برای زمان و مدل کروی برای مکان به‌عنوان بهترین مدل‌ها برای مدل‌سازی توأم تغییرات زمانی- مکانی بارش ماهانه می‌باشند. از نتایج تحقیق این محققان می‌توان برای تعیین مقادیر بارندگی در مناطق بدون ایستگاه و در هر بازه زمانی استفاده کرد. Azhdary Moghaddam و Heravi (2018) در راستای افزایش کاربرد منحنی IDF مبتنی بر خواص فرکتالی، در مناطقی که دارای کمبود آمار یا فاقد آمار بارندگی بودند، مطالعه کردند. نتایج به‌دست آمده، دقت بالا و خطای بسیار کم روش مورد استفاده این محققان را نشان داده است. مولدهای تصادفی هواشناسی مدل‌های آماری هستند که با هدف شبیه‌سازی سریع و واقع‌گرایانه سری‌های تصادفی متغیرهای هیدرولوژیکی مانند دما، بارندگی و سرعت باد به کار می‌روند (Ghasdi et al., 2016). این مدل‌ها در مقیاس‌های کوچک مکانی به تولید سریع و تصادفی داده‌ها با طول زمانی مورد نظر کاربر می‌پردازند، به‌طوری‌که سری زمانی تولیدشده، مشخصه‌های آماری توزیع سری مشاهداتی را داراست. زمانی که داده‌های مشاهداتی به اندازه کافی موجود باشند، مدل‌های تصادفی قادر به تولید خواص آماری متغیرهای آب و هوا هستند. مدل‌های تصادفی ایجاد توالی بارش به آسانی ایجادشده و توسعه یافته‌اند. مدل‌های بسیاری برای تولید باران روزانه در یک ایستگاه واحد در منابع هیدرولوژی و اقلیمی موجود است (Liu et al., 2009; Ababaei et al., 2014).

در میان روش‌های آماری، مدل زنجیره‌ی مارکف در علوم هیدرولوژیکی برای مدل‌سازی بارش در سایت‌های تک‌مکانی در ابعاد ملی و بین‌المللی مورد توجه قرار گرفته است. در این زمینه به تحقیقات (Mirmousavi and Zohrehvandi, 2011; Moradi et al., 2011; Bakhtiari et al., 2014) در سطح ملی و در سطح بین‌الملل به تحقیقات (Wilks, 1999; Dastidar et al., 2010; Senthilvelan et al., 2012;

اقلیمی سیستم دومازن گسترش یافته ایستگاه دزفول دارای اقلیم نیمه‌خشک معتدل و بقیه ایستگاه‌های مطالعاتی دارای اقلیم خشک معتدل بودند.

### روش انجام کار

مدل‌سازی وقوع بارش، توسط زنجیره مارکف مرتبه‌های اول، دوم و سوم دو حالت روزهای بارانی (یک) و بدون باران (صفر) انجام گردید، به طوری که وقوع روز تر، مستقل از مقدار بارش در نظر گرفته شد. توالی بارش مشاهداتی به صورت یک توالی دوتایی (یک و صفر) که بیانگر وابستگی زمانی بین روزهای بارانی و بدون باران، نشان داده شده است. برای این منظور حد آستانه بارش ۰/۱ میلی‌متر در تعیین گردید و روزهای با بارش کمتر از آن به عنوان روز خشک در نظر گرفته شد (Bakhtiari et al., 2014). برای همبستگی مکانی بین ایستگاه‌های مجاور در این مطالعه، از روش ویلکس استفاده گردید.

جبهه‌ای و برخورد توده‌های هوا در مقیاس سینوپتیکی در یک گستره وسیع می‌باشد (Ghamghami et al., 2016). لذا مدل‌سازی مبتنی بر ساختار تک ایستگاهی، وابستگی‌های مکانی که ریشه در ساختار فیزیکی جو دارد را به درستی در نظر نمی‌گیرد (Ghamghami et al., 2016).

### مناطق و داده‌های مورد استفاده

در بررسی حاضر، از آمار بارش روزانه ماه‌های اکتبر تا ژوئن ایستگاه‌های سینوپتیک آبادان، اهواز، امیدیه و دزفول استفاده گردید. این ایستگاه‌ها دارای دوره آماری ۳۰ ساله بوده و از نظر موقعیت مکانی دارای پراکنش مناسبی می‌باشند که در حوضه آبریز کارون بزرگ قرار گرفته‌اند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول (۱) آورده شده است. همچنین موقعیت ایستگاه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. پهنه‌بندی اقلیمی این ایستگاه‌ها در سیستم دومازن (De Martonne) گسترش یافته مشخص شده است (Khalili, 1997). براساس پهنه‌بندی

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه (سایت اداره کل هواشناسی چهارمحال و بختیاری)

Table 1- Geographic information of the study stations (Chaharmahal and Bakhtiari Meteorological Administration site)

Station	UTM		Elevation from sea level (m)	Climate
	X	Y		
Ahvaz	277996	3468896	22.5	Arid moderate
Abadan	235699	3362624	6.6	Arid moderate
Omidiyeh	370802	3404521	34.9	Arid moderate
Dezful	253884	3587786	143	Semi-arid moderate

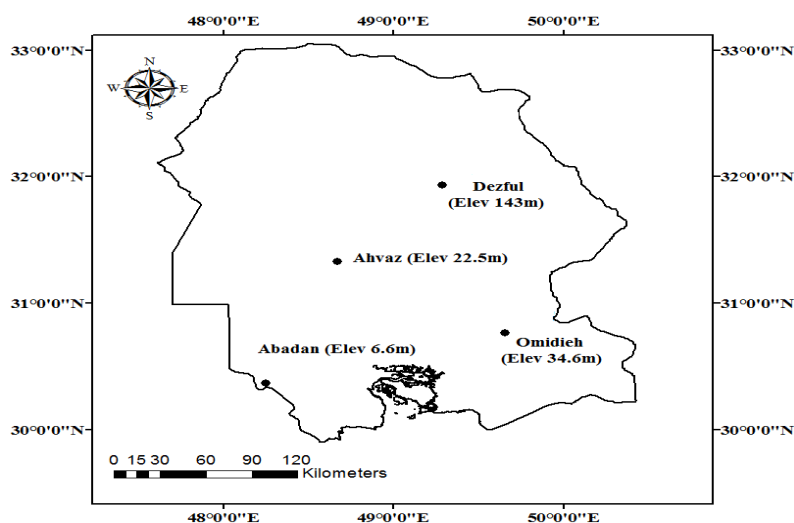


Fig. 1- Map of the synoptic stations of the study area

شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مطالعاتی

## مدل زنجیره مارکف

دوم و سوم مدل زنجیره مارکف (رابطه ۷) آزمون شد. در این رابطه  $m$  تعداد کل حالت‌ها که در این مطالعه دو حالت خشک و تر می‌باشد،  $n_{ij}$  و  $p_{ij}$  به ترتیب بیانگر فراوانی و احتمال انتقال از حالت  $i$  به حالت  $j$  هستند و  $p_j$  بیان‌کننده احتمال‌های حاشیه‌ای برای ستون  $j$ ام از ماتریس احتمالی انتقال است (Moon et al., 1994).

ایستا بودن زنجیره مارکف به این مفهوم است که وقوع بارندگی در طی دوره مورد بررسی، روند قابل ملاحظه‌ای ندارد. یعنی احتمال وقوع بارندگی در سرتاسر دوره به یک میزان است (Bakhtiari et al., 2014). در تحقیق حاضر بررسی ایستا بودن زنجیره، با استفاده از آزمون گردش (Run Test) توسط نرم-افزار Minitab انجام شد و مشخص شد داده‌های بارش روزانه همگن و تصادفی هستند.

## تعیین مناسب‌ترین مرتبه مدل زنجیره مارکف

برای تعیین مناسب‌ترین مرتبه مدل زنجیره مارکف آزمون‌های متعددی از قبیل آزمون AIC (Akaike Information Criterion) (Daniel و Tong (1975) و Akaike (1974) و آزمون BIC (Bayesian Information Criterion) (1985) و آزمون Katz (1981) و Schwarz (1978) استفاده می‌شود. در این مطالعه از آزمون AIC برای تعیین مناسب‌ترین مرتبه مدل زنجیره مارکف استفاده شد و مقدار AIC براساس مقادیر درست‌نمایی مدل زنجیره مارکف مرتبه اول ( $L_1$ )، دوم ( $L_2$ ) و سوم ( $L_3$ ) با استفاده از روابط (۸ تا ۱۰) تعیین گردید (Daniel, 1985). معیار انتخاب براساس کم‌ترین مقدار AIC صورت گرفت.

$$L_1 = \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{s-1} n_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (8)$$

$$L_2 = \sum_{h=0}^{s-1} \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{s-1} n_{hij} \ln(p_{hij}) \quad (9)$$

$$L_3 = \sum_{g=0}^{s-1} \sum_{h=0}^{s-1} \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{s-1} n_{ghij} \ln(p_{ghij}) \quad (10)$$

$$AIC(m) = -2L_m + 2s^m(s-1) \quad (11)$$

## شبیه‌سازی وقوع بارش با حفظ همبستگی مکانی

از آن‌جاکه سیل معمولاً ناشی از بارش‌های سنگین جبهه‌ای می‌باشد و می‌تواند یک منطقه وسیع از یک حوضه آبخیز را تحت تأثیر قرار دهد، لذا مدل‌سازی با استفاده از زنجیره مارکف تک مکانی برای کل حوضه می‌تواند باعث تولید کم‌برآوردی یا بیش‌برآوردی باران واقعی شده و در نتیجه برآورد غیرقابل اعتمادی را به همراه داشته باشد (Byung-Jin et al., 2015). بنابراین بهتر است از مدل شبیه‌سازی بارش چندمکانی با حفظ وابستگی فضایی استفاده شود.

در این مطالعه، از روش ویکس به منظور شبیه‌سازی وقوع بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه با حفظ همبستگی مکانی بین ایستگاه‌ها استفاده شده است. در روش ویکس از مجموعه‌ای از

زنجیره مارکف روشی ریاضی، برای مدل‌سازی فرایندهای احتمالاتی است. یک زنجیره مارکف با دو ویژگی فضای حالت ( $s$ ) و مرتبه ( $m$ ) شناخته می‌شود. اگر سیستم برای بارش روزانه تعریف شود، فضای حالت یا  $s$  در یک روز معین یکی از دو وضعیت  $w$  و یا  $d$  خواهد بود که در آن  $d$  نشان‌دهنده روز خشک و  $w$  نشان‌دهنده روز تر است. مرتبه زنجیره مارکف مشخص می‌کند که حالت فعلی یک سیستم به چند حالت قبلی آن وابستگی دارد (Rahimi et al., 2011). از این روی زنجیره مارکف مرتبه  $m$  با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید (Daniel, 1985).

$$P_r\{X_{t+1}|X_t, X_{t-1}, \dots, X_1\} = P_r\{X_{t+1}|X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-m}\} \quad (1)$$

احتمال انتقال (احتمال شرطی) مدل زنجیره مارکف مرتبه  $m$  با استفاده از رابطه (۲) تعیین می‌گردد (Daniel, 1985).

$$P_{h...ijk} = \{X_{t+1} = k | X_t = j, X_{t-1} = i, \dots, X_{t-m} = h\} \quad (2)$$

این احتمال هم‌چنین براساس فراوانی شرطی، با استفاده از رابطه (۳) به دست می‌آید (Daniel, 1985).

$$P_{h...ij} = \frac{n_{h...ij}}{n_{h...i+}} \quad (3)$$

از آن‌جایی که مقدار سری‌های زمانی در زمان  $t-(m-1)$  برابر با  $x_{t-(m-1)} = h$  و در زمان  $t$  برابر  $x_t = i$  بوده است، احتمال این‌که وقوع بارش در زمان  $t+1$  برابر با  $j$  باشد،  $p_{h...ij}$  است.

احتمال‌های ساده وقوع روزهای بارانی و خشک از رابطه‌های (۴) و (۵) به دست می‌آید (Mandal et al., 2015).

$$p_d = \frac{n_d}{n} \quad (4)$$

$$p_w = \frac{n_w}{n} \quad (5)$$

که در آن  $p_d$  (یا  $p_w$ ) احتمال ساده وقوع روز خشک یا تر،  $n_d$  (یا  $n_w$ ) تعداد دفعات خشک یا تر بودن روز مورد نظر و  $n$  تعداد سال‌های مورد بررسی است.

## آزمون بررسی خصوصیات مدل زنجیره مارکف

استقلال یا وابستگی روزهای بارانی به یک‌دیگر با استفاده از روابط (۶) و (۷) به دست می‌آید (Moon et al., 1994).

$$\alpha = 2 \sum_{i,j}^m n_{ij} \ln\left(\frac{p_{ij}}{p_j}\right) \quad (6)$$

$$p_j = \sum_{i=0}^m n_{ij} / \sum_{i,j}^m n_{ij} \quad (7)$$

نتیجه حاصل از رابطه (۶)، با توزیع  $\chi^2$  (Chi-Square) در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ و درجه آزادی  $(m-1)$  برای مرتبه‌های اول،

آن‌ها حفظ شده است، برای تولید سری زمانی وقوع بارش در یک ایستگاه مشخص استفاده شد. بدین صورت که این اعداد با احتمال‌های شرطی  $P_{wd}$  و  $P_{dd}$ ، الگوی روز بارانی (وقوع و یا عدم وقوع بارش) را با توجه به وضعیت بارش در روز قبل (بارانی بودن یا خشک بودن روز قبل) مقایسه و تعیین می‌کنند. ابتدا احتمال یک حد بحرانی یا  $P_c$  (احتمال وقوع احتمال وقوع یک روز خشک مشروط بر این که روز قبل از آن نیز خشک باشد " $P_{dd}$ " و احتمال وقوع یک روز خشک مشروط بر این که روز قبل از آن بارانی باشد " $P_{wd}$ ") با استفاده از رابطه (۱۵) با فرض خشک بودن روز اول در شبیه‌سازی به‌دست آمد. سپس الگوی روز بارانی با استفاده از  $P_c$  و توسط رابطه (۱۶) محاسبه گردید. (Brissette et al., 2007).

$$P_c = \begin{cases} P_{dd} & \text{if } X_{t-1} = 0 \\ P_{wd} & \text{if } X_{t-1} = 1 \end{cases} \quad (15)$$

$$X_t = \begin{cases} 0 & \text{if } U_t \leq P_c \\ 1 & \text{سایر موارد} \end{cases} \quad (16)$$

مشکلی که در تولید وقوع بارش وجود دارد این است که رخدادهای تولیدشده، همبستگی کم‌تری نسبت به مقادیر مشاهداتی دارند. به عبارت دیگر به منظور تولید وقوع بارش با همبستگی یکسان با مقادیر مشاهداتی، لازم است از اعداد تصادفی که همبستگی بیشتری از وقوع بارش دارند، استفاده شود (Brissette et al., 2007). در این پژوهش برای رسیدن به این هدف، از روش سعی و خطا برای دستیابی به تابع هدف رابطه (۱۷) که مقدار حداقل خطا برای تخمین وقوع بارش تعیین می‌کند، استفاده شده است.

$$f = \sum_{ij=1}^n |C_{X,obs} - C_{X,syn}| \quad (17)$$

که  $n$  تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک،  $C_{X,obs}$  و  $C_{X,syn}$  به‌ترتیب ماتریس همبستگی مشاهداتی و وقایع مصنوعی وقوع بارش می‌باشند (Byung-Jin et al., 2015). تمام مراحل محاسباتی در قسمت شبیه‌سازی وقوع بارش با حفظ همبستگی مکانی توسط برنامه‌ای که تحت نرم‌افزار 13 MATLAB نوشته شده است، انجام گردید.

#### ارزیابی روش ویلکس

به‌منظور ارزیابی عملکرد روش ویلکس، شاخص آماری ضریب تعیین ( $R^2$ ) (Coefficient of Determination) براساس روابط (۱۸) استفاده شده است (Ababaei et al., 2014).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (18)$$

اعداد تصادفی مستقل به‌منظور تولید وقوع بارش در یک ایستگاه خاص استفاده می‌شود. اساس رویکرد ویلکس توسط ماتریس همبستگی ( $C$ ) وقوع بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک که توسط رابطه (۱۲) نشان داده شده است، بیان شده است (Brissette et al., 2007).

$$C = \begin{bmatrix} 1 & r_{1,2} & \dots & r_{1,n-1} & r_{1,n} \\ r_{2,1} & 1 & \dots & r_{2,n-1} & r_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ r_{n-1,1} & r_{n-1,2} & \dots & 1 & r_{n-2,n} \\ r_{n,1} & r_{n,2} & \dots & r_{n,n-1} & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

که  $n$  تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک می‌باشد.

در روش ویلکس برای شبیه‌سازی‌های استوکاستیکی سری‌های  $X_t$  از مولد اعداد تصادفی که در آن اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت ( $U_t(k)$ ) تولید می‌شود، استفاده می‌گردد. در این‌جا نمی‌توان اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت را مستقیماً تولید کرد، زیرا برای حفظ کردن ویژگی ماتریس همبستگی مکانی ایستگاه‌ها، جواب منحصر به‌فردی برای چنین اعداد تصادفی وجود ندارد (Mhanna and Bauwens, 2011). در چنین شرایطی در ابتدا باید اعداد تصادفی نرمال استاندارد ( $W_t(k) \sim N(0,1)$ ) را تولید (Wilks 1998) و Mhanna و Bauwens (2011) و سپس آن‌ها را با استفاده از رابطه (۱۳) به متغیرهای یکنواخت تبدیل کرد (Mhanna and Bauwens, 2011).

$$U_t = \Phi[W_t(k)] \quad (13)$$

که در آن  $\Phi[\bullet]$  تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است.

روش‌های متعددی برای ایجاد همبستگی تصادفی وجود دارد که روش تجزیه ماتریس، آسان‌ترین روش در این زمینه است. ماتریس  $W_t$  از حاصل‌ضرب ماتریس پایین مثلثی ( $R'$ ) حاصل از تجزیه چولسکی ماتریس همبستگی  $C$  با ماتریس  $[n,m]$  اعداد تصادفی نرمال  $N$  با استفاده از رابطه (۱۴) به‌دست می‌آید (Brissette et al., 2007).

$$W_t = \begin{bmatrix} R'_{1,1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ R'_{2,1} & R'_{2,2} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ R'_{n-1,1} & R'_{n-1,2} & \dots & R'_{n-1,n-1} & 0 \\ R'_{n,1} & R'_{n,2} & \dots & R'_{n,n-1} & R'_{n,n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} N_{1,1} & N_{1,2} & \dots & N_{1,m-1} & N_{1,m} \\ N_{2,1} & N_{2,2} & \dots & N_{2,m-1} & N_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ N_{n-1,1} & N_{n-1,2} & \dots & N_{n-1,m-1} & N_{n-1,m} \\ N_{n,1} & N_{n,2} & \dots & N_{n,m-1} & N_{n,m} \end{bmatrix} \quad (14)$$

که  $n$  تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک و  $m$  تعداد روزهای هر ماه می‌باشد. بنابراین هر مجموعه‌ای از اعداد تصادفی که توالی آن‌ها مستقل بوده و ساختار همبستگی مکانی وقوع بارش ایستگاه‌ها در



انجام کار این پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.

که O و P به ترتیب مقادیر مشاهداتی و مصنوعی،  $\bar{O}$  میانگین مقادیر مشاهداتی و n تعداد داده در هر یک از سری‌ها است. مراحل

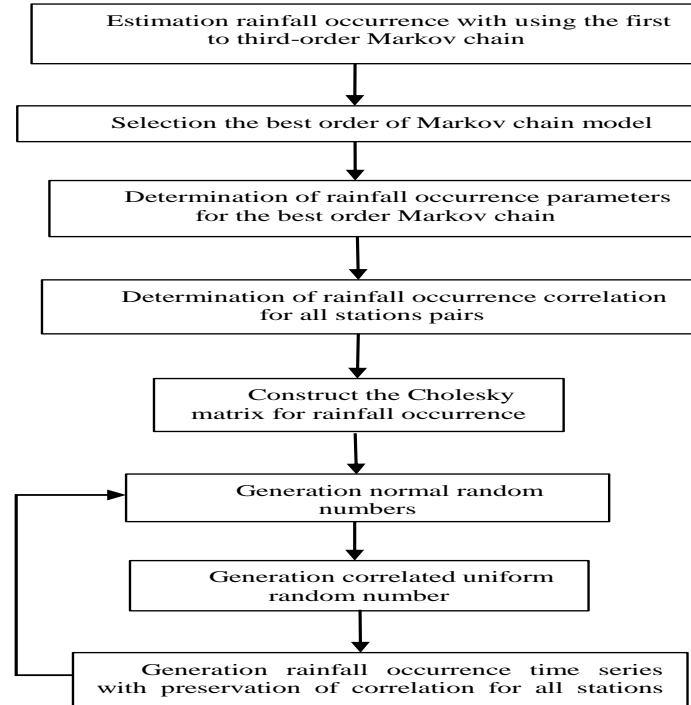


Fig. 2- Steps of work process

شکل ۲- مراحل انجام کار

جدول ۲- نتایج انتخاب مرتبه مدل زنجیره مارکف روزانه بر مبنای AIC

Table 2- Result of the choices daily Markov chain model-orders based the on the AIC

Ahvaz			Abadan			Omidieh			Dezful		
First	Second	Third	First	Second	Third	First	Second	Third	First	Second	Third
27.35	30.31	33.22	22.60	26.60	34.35	33.63	33.86	36.45	35.95	35.65	35.07
34.29	38.28	40.43	22.84	26.09	29.59	38.63	40.45	43.06	33.86	35.10	32.56
37.65	41.62	33.99	33.69	36.38	39.05	33.86	35.25	35.52	39.31	39.21	33.99
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22.08	25.76	29.40	16.98	20.81	24.04	7.82	11.82	16.00	30.19	32.92	28.32
22.60	24.71	27.00	16.98	20.22	28.05	21.18	25.03	29.94	30.99	31.84	35.66
16.37	19.09	16.00	12.63	16.40	27.09	22.08	22.10	29.94	24.67	26.75	28.06
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
17.94	19.00	23.84	12.55	16.40	19.82	4.00	8.00	16.00	22.60	26.21	28.56
26.97	30.82	33.53	18.56	22.10	29.77	27.56	29.98	37.63	30.47	34.13	32.57
31.87	35.17	37.41	25.84	29.61	34.08	37.64	41.64	44.06	38.28	38.90	42.31

## نتایج و بحث

همچنین نتایج آزمون گردش توسط نرم‌افزار Minitab ایستایی بودن زنجیره را نشان می‌دهد.

از نتایج دیگر این تحقیق به دست آوردن احتمال روزهای خشک متوالی و نیز احتمال اقلیمی روز خشک در هر یک از ایستگاه‌ها است. میانگین احتمال روزهای تر متوالی در ایستگاه‌های اهواز، آبادان، امیدیه و دزفول به ترتیب ۳۸/۹۱، ۳۶/۳۷، ۴۳/۳۲ و ۴۴/۸۸ درصد می‌باشد. همچنین میانگین احتمال اقلیمی روز تر در این ایستگاه‌ها به ترتیب ۱۳/۹، ۱۰/۷، ۱۳/۵۴ و ۱۷/۷ درصد می‌باشد. احتمالات شرطی و ساده روزهای خشک و تر برای فصل بارش در جدول (۳) آورده شده است (به دلیل بالا بودن حجم جداول از ارائه تمام جداول خودداری شده و فقط جدول مربوط به ایستگاه سینوپتیک اهواز به عنوان نمونه آورده شده است). همچنین احتمالات شرطی و ساده روزهای تر برای تمام ایستگاه‌ها در شکل (۳) آورده شده است.

نتایج شکل‌های (۴) و (۵) بیان‌گر آن است که روش ویلکس قادر است با دقت قابل قبولی وقوع بارش را در ایستگاه‌های مورد مطالعه شبیه‌سازی نماید. عملکرد روش ویلکس در شبیه‌سازی وقوع بارش روزانه با کمک مدل زنجیره مارکف مرتبه اول و حفظ همبستگی مکانی بین ایستگاه‌های مجاور، توسط پراکندگی داده‌های تعداد روزهای بارانی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در هر ماه و همچنین پراکندگی همبستگی وقوع بارش بین تمام جفت ایستگاه‌های مطالعاتی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در ماه‌های بارانی اطراف خط یک به یک و شاخص آماری  $R^2$  مورد ارزیابی قرار گرفت.

در این تحقیق، به منظور مطالعه مدل‌سازی توالی بارش روزانه با حفظ همبستگی مکانی، ویژگی‌های مهم مرتبط با دوره‌های تر و خشک کوتاه‌مدت همچون احتمالات ساده و شرطی به دست آورده شده است. احتمال روزهای خشک و تر با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول، دوم و سوم برای چهار ایستگاه هواشناسی استان خوزستان محاسبه گردید که مدل زنجیره مارکف مرتبه اول برای تمام ایستگاه‌ها انتخاب گردید. انتخاب مرتبه مدل زنجیره مارکف براساس کمترین مقدار معیار AIC صورت گرفت. نتیجه معیار AIC برای ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول (۲) ارائه شده است. براساس این معیار، مدل زنجیره مارکف مرتبه اول برای همه ایستگاه‌ها بهتر از مرتبه دوم و سوم بوده است. نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعات قبلی که استفاده از مارکف مرتبه اول برای وقوع بارش روزانه گزارش نمودند، مطابقت دارد (Schoof and Pryor, 2008).

نتایج نشان داد که در میان ایستگاه‌ها، احتمال وقوع یک روز تر (بر اساس مدل زنجیره مارکف مرتبه اول) ارتباط مستقیمی با مقدار بارش در آن روز را ندارد. در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی با افزایش میزان بارندگی، احتمال شرطی  $P_{ww}$  نیز افزایش نمی‌یابد. بر اساس توزیع کای دو مشخص گردید که در هر سطح دل‌خواه، شواهد کافی برای پذیرش فرض صفر (استقلال داده‌ها و عدم پیروی از زنجیره مارکف دو حالتی) وجود ندارد. از این‌روی، فراوانی حالات انتقال از زنجیره مارکف دو حالتی پیروی می‌کند.

جدول ۳- احتمالات ساده و شرطی وقوع روزهای تر و خشک ایستگاه اهواز

Table 3- Simple and conditional probabilities of dry and wet days of Ahvaz station

Day	Conditional probability				Simple probability	
	$P_{ww}$	$P_{wd}$	$P_{dw}$	$P_{dd}$	$P_w$	$P_d$
1	0.20	0.80	0.12	0.88	0.14	0.86
2	0.00	1.00	0.27	0.73	0.30	0.70
3	0.57	0.43	0.22	0.78	0.23	0.77
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
121	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
122	0.50	0.50	0.00	1.00	0.00	1.00
123	0.50	0.50	0.00	1.00	0.00	1.00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
241	0.00	1.00	0.08	0.92	0.07	0.92
242	0.00	1.00	0.14	0.86	0.13	0.87
243	0.50	0.50	0.15	0.85	0.20	0.80

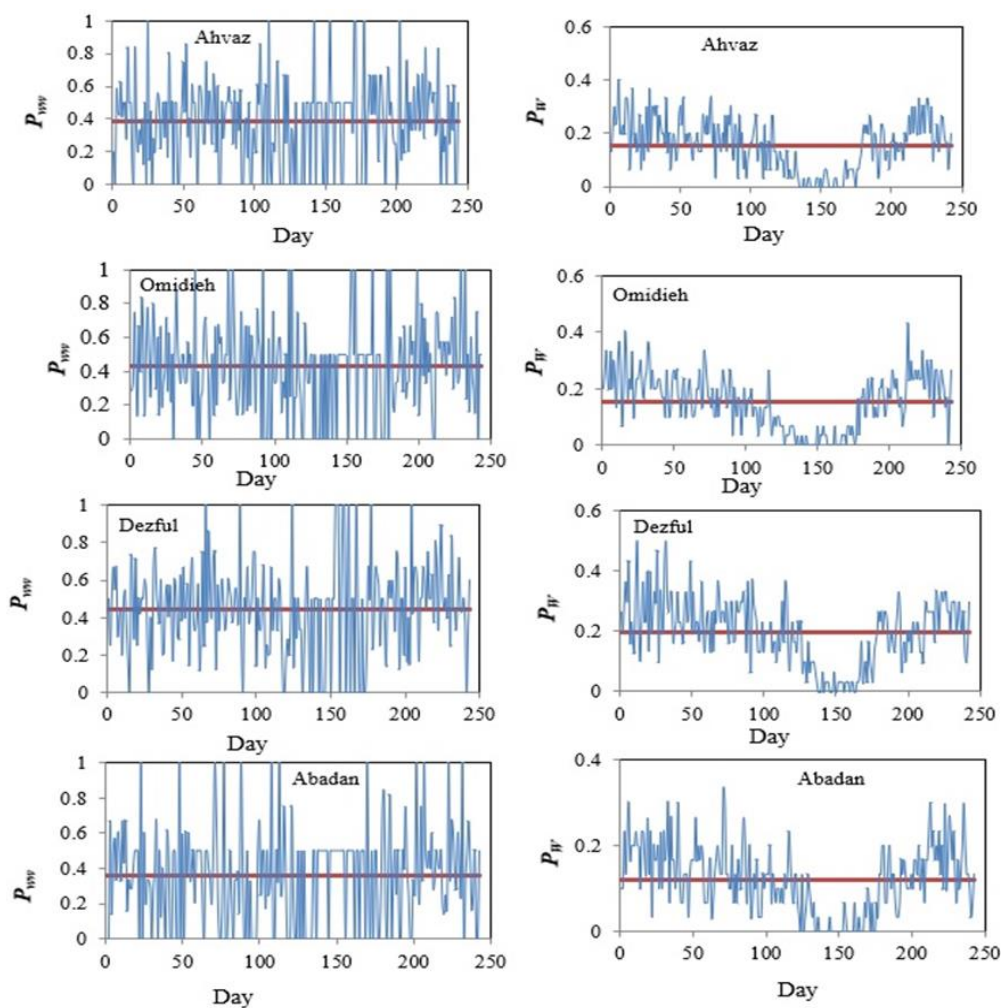


Fig.3- Simple and conditional probabilities of dry days for study stations

شکل ۳- احتمالات ساده و شرطی وقوع روزهای تر در ایستگاههای مطالعاتی

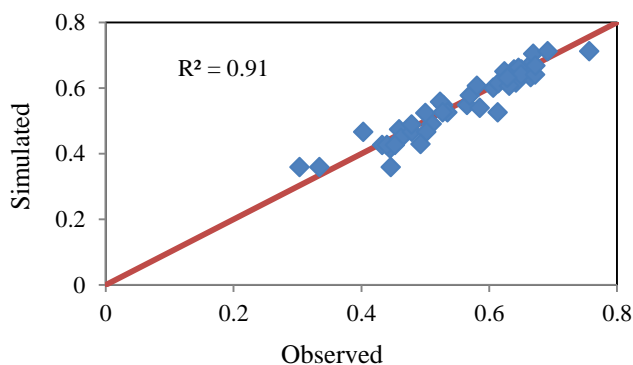


Fig. 4- Comparison of observation and simulation of correlation between occurrence rainfall, for all station pairs

شکل ۴- مقایسه همبستگی وقوع بارش مشاهداتی و شبیه سازی برای تمام جفت ایستگاهها

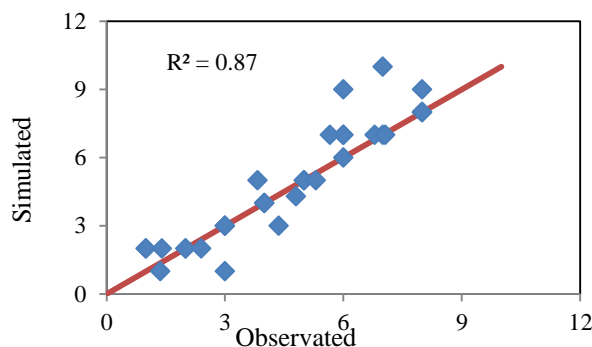


Fig. 5- Comparison of observation and simulation of number wet days for all stations

شکل ۵- مقایسه تعداد روزهای بارانی مشاهداتی و شبیه‌سازی برای تمام ایستگاه‌ها

ایستگاه‌ها است. میانگین احتمال روزهای تر متوالی در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۳۶/۳۷ (آبادان) تا ۴۴/۸۸ درصد (دزفول) متغیر می‌باشد. همچنین تغییرات میانگین احتمال اقلیمی روز تر در ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۱۰/۷ (آبادان) تا ۱۷/۷ درصد (دزفول) است. همچنین نتایج حاصل از روش ویلکس با کمک مدل زنجیره مارکف توسط پراکنندگی داده‌های مربوط به تعداد روزهای بارانی در هر ماه و همبستگی داده‌های وقوع بارش هر جفت ایستگاه برای مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در اطراف خط یک به یک و نتایج معیار  $R^2$  نشان داد که روش ارائه شده در این تحقیق قادر است با دقت بالایی وقوع بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه را شبیه‌سازی نماید.

#### تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت و کمک سازمان هواشناسی کشور به‌منظور ارائه داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های مطالعاتی برای انجام این تحقیق تشکر نمایند.

#### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ویژگی‌های دوره‌های تر و خشک بارش روزانه چهار ایستگاه سینوپتیک در استان خوزستان که دارای اقلیم‌های خشک معتدل و نیمه‌خشک معتدل بودند، با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول، دوم و سوم مورد بررسی قرار گرفت. حد آستانه ۰/۱ میلی‌متر به‌عنوان شاخصی از وقوع بارش در نظر گرفته شد و روزهای با بارش کمتر از ۰/۱ میلی‌متر به‌عنوان روز خشک در محاسبات محسوب گردید. براساس معیار AIC مشخص شد که مدل زنجیره مارکف مرتبه اول برای برآورد وقوع بارش روزانه مناسب‌ترین الگو می‌باشد. براساس این معیار، به‌طور متوسط برتری مدل زنجیره مارکف مرتبه اول نسبت به مرتبه دوم و سوم به‌ترتیب ۶۱ و ۷۴ درصد برای تمام ایستگاه‌های مطالعاتی بوده است. با توجه به نتایج حاصل از معیار AIC، از پارامترهای مدل زنجیره مارکف مرتبه اول در شبیه‌سازی وقوع بارش با حفظ همبستگی مکانی استفاده شد.

از نتایج دیگر این تحقیق به‌دست آوردن احتمال روزهای خشک متوالی و نیز احتمال اقلیمی روز خشک در هر یک از

#### References

- 1- Ababaei, B., Mirzaei, F. and Sohrabi, T., 2014. Developing a Weather Generator Model to Preserve Spatial Correlations between Neighboring Stations. *Water and Soil Science*, 25(1), pp.181-192. (In Persian).
- 2- Ailliot, P., Thompson, C. and Thomson, P., 2009. Space-time modelling of precipitation by using a hidden Markov model and censored Gaussian distributions. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 58, pp.405-426.
- 3- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19, pp.716-723.
- 4- Apipattanavis, S., Podesta, G., Rajagopalan, B. and Katz, R.W., 2007. A semiparametric multivariate and multisite weather generator. *Water Resource Research*, 43 (11), pp. 1-19.
- 5- Azhdary Moghaddam, M. and Heravi, Z., 2018. Evaluation of IDF curve production methods by relationship based on nature of combination of fractal of precipitation. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(6), pp.271-282. (In Persian).

- 6- Bakhtiari, B., Shahraki, N. and Ahmadi, M.M., 2014. Estimation probability of daily precipitation by using Markov chain models in different climates of Iran. *Iran-Water Resources Research*, 2, pp.44-55. (In Persian).
- 7- Bardossy, A. and Pegram, G.G.S., 2009. Copula based multisite model for daily precipitation simulation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13 (12), pp.2299–2314.
- 8- Brissette, F.P., Khalili, M. and Leconte, R., 2007. Efficient stochastic generation of multi-site synthetic precipitation data. *Journal of Hydrology*, 345, pp.121–133.
- 9- Byung-Jin, S., Hyun-Han, K., Dongkyun, k. and Seung, O.L., 2015. Modeling of daily rainfall sequence and extremes based on a semiparametric Pareto tail approach at multiple locations. *Journal of Hydrology*, 529, pp.1442-1450.
- 10- Daniel, S., 1985. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Dep of soil, Crop and Atmospheric Sciences*. ITHACA, Cornell Univ, New Yourk.
- 11- Darand, M., 2016. Recognition of precipitation homogeny regions of in Iran based on Aphrodite Data Base. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(2), pp.99-114. (In Persian).
- 12- Dastidar, A.G., Gosh, D. and Dasgupta, S., 2010 Higher order Markov chain models for monsoo rainfall over west Bengal, India. *Indian Journal of Radio & Space Physics*, 39, pp.39-44.
- 13- Ghamghami, m., Ghahraman, N. and Bazrafshan, J., 2016. Spatial-temporal modeling of occurrence and amount of winter rainfall using hidden Markov model. *Journal of watershed management research*, 6 (12), pp.139 – 153.
- 14- Ghasdi, T., Ghahreman, N. and Ghamghami, M., 2016. Comparison of performance of two spatial-temporal approaches for daily rainfall simulation across Iran. *Iran-Water Resources Research*, 12(1), pp.158-170. (In Persian).
- 15- Goodarzi, L., Banihabib, M.E. and Ghafarian, P., 2018. Evaluation of the WRF model performance for heavy rainfall simulation a case study of the Kan basin in Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(1), pp.229-242. (In Persian).
- 16- Hasanalizadeh, N., Mosaedi, A., Zahiri, A.R. and Hosseinalizadeh, M., 2015. Modeling Spatio-temporal variation of monthly precipitation (Case Study: Golestan province). *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(1), pp.251-269. (In Persian).
- 17- Katz, R.W., 1981. On some criteria for estimating the order of a Markov chain. *Technometrics*, 23, pp.243–249.
- 18- Khalil, A.F., Kwon, H.H., Lall, U. and Kaheil, Y.H., 2010. Predictive downscaling based on non-homogeneous hidden Markov models. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (3), pp.333–350.
- 19- Khalili, A., 1997. Integrated water plan of Iran. *Meteorological studies, Ministry of power, Iran*.
- 20- Kwon, H.H., Lall, U. and Obeysekera, J., 2009. Simulation of daily rainfall scenarios with interannual and multidecadal climate cycles for South Florida. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23 (7), pp.879–896.
- 21- Li, C., Singh, V.P. and Mishra, A.K., 2013. A bivariate mixed distribution with a heavytailed component and its application to single-site daily rainfall simulation. *Water Resource Research*, 49 (2), pp.767–789.
- 22- Liu, J., Williams, J.R., Wang, X. and Yang, H., 2009. Using MODAWEC to generate daily weather data for the EPIC model. *Environmental Modelling & Software*, 24, pp. 655–664.

- 23- Mandal, K.G., Padhi, J., Kumar, A., Ghosh, S., Panda, D.K., Mohanty, R.K. and Raychaudhuri, M., 2015. Analyses of rainfall using probability distribution and Markov chain models for crop planning in Daspalla region in Odisha, India. *Theoretical applied and climatology*, 121, pp.517-528.
- 24- Mhanna, M. and Bauwens, W., 2011. A stochastic space-time model for the generation of daily rainfall in the Gaza Strip. *International Journal of Climatology*, pp.1-15.
- 25- Mirmousavi, H. and Zohrehvandi, H., 2011. Modeling of weekly rainfall probabilities to analyze consecutive dry days (Case to study: Nahavand Meteorological Station of Hamedan Province. In *2the National Conference on Applied Research in Water Resources of Iran, 18-19 May, Zanjan Regional Water Authority, Zanjan, Iran*. (In Persian).
- 26- Moon, S.E., Ryoo, S.B. and Kwon, J.G., 1994. A Markov Chain Model for Daily Precipitation Occurrence in South Korea. *International Journal of Climatology*, 14, pp.1009-1016.
- 27- Moradi, H.R., Rajabi, M. and faragzade, M., 2011. Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran. *CATENA*, 84, pp.35-46.
- 28- Mouelhi, S., Nemri, S., Jebari, s. and Slimani, M., 2016. Using the Markov chain for the generation of monthly rainfall series in a semi-arid zone. *Open Journal of Modern Hydrology*, 6, pp.51-65.
- 29- Mozafari, Gh.A., Mazidi, A. and Shafie, Sh., 2017. Analysis and determining the threshold of extreme precipitation of Western Iran through using general extreme value distribution. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(2), pp.107-125. (In Persian).
- 30- Nadi, M. and Baziyarpoor, h., 2017. Evaluation and modification of Aphrodite daily precipitation network in Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), pp.273-286. (In Persian).
- 31- Rahimi, J., Ghahreman, N. and Rahimi, A., 2011. Markov chain model probability of dry, wet weeks and statistical analysis of weekly rainfall for Agricultural Planning at Varamin plain. In *1the National Conference on agrometeorology and agricultural water management, 22-23 november, Tehran university, Iran*. (In Persian).
- 32- Salarijazi, M., 2017. Determination of distributional changes of annual rainfall in some semi-northern stations in Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), pp.143-159. (In Persian).
- 33- Samadi Broujeni, H. and Ebrahimi, A.S., 2010. *Drought consequences and ways to deal with it in Chaharmahal va Bakhtiari province*. Shahrekord University, pp.460. (In Persian).
- 34- Schoof, J.T. and Pryor, S.C., 2008 On the proper order of Markov chain model for daily precipitation occurrence in the Contiguous United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, pp.2477-248.
- 35- Schwarz, G., 1978. Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 6, pp. 461–464.
- 36- Senthilvelan, A., Ganesh, A. and Banukumar, K., 2012. Markov Chain Model for Probability of Weekly Rainfall in Orathanadu Taluk, Thanjavur District, Tamil Nadu. *International Journal Geomatics and Geosciences*, 3(1), pp.191-203.
- 37- Srikanthan, R. and Pegram, G.G.S., 2009. A nested multisite daily rainfall stochastic generation model. *Journal of Hydrology*, 371, pp.142–153.
- 38- Srikanthan, R., 2005. Stochastic generation of daily rainfall data at a number of sites. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. *Technical Rep. 05/7*.
- 39- Thompson, C.S., Thompson, P.J. and Zheng, X., 2007. Fitting a multisite daily rainfall model to New Zealand data. *Journal of Hydrology*, 340, pp.25-39.

- 
- 40- Tong, H., 1975. Determination of the order of a Markov chain by Akaike's Information Criterion. *Journal of Applied Probability*, 12, pp.488-497.
- 41- Wilks, D.S., 1998. Multisite generalization of a daily stochastic precipitation generation model. *Journal of Hydrology*, 210, pp.178-191.
- 42- Wilks, D.S., 1999. Interannual variability and extreme-value characteristics of several stochastic daily precipitation models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 93 (3), pp.153- 169.
- 43- [www.chaharmahalmet.ir](http://www.chaharmahalmet.ir)





**EXTENDED ABSTRACT**

**Numerical and Experimental Study of Transient Flow Properties in Viscoelastic Pipe Network Using Inverse Analysis**

P. Chahardah-Cheriki Gholizadeh<sup>1</sup>, M. Fathi-Moghadam<sup>2\*</sup> and S. Haghhighipour<sup>3</sup>

1- PhD Student of Hydraulic Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2\* - Corresponding Author, Professor of Hydraulic Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. ([fathi49@gmail.com](mailto:fathi49@gmail.com)).

3- Management of Khuzestan Water and Sewage Co., Ahvaz, Iran.

**ARTICLE INFO**

*Article history:*

Received: 5 January 2020

Revised: 30 July 2020

Accepted: 2 August 2020

*Keywords:*

Polyethylene pipe, Genetic algorithm, Unsteady friction loss, Creep compliance function, Viscoelasticity.

**TO CITE THIS ARTICLE:**

Chahardah-Cheriki Gholizadeh, P., Fathi Moghadam, M., Haghhighipour, S. (2023). 'Numerical and Experimental Study of Transient Flow Properties in Viscoelastic Pipe Network Using Inverse Analysis', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(2), pp. 31-44. doi: 10.22055/jise.2020.32057.1900.

**Introduction**

The analysis of transient flow plays a critical role in designing pipe systems and pipe networks. Controlling and collecting the pressure wave signals at proper spots in the pipeline can provide much information about the system. Many researchers have studied transient flow and the loss caused by unsteady flow (Brunone et al, 1991; Pezzinga, 1999; Vitkovsky et al., 2000).

Compared with steel pipes, the use of polymer pipes such as polyethylene (PE) and PVC in pipelines and pipe networks has attracted much attention due to their superior properties. Researches have been conducted on the dynamic behaviour of these pipes on transient flow. Brunone et al. (1995) explained that pressure wave damping in a polyethylene pipeline is caused by unsteady friction loss; however, the research showed that there is a large difference between the numerical and the experimental results, and this is due to the viscoelastic effects of polymer pipe walls, which were neglected in this study. Soares et al. (2008) examined the viscoelastic behaviour of PVC pipes on transient flow. The creep function of these pipes was calculated by inverse solution of the transient flow. The results showed that the damping, scattering, and shape of the transient pressure waves are fully described by taking into account the viscoelastic behaviour in the developed numerical model. Carriço et al. (2016) studied the uncertainties of the transient flow numerical model in polyethylene pipes, indicating that unsteady friction loss and viscoelasticity of polyethylene pipe walls have parallel effects on transient signals and the effects cannot be simultaneously distinguished.

Most studies have been so far conducted on the transient flow in a simple pipeline made up of steel and concrete. Since few research has been done on transient flow in more complex systems and plastic pipes, the present paper investigates the numerical and experimental model of transient flow and its properties in polyethylene pipe networks in time domain. In this study, by collecting transient signals of the pipe network, unknown parameters are calibrated and extracted by inverse analysis of

the transient flow for different discharges. The pressure signal properties in polymer pipes are also compared with discharge variations.

## Methodology

### Numerical model

One-dimensional equations governing the transient flow in closed ducts, namely the continuity and momentum equations, are extracted as Eqs. (1) and (2) by applying steady and unsteady friction loss, and viscoelastic effect of the pipe wall (Covas *et al.*, 2005):

$$\frac{dH}{dt} + \frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{2a^2}{g} \frac{d\varepsilon_r}{dt} = 0 \quad (1)$$

$$g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{dQ}{dt} + g(h_{fs} + h_{fu}) = 0 \quad (2)$$

Where  $x$  is the coordinates of the pipe axis,  $t$  time,  $H$  piezometric head,  $Q$  flow rate,  $a$  pressure wave speed,  $g$  gravity acceleration,  $A$  pipe cross-sectional area,  $h_{fs}$  steady friction loss,  $h_{fu}$  unsteady friction loss, and  $\varepsilon_r$  retarded strain.

The continuity and momentum equations are solved using the method of characteristics, by considering a reservoir with fixed head as the upstream boundary condition and a transient valve in downstream of the pipe network as the downstream boundary condition.

### Experimental model

In this research, a polyethylene pipe network fabricated in the Hydraulic Laboratory of the Faculty of Water Sciences Engineering of Shahid Chamran University, Ahwaz, was used to numerically and experimentally examine the transient flow in pipe networks. This network consists of six 3m×3m squares. The pipes are made up of high-density polyethylene (HDPE) with a nominal diameter of 50 mm, wall thickness of 5 mm, and nominal pressure of 16 bar. A 700-L pressurized reservoir is located at one end of the system and a ball valve at the other end of the network to generate transient flow for the experiments. A globe valve, placed after the ball valve, is used to adjust the steady flow of the experiments. The transient flow signals of the tests at upstream of the ball valve and in the pressurized reservoir were collected by pressure transducers with a measurement range from 0 to 16 bar (T1 and T2).

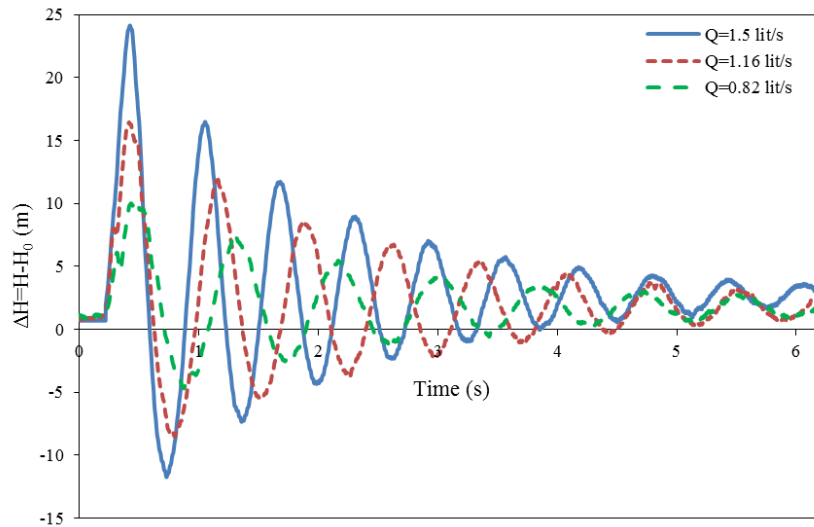
## Results and Discussion

The pressure values at upstream of the transient valve were collected for three steady state discharges of 0.82, 1.16, and 1.5 lit/s using the experimental model of the pipe network. comparison of pressure signals for different discharges shows that as the discharge increases, the intensity of the transient flow signal increases, the phase shift decreases, and the number of cycles per a specified time period increases (Fig. 1).

Since the unsteady friction loss and viscoelasticity of polymer pipe walls cause damping and phase shift in the transient flow, the effect of each case on the transient flow should be determined for the numerical model calibration so as to obtain the best state for the calibration of the pipe network numerical model. The results show that considering the viscoelastic effect of the pipe wall, the numerical model is able to simulate, with high accuracy, the transient flow reactions, and there is consistency between the numerical and experimental results.

The creep compliance functions for polyethylene pipe network were determined by applying the inverse solution of the transient flow and the pressures collected at the upstream of the transient valve. The results show that by applying the viscoelastic effects for the pipe network, the creep

function value in the numerical model depends on the initial discharge value. Moreover, the variations in the retarded strain for three discharges were calculated. The results indicate that due to the increase in the effective time of pressure loading and unloading in smaller discharges, the time of variations in the retarded strain per each cycle is also increased.



**Fig. 1- Time variations in the pressure at upstream of the transient valve for different discharges**

## Conclusions

The purpose of this study is investigate the numerical and experimental properties of transient signals in a polyethylene pipe network under different flow discharge conditions. The calibration and validation of the numerical model of pipe network were performed by inverse transient analysis and the genetic algorithm. The results showed, that the best state for calibrating the polyethylene pipe network numerical model is to consider only the viscoelastic effect of the pipe wall with 1 Kelvin-Voigt element. The creep functions of the viscoelastic model were calculated at different steady state discharges and it was shown that with increasing discharge, the creep function decreases.

## Acknowledgments

The writers acknowledge the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz and Center of Excellence of the Network Improvement and Maintenance of the Faculty of Water and Environmental Engineering for financial support and facilitation of the experiments (Grant No. SCU-99/3/02/7543). The financial support of the Khuzestan Water and Power Authority (KWPA) is also acknowledged.

## References

- 1- Brunone, B., Golia, U.M. and Greco, M., 1991. Modelling of fast transients by numerical methods. In *International Conference on Hydraulic Transients with Water Column Separation (9th and last round Table of IAHR Group), Valencia, Spain*, pp.273-281.
- 2- Brunone, B., Golia, U.M. and Greco, M., 1995. Effects of two-dimensionality on pipe transients modeling. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(12), pp.906-912.
- 3- Covas, D., Stoianov, I., Mano, J., Ramos, H., Graham, N. and Maksimovic, C., 2005. The dynamic effect of pipe-wall viscoelasticity in hydraulic transients, Part II—Model development, calibration and verification. *Journal of Hydraulic Research, IAHR*. 43(1), pp.56-70.

4- Carriço, N.J., Soares, A.K. and Covas, D.I.C. 2016. Uncertainties of inverse transient modelling with unsteady friction and pipe-wall viscoelasticity. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 65(4), pp.342-353.

5- Pezzinga, G., 1999. Quasi-2D model for unsteady flow in pipe networks. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(7), pp.676-685.

6- Soares, A.K., Covas, D. and Reis, F.R., 2008. Analysis of PVC pipe-wall viscoelasticity during water hammer. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 134(9), pp.1389-1394.

7- Vitkovsky, J.P., Lambert, M.F. and Simpson, A.R., 2000. Advances in unsteady friction modelling in transient pipe flow. In the *8th International Conference on Pressure Surges. BHR Group Ltd., The Hague, The Netherlands*.



© 2023 Shahid Chamran University of Ahvaz, 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/>).



## بررسی عددی و آزمایشگاهی خصوصیات جریان گذرا در شبکه لوله ویسکوالاستیک با استفاده از تحلیل معکوس

پروین چهارده چریکی قلی زاده<sup>۱</sup>، منوچهر فتحی مقدم<sup>۲\*</sup> و صادق حقیقی پور<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استاد بازنشسته گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

fathi49@gmail.com

۳- مدیریت شرکت آب و فاضلاب خوزستان، اهواز، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۲

بازنگری: ۱۳۹۹/۰۵/۰۹

دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

### چکیده

مطالعه حاضر به بررسی عددی خصوصیات جریان گذرا در شبکه لوله پلی‌اتیلن می‌پردازد. به این منظور معادله‌های پیوستگی و مومنتم حاکم بر جریان گذرا در سیستم‌های تحت فشار با در نظر گرفتن اثرات افت اصطکاکی ماندگار و غیرماندگار و اثر ویسکوالاستیک دیواره لوله‌های پلیمری با بهره‌گیری از روش خطوط مشخصه در حوزه زمان تحلیل شدند. آزمایش‌هایی با مقادیر مختلف دبی حالت ماندگار بر روی یک شبکه لوله پلی‌اتیلن ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد و سیگنال‌های فشار گذرا در نقاط مختلف شبکه توسط فشارسنج‌هایی برداشت شدند. نتایج مقایسه سیگنال‌های فشاری برداشت شده از مدل آزمایشگاهی نشان داد که با افزایش دبی، سیگنال جریان گذرا دارای شدت بیشتر و اختلاف فاز کم‌تری است. واسنجی مدل عددی شبکه لوله با در نظر گرفتن اثرات افت اصطکاکی غیرماندگار و ویسکوالاستیک دیواره لوله با استفاده از تحلیل معکوس جریان گذرا انجام شد و صحت‌سنجی نشان داد که سیگنال عددی جریان گذرا با در نظر گرفتن تنها اثر ویسکوالاستیک دیواره با یک المان کلونین- ویت دارای بیش‌ترین میزان مطابقت با اطلاعات برداشت شده از مدل آزمایشگاهی است. همچنین مقایسه توابع خزش تطابقی برای مقادیر مختلف دبی نشان داد مقدار تابع خزش در شبکه لوله وابسته به مقدار دبی جریان ماندگار است.

**کلید واژه‌ها:** لوله پلی‌اتیلن، الگوریتم ژنتیک، افت اصطکاکی غیرماندگار، تابع خزش تطابقی، ویسکوالاستیسیته.

### مقدمه

جریان گذرا در سیستم‌های لوله تحت فشار در اثر تغییرات در شرایط مرزی سیستم ایجاد می‌شود و موجب انتشار یک موج فشاری در سیستم می‌گردد. تحلیل جریان‌های گذرا در طراحی سیستم‌های خط لوله و شبکه لوله امری مهم است. با کنترل و برداشت سیگنال‌های امواج فشاری در مکان‌های مناسب در خط لوله می‌توان اطلاعات زیادی راجع به سیستم استخراج نمود. مطالعه جریان گذرا و افت ناشی از جریان‌های غیرماندگار توسط محققین زیادی صورت گرفته است (Joukowski, 1904; Daily et al., 1956; Zielke, 1968; Trikha, 1975; Brunone et al., 1991; Pezzinga, 1999; Vitkovsky et al., 2000). در مقایسه با لوله‌های فولادی، لوله‌های پلیمری مانند پلی‌اتیلن (PE) و پی‌وی‌سی (PVC) به دلیل دارا بودن ویژگی‌های برتر، در خطوط لوله و شبکه‌های لوله بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. بنابراین مطالعه و شناخت رفتار سازه‌ای و هیدرولیکی این لوله‌ها امری ضروری است. مطالعاتی در رابطه با بررسی رفتار دینامیکی این نوع لوله‌ها در جریان‌های گذرا صورت گرفته است.

Brunone et al. (1995) بیان نمودند که استهلاک موج فشاری در یک خط لوله پلی‌اتیلن مربوط به افت اصطکاکی غیرماندگار است، اما بررسی‌های آن‌ها نشان داد که اختلاف زیادی بین نتایج عددی و اطلاعات آزمایشگاهی وجود دارد و دلیل این تفاوت، وجود اثرات ویسکوالاستیک دیواره لوله‌های پلیمری است که در این مطالعه در نظر گرفته نشده بود. Covas et al. (2004) به شناخت رفتار دینامیکی لوله‌های پلی‌اتیلن در جریان‌های گذرا پرداختند. بررسی‌های عددی و آزمایشگاهی آن‌ها نشان داد که امواج فشاری در این لوله‌ها به سرعت مستهلک و دچار تأخیر زمانی می‌گردند و یک افت فشار ناگهانی بلافاصله بعد از بستن سریع شیر اتفاق می‌افتد. همچنین وجود پسماند مکانیکی مواد لوله در طی رویداد گذرا بر اساس تحلیل اطلاعات فشار و کرنش مشاهده شد. در مطالعه‌ای دیگر Covas et al. (2005) به توسعه یک مدل عددی به منظور محاسبه جریان‌های گذرا در سیستم‌های لوله تحت فشار از جنس پلی‌اتیلن پرداختند. مقایسه بین سیگنال‌های جریان گذرا در این سیستم با یک مدل کلاسیک نشان داد که مدل

پارامترهای مجهول مدل عددی با بهره‌گیری از حل معکوس جریان گذرا و الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک.

۳- مقایسه و بررسی خصوصیات جریان گذرا در شبکه‌های لوله پلیمری برای شرایط مختلف دبی حالت ماندگار با بهره‌گیری از مدل عددی توسعه‌داده‌شده در تحقیق حاضر.

## مواد و روش‌ها

### مدل عددی

معادله‌های یک‌بعدی حاکم بر جریان گذرا در مجاری بسته که شامل معادلات پیوستگی و مومنت می‌باشند، با در نظر گرفتن افت اصطکاکی ماندگار و غیرماندگار و اثر ویسکوالاستیک دیواره لوله به صورت دو معادله (۱) و (۲) استخراج می‌شوند (Covas et al., 2005):

$$\frac{dH}{dt} + \frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{2a^2}{g} \frac{d\varepsilon_r}{dt} = 0 \quad (1)$$

$$g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{dQ}{dt} + g(h_{fs} + h_{fu}) = 0 \quad (2)$$

که در این معادله‌ها،  $x$  مختصات در راستای محور لوله،  $t$  زمان،  $H$  ارتفاع پیزومتریک لحظه‌ای،  $Q$  میزان دبی لحظه‌ای،  $a$  سرعت موج فشاری،  $g$  شتاب ثقل،  $A$  مساحت مقطع لوله،  $h_{fs}$  افت اصطکاکی حالت ماندگار،  $h_{fu}$  افت اصطکاکی حالت غیرماندگار و  $\varepsilon_r$  کرنش تأخیری است.

معادله‌های پیوستگی و مومنت با استفاده از روش خطوط مشخصه (method of characteristics) و با در نظر گرفتن یک مخزن با هد ثابت به‌عنوان شرط مرزی بالادست و شیر تولید جریان گذرا در پایین دست شبکه لوله به عنوان شرط مرزی پایین دست حل شد. در این مطالعه، افت اصطکاکی حالت ماندگار ( $h_{fs}$ ) از رابطه داری ویسیاخ (Darcy-Weisbach) به‌دست آمد که برای محاسبه ضریب افت در این حالت از رابطه بلازیوس (Blasius) رابطه (۳) در جریان آشفتنه و لوله صاف برای مقادیر  $4000 < Re < 10^5$  استفاده شد. همچنین برای محاسبه افت اصطکاکی حالت غیرماندگار ( $h_{fu}$ ) از مدل اصلاح‌شده (Brunone et al 1995) که توسط Vitkovsky et al (2000) رابطه (۴) ارایه شد استفاده گشت.

$$f_s = 0.316Re^{-0.25} \quad (3)$$

$$h_{fu} = \frac{K}{gA} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} + aSGN(Q) \left| \frac{\partial Q}{\partial x} \right| \right) \quad (4)$$

عدد توسعه داده شده به خوبی قادر به پیش‌بینی نوسانات فشار و کرنش‌های محیطی در لوله‌های PE است.

Soares et al. (2008) به بررسی اثر رفتار ویسکوالاستیک لوله‌های PVC بر روی جریان گذرا پرداختند. تابع خزش این نوع لوله توسط حل معکوس جریان گذرا محاسبه شد و نتایج بررسی‌ها نشان داد که استهلاک، پراکندگی و شکل امواج فشاری گذرا با در نظر گرفتن رفتار ویسکوالاستیک در مدل عددی توسعه‌داده‌شده در این مطالعه به خوبی توصیف می‌گردند.

Evangelista et al. (2015) انتقال و انعکاس امواج فشاری گذرا در شبکه‌های شاخه‌ای پلی‌اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقادیر ضرایب انتقال و بازتاب در محل اتصال لوله‌ها در مقایسه با مقادیر حاصل از تئوری کلاسیک وجود دارد که این اختلاف‌ها ناشی از رفتار ویسکوالاستیک مواد می‌باشند. در این مطالعه، پارامترهای ویسکوالاستیک مربوط به سیستم لوله با صرف‌نظر از اثرات افت اصطکاکی غیرماندگار، کالیبره شدند.

Carricho et al. (2016) به بررسی عدم قطعیت‌های مدل عددی جریان گذرا در لوله‌های پلی‌اتیلن پرداختند. آن‌ها نشان دادند که اصطکاک غیرماندگار و ویسکوالاستیسیته دیواره لوله‌های پلی‌اتیلن اثرات مشابه بر روی سیگنال‌های گذرا دارند و نمی‌توان این اثرات را هم‌زمان از هم متمایز نمود.

Rahmanshahi et al. (2019) با مدل‌سازی افت اصطکاکی غیرماندگار و رفتار ویسکوالاستیک لوله‌های پلیمری در یک خط لوله پلی‌اتیلن نشان دادند که اثرات ویسکوالاستیک نقش بسیار مهم‌تری نسبت به افت اصطکاکی غیرماندگار در این نوع لوله‌ها دارند و با در نظر گرفتن این اثرات به درستی می‌توان سیگنال‌های جریان گذرا را پیش‌بینی نمود.

تاکنون اکثر مطالعه‌های صورت‌گرفته به بررسی جریان گذرا در یک سیستم خط لوله ساده و از جنس فولادی و بتنی پرداخته‌اند. از آنجایی که مطالعه‌های بسیار کمی در رابطه با بررسی جریان گذرا در سیستم‌های پیچیده‌تر و همچنین لوله‌های پلاستیکی وجود دارد، تحقیق حاضر به مطالعه آزمایشگاهی و عددی جریان گذرا و خصوصیات آن در شبکه‌های لوله و از جنس مصالح پلی‌اتیلن می‌پردازد. به این منظور، معادله‌های حاکم بر جریان گذرا در سیستم‌های تحت فشار با اضافه نمودن اثرات افت اصطکاکی و ویسکوالاستیک دیواره لوله‌های پلیمری تحلیل شد. سپس با بهره‌گیری از روش تحلیل معکوس جریان گذرا و اطلاعات آزمایشگاهی، مدل عددی توسعه‌داده‌شده در تحقیق حاضر واسنجی و پارامترهای مجهول استخراج شد. اهداف اصلی پژوهش حاضر به صورت زیر می‌باشند:

۱- ترسیم و بررسی آزمایشگاهی سیگنال‌های فشار گذرا در شبکه لوله برای مقادیر مختلف دبی جریان ماندگار.

۲- توسعه و واسنجی مدل عددی شبکه لوله با لحاظ اثرات اصطکاکی و ویسکوالاستیسیته دیواره لوله‌های پلیمری و استخراج

مجهول را شناسایی می‌کند. تابع هدف مورد نظر در این تحقیق، متوسط حداقل مربعات خطا ( $LSE$ ) است و با رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$Min OF = \sum_{i=1}^M [H_i^* - H_i]^2 / M \quad (\lambda)$$

در رابطه ( $\lambda$ )،  $OF$  تابع هدف،  $H_i^*$  مقادیر فشار برداشت شده از مدل آزمایشگاهی،  $H_i$  مقادیر فشار محاسبه شده توسط مدل عددی و  $M$  تعداد فشارهای اندازه‌گیری شده است. الگوریتم ژنتیک مورد استفاده از نوع پیوسته بوده و شامل مراحل استاندارد تولید جمعیت اولیه، محاسبه مقدار تابع هدف هر کروموزوم، انتخاب طبیعی والدین به روش تورنومنت، تبادل ژنی و تولید فرزندان به روش یکنواخت و جهش ژنی می‌باشد.

#### مدل آزمایشگاهی

به منظور بررسی عددی و آزمایشگاهی جریان گذرا در شبکه لوله در مطالعه حاضر، از یک شبکه لوله پلی‌اتیلن ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. نمای کلی مدل آزمایشگاهی در شکل (۱) نشان داده شده است. این شبکه از شش حلقه مربعی به ابعاد  $3m \times 3m$  تشکیل شده است. لوله‌های شبکه از جنس پلی‌اتیلن با دانسیته بالا (PE80) به قطر اسمی ۵۰ میلی‌متر، ضخامت دیواره پنج میلی‌متر (SDR9) و فشار اسمی ۱۶ بار می‌باشند. یک مخزن تحت فشار با حجم ۷۰۰ لیتر در ابتدای سیستم قرار دارد و یک شیر ربع‌گرد (Ball valve) در انتهای شبکه لوله به منظور تولید جریان گذرا در آزمایش‌ها قرار داده شده است. برای تنظیم میزان جریان ماندگار، از یک شیر سوزنی (Globe valve) که بعد از شیر تولید جریان گذرا قرار داشت، استفاده شد. همچنین میزان جریان ماندگار به صورت حجمی در انتهای سیستم اندازه‌گیری می‌شد. برای جلوگیری از حرکت‌های طولی و عرضی سیستم در طی آزمایش‌ها، لوله‌های تشکیل‌دهنده شبکه در فواصل یک متری به زمین مهار شدند. سیگنال‌های فشار در بالادست شیر تولید جریان گذرا و در محل مخزن تحت فشار با استفاده از فشارسنج‌های با دامنه اندازه‌گیری صفر تا ۱۶ بار برداشت شدند (T1 و T2). همچنین آزمایش‌های این تحقیق در سه دبی حالت ماندگار با مقادیر  $0.82$ ،  $1/16$  و  $1/5$  لیتر بر ثانیه و رژیم جریان آشفتنه انجام شدند. نحوه انجام آزمایش‌های این مطالعه به این صورت بود که ابتدا فشار مخزن توسط کمپرسور هوا تثبیت می‌شد و دبی جریان ماندگار در انتهای سیستم به میزان مورد نظر تنظیم می‌شد. سپس با بستن سریع شیر ربع‌گرد در انتهای شبکه، جریان گذرا در سیستم تولید می‌شد و سیگنال‌های فشار در نقاط مختلف شبکه توسط فشارسنج برداشت می‌شدند.

در روابط بالا،  $f_s$  ضریب افت اصطکاکی حالت ماندگار،  $Re$  عدد بدون بعد رینولدز،  $K$  ضریب زوال افت اصطکاکی برونون و  $SGN(Q)$  تابع علامت است.

لوله‌های پلی‌اتیلن وقتی تحت تأثیر یک تنش آبی قرار می‌گیرند، پاسخی مطابق قانون هوک (Hooke's law) ندارند. کرنش در این نوع لوله‌ها به دو کرنش الاستیک آبی ( $\epsilon_e$ ) و کرنش تأخیری ( $\epsilon_r$ ) تقسیم می‌شوند (Covas et al., 2005):

$$\epsilon(t) = \epsilon_e + \epsilon_r(t) \quad (5)$$

در لوله‌های پلی‌اتیلن، کرنش‌های ناشی از اعمال پیوسته یک تنش  $\sigma(t)$ ، طبق اصل برهم‌نهی بولتزمن ( Boltzmann superposition principle) می‌توانند به صورت خطی با هم جمع شوند و کرنش کل از رابطه زیر محاسبه گردد ( Aklonis et al., 1972):

$$\epsilon(t) = J_0 \sigma(t) + \int_0^t \sigma(t-t') \frac{\partial J(t')}{\partial t'} dt' \quad (6)$$

در رابطه بالا،  $J_0$  خزش تطابقی آبی و  $J(t')$  تابع خزش در زمان  $t'$  است. تابع خزش برای جامد ویسکوالاستیک، با استفاده از مدل مکانیکی تعمیم‌یافته کلونین- ویت (generalized Kelvin-Voigt mechanical model) به صورت زیر تعریف می‌شود (Aklonis et al., 1972):

$$J(t) = J_0 + \sum_{k=1}^N J_k (1 - e^{-t/\tau_k}) \quad (7)$$

که در آن  $J_0$  خزش تطابقی فنر اول است و به صورت  $J_0 = 1/E_0$  تعریف می‌شود.  $E_0$  مدول الاستیسیته لوله است.  $J_k$  خزش تطابقی فنر المان  $k$  ام مدل کلونین- ویت است و به صورت  $J_k = 1/E_k$  تعریف می‌شود.  $E_k$  مدول الاستیسیته فنر المان  $k$  ام است.  $\tau_k$  زمان تأخیر میراگر المان  $k$  ام است،  $\mu_k/E_k = \tau_k$ ،  $\mu_k$  ویسکوزیته میراگر است و  $N$  تعداد المان‌های مدل کلونین- ویت است.

در مطالعه حاضر به منظور واسنجی مدل عددی، از روش تحلیل معکوس جریان گذرا استفاده شد. به این صورت که با معرفی پارامترهای معلوم مسأله شامل مقادیر فشار و دبی جریان به مدل عددی، پارامترهای مجهول شامل سرعت موج، ضرایب تابع خزش تطابقی و ضریب افت اصطکاکی غیرماندگار به دست آمد. حل معکوس جریان گذرا توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی صورت گرفت. روش بهینه‌سازی در این تحقیق الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در این نوع مسائل، بهینه‌ساز با کمینه کردن مقدار تابع هدف، پارامترهای

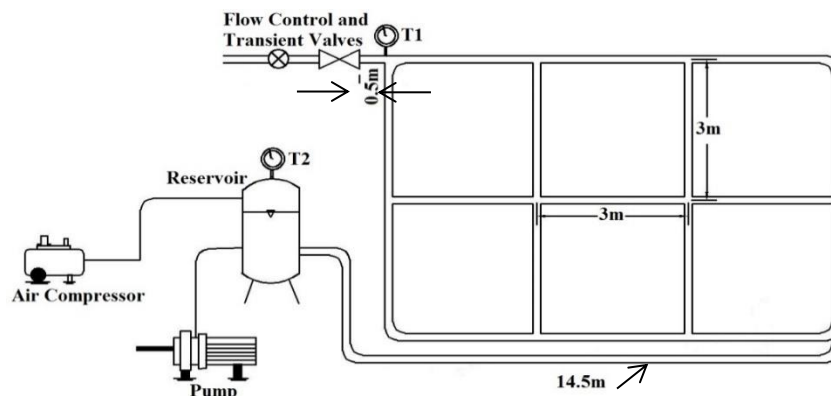


Fig. 1- The experimental model of the pipe network

شکل ۱- مدل آزمایشگاهی شبکه لوله

آزمایشگاهی است. پارامترهای مورد نظر در واسنجی مدل عددی شامل سرعت موج، ضرایب تابع خزش و ضریب افت اصطکاکی غیرماندگار می‌باشند. از آنجایی که افت اصطکاکی غیرماندگار و خاصیت ویسکوالاستیک دیواره لوله‌های پلیمری هر دو موجب استهلاک و اختلاف فاز جریان گذرا می‌شوند، در واسنجی مدل عددی باید تأثیر هر کدام از این پدیده‌ها بر روی جریان گذرا مشخص گردد تا بهترین حالت برای واسنجی مدل عددی شبکه لوله پلی‌اتیلن تعیین شود. بنابراین در ابتدا با در نظر گرفتن اثر ویسکوالاستیک دیواره لوله به واسنجی و تخمین پارامترهای مجهول مدل عددی پرداخته می‌شود.

در این حالت اصطکاک سیال تنها شامل اصطکاک ماندگار است و از اثر اصطکاک غیرماندگار بر روی واکنش‌های گذرا صرف نظر شده است. پارامترهای مجهول مدل در این قسمت شامل سرعت موج ( $a$ )، زمان تأخیر ( $\tau_k$ ) و ضرایب خزش المان‌های کلونین-ویت ( $I_k$ ) می‌باشند.

مطابق مطالعه Covas (2003) تعداد بهینه المان‌های کلونین-ویت در لوله‌های پلی‌اتیلن برابر سه است، اما در تحقیق حاضر با توجه به ابعاد کوچکتر شبکه لوله پیش‌بینی می‌شود که با انتخاب تعداد المان‌های کمتر نیز نتیجه مناسبی استخراج گردد و سرعت انجام محاسبات نیز کم شود. بنابراین با استفاده از اطلاعات فشار برداشت شده در بالادست شیر تولید جریان گذرا در دبی ۱/۵ لیتر بر ثانیه تحلیلی بر روی تعداد المان‌های مؤثر در مدل عددی شبکه لوله صورت گرفت. در تحلیل مدل عددی پژوهش حاضر معادله‌های مربوط به جریان گذرا در سیستم‌های تحت فشار معادله‌های (۱ و ۲) با به کارگیری روش خطوط مشخصه گسسته‌سازی شدند. گام مکانی در مدل عددی برابر با  $\Delta x = 0.5m$  در نظر گرفته شد و میزان گام زمانی به گونه‌ای محاسبه شد تا شرط کورانت به منظور پایداری مدل و جلوگیری از ایجاد نوسانات عددی برقرار گردد. همچنین مدت زمان شبیه‌سازی سیگنال فشار گذرا در تحلیل معکوس برابر شش ثانیه در نظر گرفته شد. با توجه به این که جریان در لوله، آشفته می‌باشد، ضریب افت اصطکاکی ماندگار از رابطه بلانزیوسرابطه (۳) محاسبه شد.

## نتایج و بحث

### بررسی سیگنال‌های فشار گذرا

به منظور بررسی سیگنال‌های جریان گذرا در شبکه لوله پلیمری، مقادیر فشار در بالادست شیر تولید جریان گذرا (فشارسنج T1) برای سه دبی حالت ماندگار با مقادیر ۰/۸۲، ۱/۱۶ و ۱/۵ لیتر بر ثانیه توسط مدل آزمایشگاهی شبکه لوله برداشت شد و مقدار اضافه فشار گذرا ( $\Delta H = H - H_0$ ) فشار پیژومتریک گذرا و  $H_0$  فشار پیژومتریک حالت ماندگار است. در شکل (۲) ترسیم شد. در تمامی سیگنال‌های فشار، با بستن سریع شیر جریان گذرا یک پیک فشاری تولید می‌گردد. این پیک فشار با گذشت زمان در سیکل‌های متوالی سیگنال جریان گذرا به میزان زیادی مستهلک می‌گردد. همان‌طور که از روی سیگنال‌ها نیز مشخص می‌باشد استهلاک موج فشاری در شبکه لوله پلی‌اتیلن، در مدت زمان بسیار کوتاهی صورت می‌گیرد.

در لوله‌های پلی‌اتیلن برخلاف لوله‌های فولادی، به علت وجود خواص ویسکوالاستیک مواد، سرعت موج در حین رویداد گذرا ثابت باقی نمی‌ماند و با گذشت زمان، کاهش در انرژی و به دنبال آن کاهش سرعت موج فشاری ایجاد می‌شود (Covas, 2003) که نتیجه آن وجود اختلاف فاز در سیگنال موج فشاری به میزان زیادی می‌باشد (شکل ۲). از طرفی دیگر، وجود افت اصطکاکی غیرماندگار در حین وقوع امواج گذرا نیز موجب استهلاک و تغییر فاز در سیگنال‌های گذرا می‌گردد. در بخش بعدی مقاله حاضر به بررسی دقیق‌تر میزان اثرات دو پدیده افت اصطکاکی غیرماندگار و اثر ویسکوالاستیک دیواره لوله‌های پلیمری بر روی جریان گذرا پرداخته می‌شود. همچنین نتایج مقایسه سیگنال‌های فشار برای مقادیر مختلف دبی نشان می‌دهد که هر چه میزان دبی افزایش می‌یابد، سیگنال جریان گذرا دارای شدت بیش‌تر، اختلاف فاز کم‌تر و تعداد سیکل بیش‌تر در یک مدت زمان معین است.

### واسنجی مدل عددی

در این قسمت هدف واسنجی و صحت‌سنجی مدل عددی در مطالعه حاضر بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط شبکه لوله



حاضر برابر یک در نظر گرفته شد. مقدار زمان تأخیر المان کلوین-ویت با توجه به مطالعات Covas (2003) برابر با  $0.05\text{ s}$  است. مقدار سرعت موج و ضریب خزش تطابقی المان کلوین-ویت با به کارگیری حل معکوس جریان گذرا به صورت همزمان کالیبره و به ترتیب برابر  $a = 329\text{ m/s}$  و  $\text{Pa}^{-1}$   $J_1 = 26 \times 10$  تخمین زده شدند. در ادامه نیز واسنجی مدل عددی برای دو مقدار دبی  $0.82$  و  $1.16$  لیتر بر ثانیه با در نظر گرفتن اثر ویسکوالاستیک با یک المان کلوین-ویت انجام شد. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی در جدول (۱) و شکل (۴) نشان داده شده‌اند.

همچنین مطابق مطالعه Chaudhry (1987) از افت فشار در محل اتصالات لوله‌ها صرف‌نظر شد. سیگنال‌های فشار برداشت شده از مدل آزمایشگاهی و استخراج شده از مدل عددی با یک، دو و سه المان کلوین-ویت در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در این شکل مشخص است، مدل عددی با در نظر گرفتن اثر ویسکوالاستیک دیواره لوله با دقت بسیار بالایی قادر به شبیه‌سازی واکنش‌های جریان گذرا است. مقدار تابع هدف برای مدل با یک، دو و سه المان کلوین-ویت، یکسان و برابر با  $LSE = 0.05\text{ m}^2$  است و اختلاف واضحی بین نتایج در سه حالت وجود ندارد. بنابراین تعداد بهینه المان‌های کلوین-ویت برای شبکه لوله در مطالعه

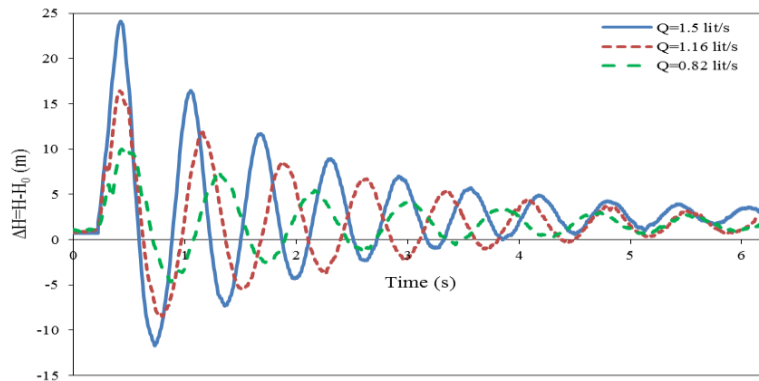


Fig. 2- Time variations in the pressure at upstream of the transient valve for different discharges  
 شکل ۲- تغییرات زمانی فشار در بالادست شیر تولید جریان گذرا در دبی‌های متفاوت

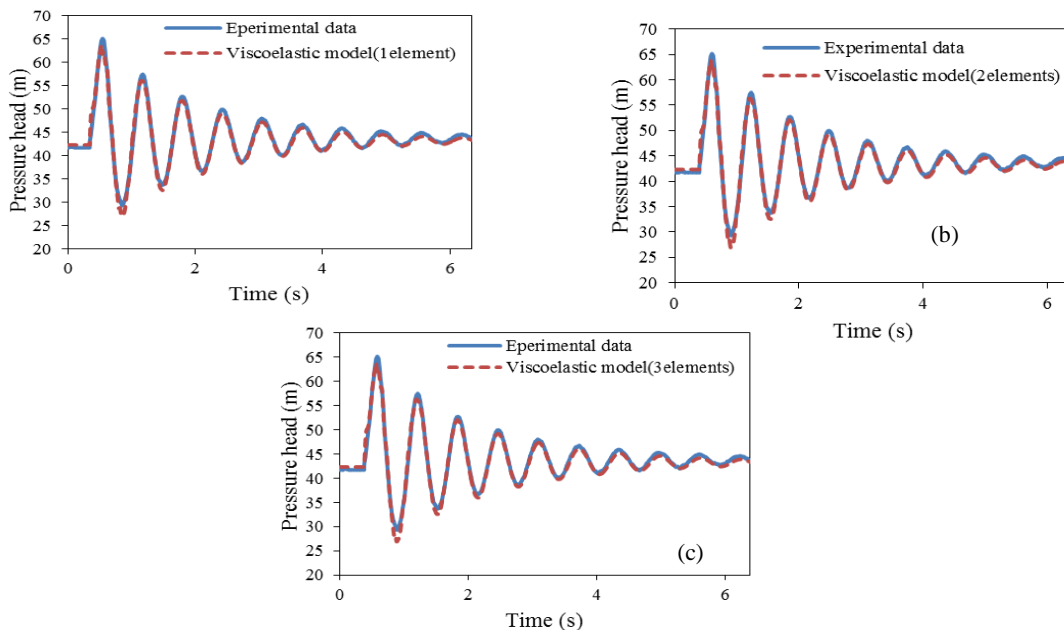


Fig. 3- Comparison of the experimental and numerical results of the viscoelastic model with (a) one, (b) two, and (c) three Kelvin-Voigt elements

شکل ۳- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی در مدل ویسکوالاستیک با (a): یک، (b): دو و (c): سه المان کلوین-ویت

جدول ۱- نتایج واسنجی مدل ویسکوالاستیک شبکه لوله برای دبی با مقادیر ۰/۸۲ و ۱/۱۶ لیتر بر ثانیه

Table 1- The calibration results of the pipe network viscoelastic model for discharges of 0.82 and 1.16 lit/s

$Q$ (lit/s)	$a$ (m/s)	$J_1$ ( $Pa^{-1}$ )	$\tau_1$ (s)	$LSE$ ( $m^2$ )
0.82	252	$51 \times 10^{-11}$	0.05	0.3
1.16	286	$31 \times 10^{-11}$	0.05	0.4

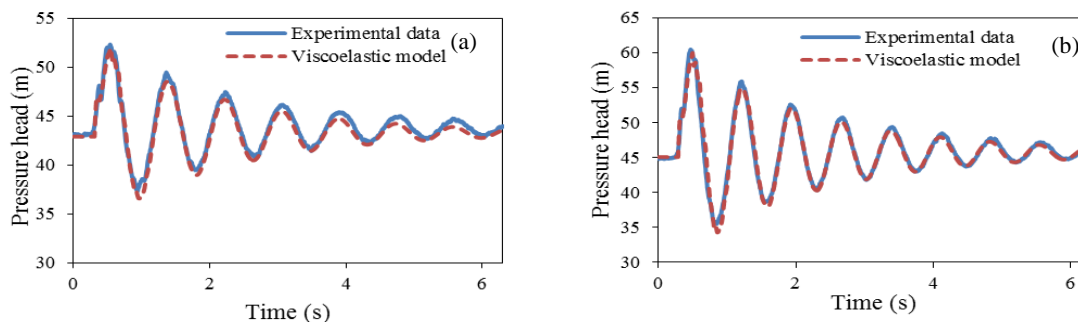


Fig. 4- Comparison of the experimental and numerical results of the viscoelastic model for discharges of (a) 0.82 and (b) 1.16 lit/s

شکل ۴- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی در مدل ویسکوالاستیک برای دبی با مقادیر (a): ۰/۸۲ و (b): ۱/۱۶ لیتر بر ثانیه

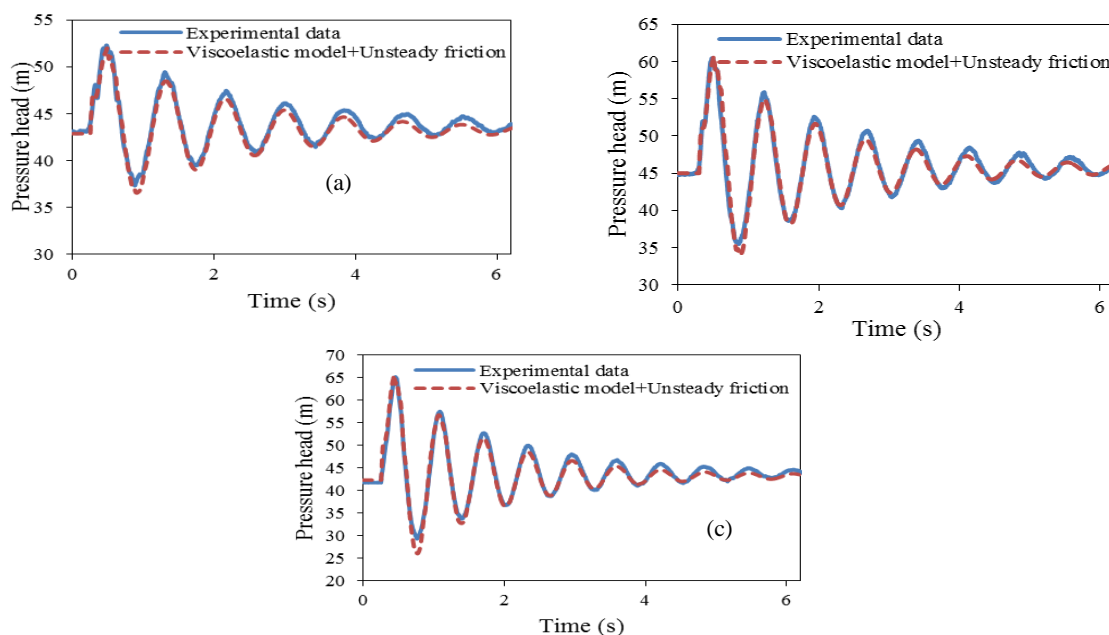


Fig. 5- Comparison of the experimental and numerical results by taking into account the pipe wall viscoelasticity and the unsteady friction loss for discharges of (a) 0.82, (b) 1.16 and (c) 1.5 lit/s

شکل ۵- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی با در نظر گرفتن ویسکوالاستیک دیواره لوله و افت اصطکاکی غیرماندگار برای دبی با مقادیر (a): ۰/۸۲، (b): ۱/۱۶ و (c): ۱/۵ لیتر بر ثانیه

رابطه اصلاح شده Brunone et al (1995) رابطه (۴) محاسبه شد. نتیجه مقایسه بین سیگنال‌های عددی و آزمایشگاهی در این حالت برای دبی‌های ۰/۸۲، ۱/۱۶ و ۱/۵ لیتر بر ثانیه در شکل (۵) نشان داده شده است.

در حالتی دیگر واسنجی و صحت‌سنجی مدل عددی با در نظر گرفتن هر دو اثر افت اصطکاکی غیرماندگار و ویسکوالاستیک دیواره لوله با یک المان کلونین- ویت با استفاده از فشارهای اندازه-گیری شده در بالادست شیر تولید جریان گذرا (T1) انجام شد. در این حالت افت اصطکاکی غیرماندگار در مدل عددی با به‌کارگیری

نتایج صحت‌سنجی در این حالت نشان می‌دهد که مدل عددی با در نظر گرفتن افت اصطکاکی غیرماندگار قادر به پیش‌بینی میرایی و اختلاف فاز سیگنال گذرا با دقت بالایی نیست. همچنین مطابقت بین فشارهای گذرا در حالت عددی و آزمایشگاهی نسبت به دو حالت قبل نیز کاهش یافته است. مقادیر کالیبره‌شده برای پارامترهای مجهول مدل عددی در جدول (۳) ارائه شده‌اند. بالا بودن مقدار ضریب افت اصطکاکی غیرماندگار در این حالت نشان می‌دهد که مدل عددی با افزایش مقدار  $K$ ، سعی در جبران میرایی و اختلاف فاز حاصل از اثر ویسکوالاستیک دیواره لوله نموده است.

بنابراین با توجه به نتایج بهترین حالت برای واسنجی مدل عددی شبکه لوله پلی‌اتیلن در تحقیق حاضر در نظر گرفتن تنها اثر ویسکوالاستیک دیواره لوله با یک المان کلونین-ویت است.

نتایج نشان می‌دهد که با اضافه شدن اثر افت اصطکاکی غیرماندگار به مدل عددی، از دقت شبیه‌سازی سیگنال گذرا نسبت به حالت قبل کاسته شده است. ضرایب مجهول مدل عددی در این قسمت شامل پارامترهای سرعت موج گذرا، ضریب افت اصطکاکی غیرماندگار و ضریب خزش هستند که با حل معکوس جریان گذرا و به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک هم‌زمان واسنجی و تخمین زده شدند. نتایج واسنجی پارامترهای مجهول برای مقادیر مختلف دبی در جدول (۲) آورده شده‌اند.

در حالت بعدی مدل عددی شبکه لوله به صورت یک مدل الاستیک شامل افت اصطکاکی غیرماندگار در نظر گرفته شد. در این مدل از اثرات ویسکوالاستیک دیواره لوله صرف‌نظر شده است. سیگنال‌های برداشت‌شده از شبکه لوله آزمایشگاهی و شبیه‌سازی-شده توسط مدل عددی الاستیک برای دبی‌های جریان ماندگار به میزان ۰/۸۲، ۱/۱۶ و ۱/۵ لیتر بر ثانیه در شکل (۶) ترسیم شده است.

جدول ۲- نتایج واسنجی مدل عددی با لحاظ اثرات ویسکوالاستیک و افت اصطکاکی غیرماندگار

Table 2- The calibration results of the numerical model by taking into account the viscoelastic and the unsteady friction loss effects

$Q$ (lit/s)	$a$ (m/s)	$J_1$ ( $Pa^{-1}$ )	$\tau_1$ (s)	$K$	$LSE$ ( $m^2$ )
0.82	254	$50 \times 10^{-11}$	0.05	0.01	0.4
1.16	295	$22 \times 10^{-11}$	0.05	0.09	0.6
1.5	340	$15 \times 10^{-11}$	0.05	0.13	0.8

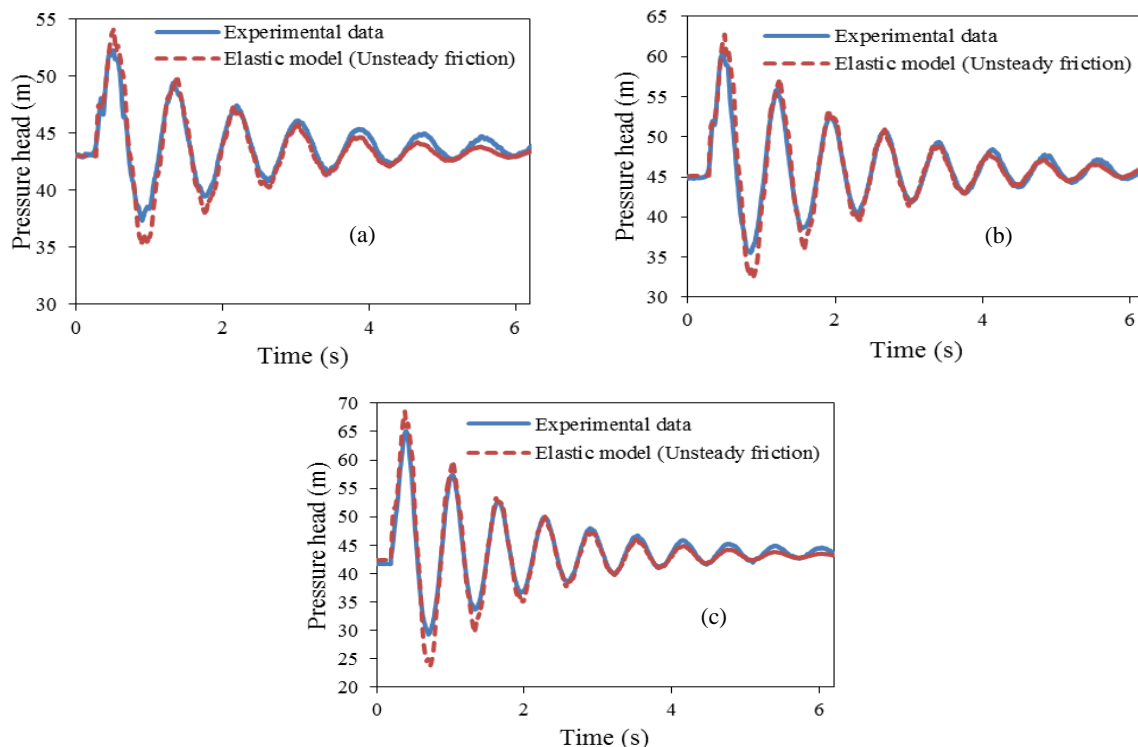


Fig. 6- Comparison of the experimental and numerical results by taking into account the unsteady friction loss for discharges of (a) 0.82, (b) 1.16 and (c) 1.5 lit/s

شکل ۶- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی در نظر گرفتن افت اصطکاکی غیرماندگار برای دبی با مقادیر (a): ۰/۸۲، (b): ۱/۱۶ و (c): ۱/۵ لیتر بر ثانیه

جدول ۳- نتایج واسنجی مدل عددی با لحاظ افت اصطکاکی غیرماندگار

Table 3- The calibration results of the numerical model by taking into account the unsteady friction loss

$Q$ (lit/s)	$a$ (m/s)	$K$	$LSE$ ( $m^2$ )
0.82	261	0.20	0.6
1.16	295	0.23	1.3
1.5	345	0.28	2

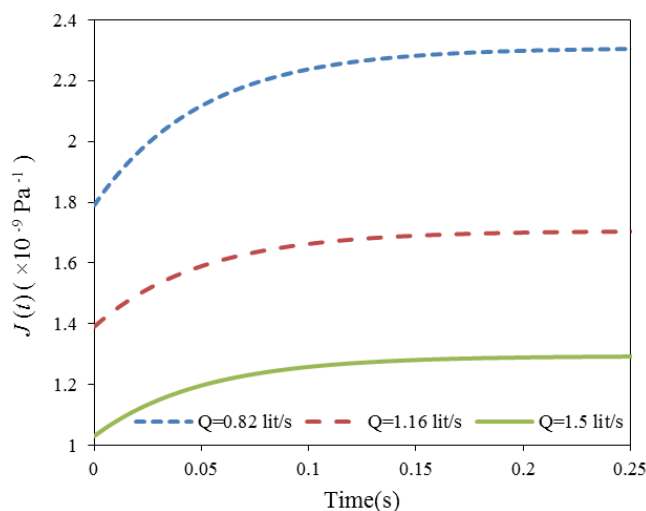


Fig. 7- Comparison of the creep function for different discharges

شکل ۷- مقایسه تابع خزش در مقادیر مختلف دبی

همچنین ضریب خزش تطابقی کم تر ( $J_k$ ) مقدار تابع خزش کاهش می یابد.

مطابق با مطالعه های گذشته، در مقایسه با لوله های فولادی، خواص ویسکوالاستیک مواد پلیمری در حین ضربه قوچ علاوه بر تغییر شکل الاستیک موجب تغییر شکل های تأخیری در جداره لوله نیز می گردند که بلافاصله پس از باربرداری به حالت اولیه باز نمی گردند. به منظور بررسی این موضوع در شبکه لوله تحقیق حاضر، تغییرات فشار- کرنش برای دبی  $1/16$  لیتر بر ثانیه در شکل (۸) ترسیم شد. بررسی تغییرات کرنش در این شکل به وضوح وجود تغییر شکل های تأخیری و همچنین پسماند مکانیکی در شبکه لوله را به اثبات می رساند.

همچنین تغییرات کرنش تأخیری نیز برای سه مقدار دبی ذکر شده، در شکل (۹) مقایسه شده اند. نتایج نشان می دهند هرچه میزان دبی اولیه کاهش می یابد، مدت زمان تغییرات فشاری در هر سیکل بیش تر می شود. به عبارتی دیگر، زمان مؤثر بارگذاری و باربرداری فشار در دبی های کم تر، افزایش می یابد و به همین دلیل زمان تغییرات کرنش تأخیری نیز در هر سیکل افزایش می یابد.

### بررسی تابع خزش و کرنش در مدل ویسکوالاستیک

خاصیت ویسکوالاستیک در لوله های پلیمری با به کارگیری تابع خزش مشخص می گردد. به منظور بررسی این موضوع، تابع های خزش تطابقی برای شبکه لوله پلی اتیلن در مطالعه حاضر با به کارگیری حل معکوس جریان گذرا در مدل عددی با لحاظ اثرات ویسکوالاستیک دیواره لوله و همچنین توسط فشارهای برداشت شده در بالادست شیر تولید جریان گذرا تعیین شدند. توابع خزش برای سه دبی جریان ماندگار به میزان  $0/82$ ،  $1/16$  و  $1/5$  لیتر بر ثانیه با مقادیر کالیبره شده ضرایب خزش توسط معادله (۷) محاسبه و در شکل (۷) ترسیم و مقایسه شدند. تابع خزش در تمامی دبی های اولیه مورد نظر، در ابتدا روندی افزایشی دارد و پس از مدت زمان بسیار کوتاهی ثابت می گردد. مقدار تابع خزش محاسبه شده برای مقادیر ذکر شده دبی اولیه، متفاوت می باشد. بنابراین نتیجه گیری می شود که مقدار تابع خزش در مدل عددی با لحاظ اثرات ویسکوالاستیک برای شبکه لوله، وابسته به مقدار دبی شرایط اولیه است. هر چه میزان دبی افزایش می یابد، به علت  $J_0$  کم تر و

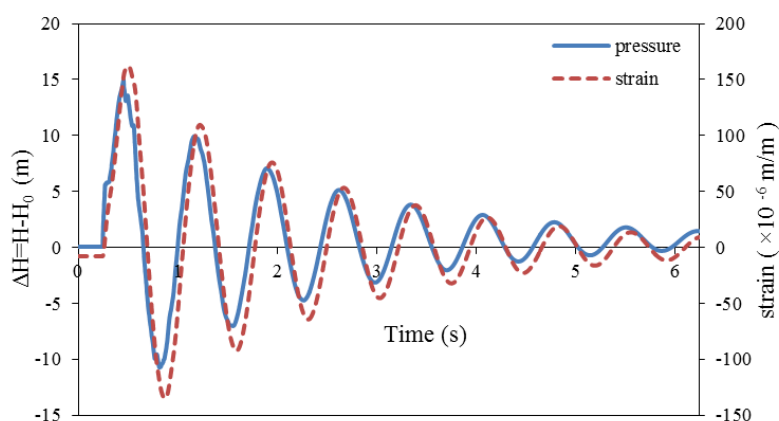


Fig. 8- Time variations in the pressure-strain for discharge of 1.16 lit/s

شکل ۸- تغییرات زمانی فشار- کرنش در دبی ۱/۱۶ لیتر بر ثانیه

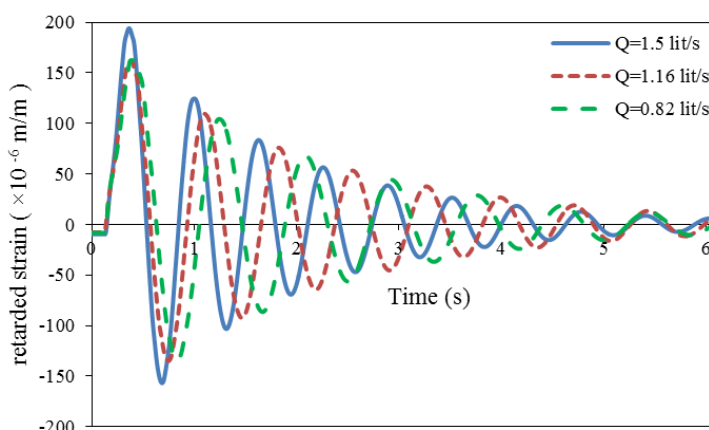


Fig. 9- Variations in the retarded strain for different discharges

شکل ۹- تغییرات کرنش تأخیری در دبی‌های مختلف

نظر گرفتن تنها اثر ویسکوالاستیک با یک المان کلین- ویت با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی سیگنال‌های گذرا است. توابع خزش مدل ویسکوالاستیک در دبی‌های مختلف حالت ماندگار محاسبه شدند و نشان داده شد که با افزایش دبی، مقدار تابع خزش کاهش می‌یابد. هم‌چنین در این مطالعه وجود تغییر شکل‌های تأخیری و پسماند مکانیکی در شبکه‌های لوله پلی اتیلن اثبات شد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله از نتایج پایان‌نامه دکتری نویسنده اول و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه از طریق پژوهانه نویسنده دوم (شماره پژوهانه ۹۹/۳/۰۲/۷۵۴۳) تهیه شده که بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و قطب علمی "بهسازی و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی" تشکر و قدردانی می‌گردد. ضمناً حمایت مالی سازمان آب و برق خوزستان مورد تشکر و قدردانی است.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر هدف بررسی عددی و آزمایشگاهی خصوصیات سیگنال‌های جریان گذرا در یک شبکه لوله پلی‌اتیلن در شرایط مختلف دبی جریان است. معادله‌های حاکم بر جریان‌های گذرا در سیستم‌های تحت فشار با در نظر گرفتن اثرات اصطکاکی و ویسکوالاستیسیته دیواره لوله‌های پلیمری با استفاده از روش خطوط مشخصه گسسته‌سازی شدند. سیگنال‌های فشاری در بالادست شیر تولید جریان گذرا برای میزان دبی‌های متفاوت حالت ماندگار توسط شبکه لوله آزمایشگاهی جمع‌آوری و ترسیم شدند و مقایسه آن‌ها نشان داد که هر چه میزان دبی افزایش یابد، سیگنال جریان گذرا دارای شدت بیشتر، تعداد سیکل بیشتر در یک بازه زمانی معین و اختلاف فاز کمتری است. واسنجی و صحت‌سنجی مدل عددی شبکه لوله توسط حل معکوس جریان گذرا با وجود اثرات افت اصطکاکی غیرماندگار و ویسکوالاستیک لوله انجام شد و پارامترهای مجهول مدل عددی شامل سرعت موج، ضرایب تابع خزش تطابقی و ضریب افت اصطکاکی غیرماندگار برای مقادیر متفاوت دبی استخراج شدند و نتایج نشان داد که مدل عددی با در

### References

- 1- Aklonis, J.J., MacKnight, W.J. and Shen, M., 1972. *Introduction to Polymer Viscoelasticity*. Wiley-Interscience- John Wiley & Sons, Inc. New York.
- 2- Brunone, B., Golia, U.M. and Greco, M., 1991. Modelling of fast transients by numerical methods. In *International Conference on Hydraulic Transients with Water Column Separation (9th and last round Table of IAHR Group), Valencia, Spain*.
- 3- Brunone, B., Golia, U.M. and Greco, M., 1995. Effects of two-dimensionality on pipe transients modeling. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(12), pp.906-912.
- 4- Chaudhry, M.H., 1987. *Applied hydraulic transients*, 2nd Ed., Van Nostrand Reinhold, New York.
- 5- Covas, D., 2003. Inverse transient analysis for leak detection and calibration of water pipe systems modelling special dynamic effects, Thesis, *Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London*, London, UK. 322p.
- 6- Covas, D., Stoianov, I., Mano, J., Ramos, H., Graham, N. and Maksimovic, C., 2004. The dynamic effect of pipe-wall viscoelasticity in hydraulic transients, Part I—Experimental analysis and creep characterization. *Journal of Hydraulic Research, IAHR*. 42(5), pp.516-530.
- 7- Covas, D., Stoianov, I., Mano, J., Ramos, H., Graham, N. and Maksimovic, C., 2005. The dynamic effect of pipe-wall viscoelasticity in hydraulic transients, Part II—Model development, calibration and verification. *Journal of Hydraulic Research, IAHR*. 43(1), pp.56-70.
- 8- Carriço, N.J., Soares, A.K. and Covas, D.I.C. 2016. Uncertainties of inverse transient modelling with unsteady friction and pipe-wall viscoelasticity. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 65(4), pp.342-353.
- 9- Daily, J.W., Hankey, Jr.W.L., Olive, R.W. and Jordan, Jr.J.M., 1956. Resistance coefficients for accelerated and decelerated flows through smooth tubes and orifices. *Journal of Basic Engineering, Trans. ASME*. 78(7), pp.1071-1077.
- 10- Evangelista, S., Leopardi, A., Pignatelli, R. and de Marinis, G., 2015. Hydraulic transients in viscoelastic branched pipelines. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 141(8), pp.1-9.
- 11- Joukowski, N.E., 1904. Waterhammer (Mem. Imperial Academy Soc. of St. Petersburg, 1898) (In Russian. translated by O. Simin). In *the 24th Annual Convention of the American Water Works Association*.
- 12- Pezzinga, G., 1999. Quasi-2D model for unsteady flow in pipe networks. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(7), pp.676-685.
- 13- Rahmanshahi, M., Fathi-Moghaddam, M. and Haghghi, A., 2019. Numerical simulation of dynamic phenomena of unsteady friction and viscoelastic effects in pipeline under the transient flow. *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(4), pp.201-216. (In Persian).
- 14- Soares, A.K., Covas, D. and Reis, F.R., 2008. Analysis of PVC pipe-wall viscoelasticity during water hammer. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 134(9), pp.1389-1394.
- 15- Trikha, A.K., 1975. An efficient method for simulating frequency-dependent friction in transient liquid flow. *Journal of Fluids Engineering, Trans. ASME*, 97(1), pp.97-105.
- 16- Vitkovsky, J.P., Lambert, M.F. and Simpson, A.R., 2000. Advances in unsteady friction modelling in transient pipe flow. In *the 8th International Conference on Pressure Surges. BHR Group Ltd., The Hague, The Netherlands*.
- 17- Zielke, W., 1968. Frequency-dependent friction in transient pipe flow. *Journal of Basic Engineering, Trans. ASME. Series D*. 90(1), pp.109-115.

## Modeling of Greenhouse Gas Emissions in Sugarcane Cultivation and Industry in Khuzestan Province

N. Moradimajd<sup>1</sup>, G.A. Fallah Ghalhari<sup>2\*</sup> and M. Chatrenour<sup>3</sup>

1- Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

2\* - Corresponding Author, Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. ([g.fallah@hsu.ac.ir](mailto:g.fallah@hsu.ac.ir)).

3- Department of land evaluation, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREE), Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 10 September 2021

Revised: 16 September 2022

Accepted: 19 September 2022

#### Keywords:

Nitrous oxide, Nitric oxide,  
Methane, DAYCENT software,  
Khuzestan sugarcane.

### TO CITE THIS ARTICLE:

Moradimajd, N., Fallahghalhari, G. A., Chatrenour, M. (2023). 'Modeling of Greenhouse Gas Emissions in Sugarcane Cultivation and Industry in Khuzestan Province', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(2), pp. 45-57. doi: 10.22055/jise.2022.38525.1990.

### Introduction

During the last few decades, greenhouse gases have affected the earth's radiation balance by keeping long-wavelength radiation in the atmosphere and increasing the air temperature (Bakht Firouz and Raeini Sarajaz, 2013). The agricultural sector has played an important role in emitting greenhouse gases through using fossil fuels, carbon losses through tillage operations, incineration of crop and forest trees, livestock, the use of livestock manure and construction, and the use of chemical fertilizers. So, the share of this sector in climate change is about 13.5%, of which 60% is related to nitrogen oxide, 39% to methane, and 1% to nitrogen dioxide (IPCC, 2007).

Considering the vast area under cultivation of sugarcane in Khuzestan province and the use of chemical fertilizers as well as the burning of its residues every year, it is necessary to determine the amount of greenhouse gas production in these areas. Therefore, the purpose of this study was to use the DAYCENT model to determine the amount of gas flux emitted in sugarcane cultivation in Khuzestan province and to determine the efficiency of this model with statistics of coefficient of determination, maximum error, root mean square error, model efficiency, and residual mass coefficient. The other purpose of this study is to compare the amount of global warming potential and production of methane, nitrous oxide, and nitric oxide emissions between Shustar and Abadan agro-industrial stations.

### Materials and methods

The present study was conducted in the form of random sampling with two factors of culture type and sampling date on the rate of methane emission, nitrous oxide, and nitric oxide. It was used to measure the gas produced from the soil surface by the closed chamber method and gas chromatography. Three chambers were set up in each field. Three hours after the installation of the chambers, they were sampled from inside with the help of a syringe. The samples were immediately transferred to the laboratory to read the amount of gas and measured by a gas chromatograph (GC)

model UNICAM Series 610 equipped with ECD and FID sensors. This device reads the volume of gas accurately in millions. By investing the volume of the chamber and the installation time of the chambers, finally, the amount of gas expansion was calculated based on the amount of gas expansion in terms of mass per unit area per unit time. Six samplings were performed in two-season sugarcane crops in three replications during the research period. In the next step, greenhouse gases were estimated using the DAYCENT model. DAYCENT model inputs include observed daily rainfall and maximum and minimum daily temperature. The input of soil variables includes texture, density, thickness, field capacity, wilting point, pH, saturated hydraulics, and conductivity for 14 soil layers. This model has been validated using observed data related to crop production, soil organic matter, nutrient circulation, and trace gases (Hartman *et al.*, 2011). To calculate the global warming potential, the unit of this index was expressed as the equivalent of carbon dioxide. For this purpose, the amount of nitrous oxide gas with a coefficient of 310, methane with a coefficient of 21, and nitric oxide with a coefficient of 298 were entered into the calculations. Finally, the statistical indicators of maximum error, root mean square error, coefficient of determination, model efficiency, and residual mass coefficient were used to evaluate the modeling accuracy (Ewert *et al.*, 2005; Dashtaki *et al.*, 2010).

### Results and discussion

The results of the average methane gas flux in Shushtar station (160 kg per hectare per year) were higher than in Abadan station (120 kg per hectare per year). Shushtar sugarcane cultivation with higher average rainfall had higher methane flux than Abadan sugarcane cultivation. For Shushtar and Abadan stations, the average nitrous oxide gas flux was approximately equal (2 kg per hectare per year). The average flux of nitric oxide gas modeled at the Abadan site was 6 kg per hectare per year. The flux outputs of nitrous oxide and nitric oxide were obtained due to the same fertilization in both similar stations, with a slight difference.

Based on the results of calculations of a global warming potential coefficient of methane, nitrous oxide, and nitric oxide, Shushtar station obtained an average global warming potential (5172 kg equivalent of carbon dioxide) higher than the average global warming potential of Abadan station (4928 kg equivalent of Carbon dioxide). The higher average global warming potential at Shushtar station is due to more methane emissions in this station than at Abadan station. In low and medium temperature changes, this station had a higher global warming potential than Abadan station, but in high-temperature changes, Abadan station showed more global warming potential. In global precipitation changes of negative 2, positive 7, and 14% at Shushtar station, more global warming potential was obtained. Different statistical indicators were used to evaluate the accuracy of the DAYCENT model. The results showed that the statistical index's coefficient of determination ( $R^2$ ) of nitrous oxide has the highest accuracy. However, all three gases have a suitable accuracy range above 0.50. The RPD (efficiency deviation ratio) index showed that the value for nitrous oxide was 2.6, but in all, they had a good accuracy range.

### Conclusion

Shushtar station, with a higher average rainfall level, had a higher methane flux than Abadan station. The results of nitrous oxide and nitric oxide flux rates were similar. The Shushtar sugarcane industry had a higher global warming potential than the Abadan sugarcane industry, which was determined to be the main cause of high nitric and nitrous oxide emissions. The average output of environmental emission costs also showed the largest share of nitric oxide gas emissions. Based on statistical indicators, three greenhouse gases of nitrous oxide, methane, and nitric oxide were in the appropriate accuracy range. The DAYCENT modeling program showed that it is an integrated model that facilitates the interconnection of ecosystem processes.



### Acknowledgments

The authors of the article thank the officials of the Soil Laboratory of the Shahid Chamran University of Ahvaz for their assistance in the various stages of this research. The authors also thank the Meteorological Agency for providing the required meteorological data.

- 1- Bakht Firouz, A., and Raeini Sarajaz, M. 2013. Effect of paddy field drainage systems on methane greenhouse gas emission reduction. *Iranian Water and Soil Research*; 44 (1): 1-10. (In Persian).
- 2- Dashtaki, S. G., Homaei, M., and Khodaverdiloo, H. 2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. *Soil Use and Management*; 26(1): 68-74.
- 3- Ewert, F., Rounsevell, M. D. A., Reginster, I., Metzger, M. G., and Leemans, R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agricultura Ecosystem Environmental*; 107:101–116.
- 4- Hartman, M., Merchant, E. R., Parton, W. J., Gutmann, M. P., Lutz, S., and Williams, S. A. 2011. Impact of historical land-use changes on greenhouse gas exchange in the U.S. Great Plains, 1883–2003, *Ecological applications*; 21(4):1105–1119.
- 5- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for policy makers. The physical science basis. Cambridge University. Press; 165-177.



© 2023 Shahid Chamran University of Ahvaz, 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/>).

## مدل سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت و صنعت نیشکر استان خوزستان

نسرین مرادی مجد<sup>۱</sup>، غلامعباس فلاح قاهری<sup>۲</sup> و منصور چترنور<sup>۳</sup>

- ۱- دکتری اقلیم شناسی کشاورزی، گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.  
 ۲- نویسنده مسئول، استاد آب و هواشناسی، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
 g.fallah@hsu.ac.ir  
 ۳- پژوهشگر بخش ارزیابی اراضی، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۹

### چکیده

در سال‌های اخیر، خاک ورزی بیش از حد، سوء مصرف کودهای شیمیایی و تغییر کاربری اراضی کشاورزی، سبب تولید گازهایی مانند اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک و غیره شده است. پژوهش حاضر، با هدف تعیین نرخ تصاعد گازهای مذکور در اراضی تحت کشت نیشکر انجام شده است. با استفاده از نرم‌افزار DAYCENT، انتشار گازهای مذکور در ایستگاه‌های کشت و صنعت حکیم فارابی، میرزا کوچک خان، امیرکبیر، دعبل خزایی، سلمان فارسی، امام خمینی، دهخدا، کارون و هفت‌تپه شبیه‌سازی و سپس پتانسیل گرمایش جهانی، به‌دست آمد. به‌منظور بررسی دقت شبیه‌سازی، از آماره‌های ضریب تعیین، خطای حداکثر، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا و ضریب جرم باقی‌مانده استفاده شد. نتایج داده‌های مشاهده شده در ایستگاه شوشتر، میانگین متان ۱۰۲، اکسید نیتروس هفت و اکسید نیتریک ۳۳ کیلوگرم در هکتار و برای ایستگاه آبادان شار متان مدل شده ۹۵، اکسید نیتروس هفت و اکسید نیتریک ۳۶ کیلوگرم در هکتار در سال به‌دست آمد. نتایج مدل شده در ایستگاه شوشتر، میانگین متان ۱۶۰، اکسید نیتروس دو و اکسید نیتریک چهار کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و برای ایستگاه آبادان شار متان مدل شده ۱۲۰، اکسید نیتروس دو و اکسید نیتریک شش کیلوگرم در هکتار در سال به‌دست آمد. با توجه به نتایج شاخص‌های آماری در هر سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک به‌ترتیب، ضریب تعیین (۰/۹۸، ۰/۹۹ و ۰/۷۷)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (۰/۰۵۵۸۰۸، ۰/۳۱۰۲۱۸ و ۰/۰۳۸۸۴۲) و کارایی مدل (۰/۶۱۹۰۰۲، ۰/۸۵۴۵۴۳ و ۰/۷۶۷۲۰۵) مدل DAYCENT دقت قابل‌قبولی را برای هر سه گاز نشان داده است.

کلید واژه‌ها: اکسید نیتروس، اکسید نیتریک، متان، نرم‌افزار DAYCENT، نیشکر خوزستان.

### مقدمه

داشته است IPCC (2001) که ۶۰ درصد آن مربوط به اکسید نیتروژن، ۳۹ درصد متان و یک درصد دی اکسید نیتروژن در گرمایش جهانی مربوط به بخش کشاورزی است (IPCC, 2007). نیشکر گیاهی از جنس تباشیر (Saccharum.L)، از تیره غلات و بومی مناطق معتدل، گرم تا حاره است. کشت این گیاه در خوزستان ۷۰۰ تا ۸۰۰ سال قبل از میلاد رواج داشته و کلمه خوزستان به معنی شکرستان است. آغاز فعالیت برای کشت نیشکر در خوزستان در سال ۱۳۱۶ - ۱۳۱۸ بوده ولی شروع جنگ جهانی و کارشکنی شرکت نفتی سابق ایران و انگلیس باعث عدم رسیدگی به این فعالیت شد. با همکاری فائو در سال ۱۳۳۰ برنامه کشت نیشکر در خوزستان پایه‌گذاری و تا امروز ادامه داشته به‌طوری که در حال حاضر برنامه توسعه نیشکر یکی از بزرگ‌ترین طرح‌های ملی ایران است.

در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است. در این رابطه Moradi و

گازهای گلخانه‌ای پدیده‌ای است که روی تعادل تابشی کره زمین اثر گذاشته و در طی چند دهه اخیر سبب بالا رفتن دمای هوا در کره زمین و همچنین اختلال در محیط‌زیست شده است (Pourkhabaz, 2002). افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر، مانند دی اکسید کربن، متان و اکسیدهای ازت سبب گیر افتادن انرژی تابش طول موج‌های بلند در جو زمین می‌شود (Bakht Firouz and Raeini, 2013). در این بین زمین‌های کشاورزی سهم مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته‌اند که منابع اصلی آن شامل سوخت‌های فسیلی استفاده‌شده در فعالیت‌های کشاورزی، تلفات کربن خاک به‌دلیل عملیات خاک ورزی، سوزاندن بقایای گیاهان زراعی و درختان جنگلی، دامداری، استفاده از کودهای دامی و ساخت و بهره‌برداری از کودهای شیمیایی است (Kochaki and Kamali, 2010). سهم بخش کشاورزی در پدیده تغییر اقلیم حدود ۱۳/۵ درصد

جاده اهواز- شوشتر بین ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه فرض شمالی انجام شد.

### نمونه برداری از گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته از خاک

پژوهش حاضر در قالب نمونه‌گیری تصادفی با دو عامل نوع کشت و تاریخ نمونه‌برداری بر میزان تصاعد متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک اجرا شد (جدول ۱). برای اندازه‌گیری گاز متان تولیدشده از سطح خاک، از روش اتاقتک بسته و کروماتوگرافی گازی استفاده شد. در هر کشتزار سه اتاقتک قرار داده شد. پس از گذشت سه ساعت از نصب اتاقتک‌ها، از درون آن‌ها به کمک سرنگ نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها بلافاصله برای قرائت میزان گاز متان به آزمایشگاه منتقل و توسط دستگاه گاز کروماتوگراف (GC) مدل UNICAM سری ۶۱۰ مجهز به حسگرهای ECD و FID اندازه‌گیری شد. این دستگاه مقدار حجمی گاز را با دقت بخش در میلیون قرائت می‌کند. با دخالت حجم اتاقتک و مدت زمان نصب اتاقتک‌ها در نهایت مقدار تصاعد گازها، بر اساس میزان تصاعد گاز مورد نظر بر حسب جرم از واحد سطح در واحد زمان محاسبه شد. برای اندازه‌گیری گازهای اکسید نیتروس و اکسید نیتریک از اندازه‌گیری اکسیدهای نیتروژن در دستگاه آنالایزر مدل-APNA 370 استفاده شد. این آنالایزر غلظت اکسیدهای نیتروژن را در هوای محیطی اندازه‌گیری می‌کند. در طول دوره تحقیق شش نمونه‌برداری در دو فصل از کشت‌های زراعی نیشکر در سه تکرار انجام شد. (Moradi-Majd et al., 2022). این مقادیر به‌دست آمده به کل سال تعمیم داده شدند.

**مدل DAYCENT:** این مدل در ابتدا در دهه ۱۹۷۰ به‌منظور شبیه‌سازی تغییرات مواد آلی خاک (SOM)، بهره‌وری گیاهان، دسترسی به مواد مغذی و دیگر پارامترهای اکوسیستم در پاسخ به تغییر در مدیریت زمین و آب و هوا به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت و نشان داد که به‌منظور شبیه‌سازی رشد گیاه و تغییرات مواد آلی خاک برای اکثر اکوسیستم‌های زمینی در سراسر جهان قابل استفاده است. افزایش توجه به انجام تجزیه و تحلیل گازهای گلخانه‌ای، به توسعه DAYCENT در سال ۱۹۹۴ منجر شد. مدل DAYCENT شامل زیر مدلی در مرحله تولید گیاهان و زیر مدلی برای پویایی مرحله به مرحله روزانه جریان گاز کمیاب، گردش مواد مغذی، جریان آب و مواد آلی خاک (SOM) است. برنامه مدل DAYCENT در زبان برنامه‌نویسی FORTRAN و C نوشته شده و می‌تواند از پنجره DOS یا یک پلت فرم لینوکس استفاده شود. DAYCENT شامل تعدادی از فایل‌های پارامتری، فایل

Pour Ghasemian (2018) در پژوهشی به بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نهاده‌های شیمیایی در زراعت سیب‌زمینی و پیاز و هندوانه در استان کرمان پرداختند، و مشاهده کردند میزان انتشار گاز گلخانه‌ای اثر مصرف کود نیتروژن بیش از سایر نهاده‌های شیمیایی بود (Abdi و Safari (2016) از بقایای کلزا و گندم در ترکیب با کود دامی میزان تولید گاز گلخانه‌ای را بررسی کرده و مشاهده کردند متوسط تولید جمعی گاز متان در بقایای کلزا بیشتر بوده است. Weiler et al. (2018) شبیه‌سازی سالانه میزان انتشار متان و کربن آلی خاک در سیستم کشت برنج نیمه گرمسیری با روش DAYCENT انجام دادند. در پژوهش آن‌ها مقایسه مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی جریان متان روزانه نشان داد که مدل DAYCENT الگوهای کلی شار متان را با اختلاف کمی محاسبه نموده و عملکرد کلی قابل قبولی داشته است. Fitton et al. (2019) مدل‌سازی ضریب بیولوژیکی نیتروژن و پویایی علفزار مبتنی بر فرآیند بیوژئوشیمیایی، با دو روش APSIM و DAYCENT، در مقایسه با مجموعه داده‌های تجربی انجام دادند. و مشاهده کردند که هر دو مدل جنبه‌های کلیدی رشد علف‌های هرز، از جمله تولید زیست توده، تعاملات بین تغییر دانه و علف، به ویژه مخلوط با کسر شدید بالا را محاسبه کردند.

با توجه با اثرات زیان‌بار گازهای گلخانه‌ای و سطح زیر کشت و غالب بودن گیاه نیشکر در استان خوزستان و استفاده از کودهای شیمیایی و همچنین آتش‌سوزی بقایای آن در هر سال، نیاز است که میزان تولید گاز گلخانه‌ای در این مناطق تعیین شود بنابراین هدف از این پژوهش استفاده از مدل DAYCENT در تعیین میزان شار گاز متصاعد شده در کشت نیشکر در استان خوزستان و تعیین کارایی این مدل با آماره‌های ضریب تعیین، خطای حداکثر، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، کارایی مدل و ضریب جرم باقیمانده بود. هدف دیگر این پژوهش مقایسه مقدار پتانسیل گرمایش جهانی و تولید گازهای متان، نیتروس اکسید و نیتریک اکسید خروجی در بین دو ایستگاه کشت و صنعت‌های شوشتر و آبادان تعیین گردید.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

این پژوهش در مزارع نیشکر استان خوزستان و در دو منطقه با مدیریت متفاوت که منطقه اول شامل کشت و صنعت حکیم فارابی، میرزا کوچک خان، امیرکبیر، دعبیل خزایی و سلمان فارسی با مساحت تقریبی ۶۲ هزار هکتار واقع در جاده اهواز- آبادان با موقعیت جغرافیایی طول ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه و همچنین منطقه دیگر کشت و صنعت امام خمینی، دهخدا، کارون و هفت‌تپه با مساحت تقریبی ۴۸ هزار هکتار و واقع در

محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی GWP: محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس گزارش‌ها Robertson et al. (2000) و Thelen et al. (2010) انجام شد. به‌منظور محاسبه این شاخص، میزان انتشار متان، اکسیدنیتروس و اکسید نیتریک محاسبه شده برای محصول در نظر گرفته شد. اثر هر کدام از گازها بر گرمایش زمین متفاوت است، به‌طوری که هر واحد متان و اکسیدنیتروس و اکسید نیتریک به‌ترتیب حدود ۲۱ و ۳۱۰ و ۲۹۸ برابر دی‌اکسیدکربن در گرمایش زمین نقش دارند (IPCC, 2007). بنابراین، واحد این شاخص به‌صورت معادل دی‌اکسیدکربن بیان گردید. برای این منظور، میزان گاز اکسیدنیتروس با ضریب ۳۱۰ و متان با ضریب ۲۱ و اکسید نیتریک ۲۹۸ در محاسبات وارد شد. در نهایت میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد.

$$GWP = (N_2O \text{ FLUX} \times 310) + (NO \text{ FLUX} \times 298) + (CH_4 \text{ FLUX} \times 21) \quad (2)$$

در این رابطه، GWP: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار)،  $N_2O \text{ FLUX}$ : انتشار اکسید نیتروژن،  $NO \text{ FLUX}$ : انتشار اکسیدنیتریک و  $CH_4 \text{ FLUX}$ : انتشار متان می‌باشند.

برنامه، فایل وضعیت آب و هوا و بسیاری از فایل‌های خروجی است. فایل‌های پارامتر ورودی با یک پسوند "۱۰۰" استفاده می‌شود. فایل‌های پارامتر ورودی منحصر به DAYCENT دارای فرمت ".in" است. فایل‌های آب و هوای روزانه دارای پسوند ".wth" هستند. همه فایل‌های پارامتر ورودی (\*، \*.in، \*.dat)، فایل‌های هواشناسی (\*، \*.wth) و فایل برنامه (\*، \*.sch) فایل‌های متنی هستند که می‌توانند با هر ویرایشگر متن به روز شوند. فایل‌های باینری خروجی با ".bin"، ".out" و ".csv" هستند. برنامه List100 برای استخراج مقادیر از فایل باینری استفاده می‌شود و آن‌ها را به یک فایل متنی با پسوند ".lis" ارسال می‌کند (Hartman et al., 2016). ورودی‌های مدل DAYCENT شامل بارش روزانه مشاهده شده و حداکثر و حداقل دما روزانه؛ ورودی متغیرهای خاک شامل بافت، چگالی تراکم، ضخامت، ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی، pH، هیدرولیک اشباع‌شده و رسانایی برای ۱۴ لایه خاک می‌باشد. این مدل با استفاده از داده‌های مشاهده شده مربوط به تولید گیاهان، ماده آلی خاک، گردش مواد مغذی و گازهای کمیاب اعتبارسنجی شده است (Hartman et al., 2011). برنامه نوشته‌شده در محیط DAYCENT جهت کشت نیشکر در رابطه (۱) آورده شده است.

1 50 CULT P 1 98 FERT 3N 1 129 FERT  
4N 1 180 FERT 3N 1 206 PLTM 1 211  
IRRI A60 1 254 IRRI A0 1 284 LAST (۱)

جدول ۱- برنامه نمونه برداری از گازها در کشت و صنعت‌های مورد مطالعه

Table 1- Gas samplings schedule in studied agro-industries

Abadan	Farabi	spring	15 Apr	28 May	24 Jun	19 Jul	10 Sep	15 Sep
		autumn	12 Oct	17 Nov	14 Dec	24 Jan	11 Mar	20 Mar
	Mirza Kuchak Khan	spring	15 Apr	28 May	24 Jun	19 Jul	10 Sep	15 Sep
		autumn	12 Oct	17 Nov	14 Dec	24 Jan	11 Mar	20 Mar
	Amir Kabir	spring	15 Apr	28 May	24 Jun	19 Jul	10 Sep	15 Sep
		autumn	12 Oct	17 Nov	14 Dec	24 Jan	11 Mar	20 Mar
	Dabal Khazaei	spring	15 Apr	28 May	24 Jun	19 Jul	10 Sep	15 Sep
		autumn	12 Oct	17 Nov	14 Dec	24 Jan	11 Mar	20 Mar
	Salman Farsi	spring	15 Apr	28 May	24 Jun	19 Jul	10 Sep	15 Sep
		autumn	12 Oct	17 Nov	14 Dec	24 Jan	11 Mar	20 Mar
Shushtar	Imam Khomeini	spring	15 Apr	25 May	24 Jun	16 Jul	7 Sep	10 Sep
		autumn	18 Oct	21 Nov	19 Dec	21 Jan	17 Mar	25 Mar
	Dehkhoda	spring	15 Apr	25 May	24 Jun	16 Jul	7 Sep	10 Sep
		autumn	18 Oct	21 Nov	19 Dec	21 Jan	17 Mar	25 Mar
	Karoon	spring	15 Apr	25 May	24 Jun	16 Jul	7 Sep	10 Sep
		autumn	18 Oct	21 Nov	19 Dec	21 Jan	17 Mar	25 Mar
	Haft Tappeh	spring	15 Apr	25 May	24 Jun	16 Jul	7 Sep	10 Sep
		autumn	18 Oct	21 Nov	19 Dec	21 Jan	17 Mar	25 Mar

$$ME = \text{MAX } |Pi - Oi|_{i=1}^n \quad (۳)$$

$$RMSE = \sum_{i=1}^n \sqrt{(Pi - Oi)^2/n} \quad (۴)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (Pi - \bar{O})^2} \quad (۵)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2} \quad (۶)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n Oi - \sum_{i=1}^n Pi}{\sum_{i=1}^n Oi} \quad (۷)$$

که در روابط فوق، Pi مقادیر شبیه‌سازی شده، Qi مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به کاررفته است.

### نتایج و بحث

#### نتایج حاصل از شار گازهای برآورد شده مدل DAYCENT

##### بر اساس میانگین سالانه دما و بارش

نتایج آماری گازهای برآورد شده مدل DAYCENT در جدول (۲) آورده شده است. نتایج میانگین شار گاز متان در ایستگاه شوشتر (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار در سال) بیشتر از ایستگاه آبادان (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال) به دست آمد. کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر با سطح متوسط بارش بیشتر، شار متان بالاتری را در مقابل کشت و صنعت نیشکر آبادان داشتند. برای دو ایستگاه شوشتر و آبادان میانگین شار گاز اکسید نیتروس تقریباً برابری (دو کیلوگرم در هکتار در سال) تعیین شد. میانگین شار گاز اکسید نیتریک مدل شده در سایت آبادان نیز شش کیلوگرم در هکتار در سال به دست آمد. خروجی شار دو گاز اکسید نیتروس و اکسید نیتریک به دلیل کود دهی یکسان در هر دو ایستگاه مشابه و با اختلاف ناچیز تعیین شد.

#### شاخص‌های آماری

به منظور ارزیابی دقت مدل‌سازی، از شاخص‌های آماری خطای حداکثر، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، ضریب تعیین، کارایی مدل و ضریب جرم باقی‌مانده استفاده شد. برای بررسی تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده از ضریبی به نام ضریب تبیین  $R^2$  استفاده می‌شود (Ewert et al., 2005). در علم آمار این ضریب به دو صورت تعریف می‌شود. تعریف اول عبارت است از  $R^2 = 1 - \frac{\sum (Pi - \bar{O})^2}{\sum (Oi - \bar{O})^2}$  و تعریف دیگر  $R^2 = \frac{\sum (Pi - \bar{O})^2}{\sum (Oi - \bar{O})^2}$  است. در بررسی کمی مدل‌ها شاخص CD در حقیقت معکوس تعریف دوم و شاخص EF همان تعریف اول از  $R^2$  است. تعریف اول همواره بین صفر و یک تغییر می‌کند و تعریف دوم، می‌تواند از یک بزرگ‌تر شود. مقادیر بالای ME نشانگر بدترین پیش‌بینی مدل است. مقادیر RMSE بالا نشان می‌دهد که چه مقدار پیش‌بینی‌ها دست پایین یا دست بالا بوده‌اند و به طور کلی میزان خطای مدل را در برآورد داده‌ها عنوان می‌کند (Dashtaki et al., 2010). در این پژوهش برای محاسبه RMSE از روش نزدیک‌ترین همسایه مارکوارت استفاده شد. مقادیر CD نیز معرف نسبت بین پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده است. حد پایینی ME، RMSE و CD صفر است. مقایسه‌ی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و متوسط مقادیر مشاهده شده توسط شاخص EF انجام می‌گیرد. هر چه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد مدل پیش‌بینی بهتری داشته است. شاخص CRM میل مدل به پیش برآوردی و کم برآوردی را نشان می‌دهد (Khodaverdiloo et al., 2011). میزان CRM منفی یعنی مدل مقادیر را بیشتر و CRM مثبت یعنی مدل داده‌ها را کمتر از داده‌های مشاهده شده پیش‌بینی کرده است. اگر مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده مدل برابر باشند،  $ME = 0$ ،  $RMSE = 0$ ،  $CD = 1$ ،  $EF = 1$  و  $CRM = 0$  است. تفسیر ریاضی شاخص‌های آماری بالا به صورت زیر است (Kottegoda and Rosso, 2008).

#### جدول ۲- میانگین، کمینه و بیشینه گازهای متان، نیتروس اکسید و نیتریک اکسید در هکتار در سال در ایستگاه‌های مورد نظر

Table 2- Average, minimum and maximum gases of methane, nitrous oxide and nitric oxide per hectare per year in desired stations

site	Variable	CV (%)	max	Min	mean
Shushtar	CH4 Flux	3.8	600	100	160
	N2O Flux	48.2	39	1	2
	Flux NO	53.5	154	1	4
Abadan	CH4 Flux	4.2	570	82	120
	N2O Flux	59.3	44	2	2
	Flux NO	78.5	165	3	6

جدول ۳- پارامترهای آماری شار گاز با افزایش میانگین سالانه دما ۱، ۲/۵ و ۴/۲ در ایستگاه‌های مورد نظر  
**Table 3 - Statistical parameters of gas flux with increasing annual average temperature 1, 2.5 and 4.2 °C in desired stations**

Low temperature changes (1°C)								
Variable	site	max	min	mea n	site	max	min	Mean
CH <sub>4</sub> Flux	Abada	576	88	124	Shushtar	608	108	165
N <sub>2</sub> O Flux	n	48	4	4		41	2	4
Flux NO		170	4	7		158	1	5
Medium temperature changes (2.5°C)								
Variable		max	min	mea n		max	min	mean
CH <sub>4</sub> Flux		585	94	132		610	112	171
N <sub>2</sub> O Flux		52	7	9		50	6	9
Flux NO		172	5	7		161	2	6
High temperature changes (4.5°C)								
Variable		max	min	mea n		max	min	Mean
CH <sub>4</sub> Flux		592	103	138		622	118	179
N <sub>2</sub> O Flux		59	10	14		58	9	13
Flux NO		179	7	10		168	3	8

میزان بارندگی و دما منطقه متغیر است که با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش هم‌خوانی دارد.

#### نتایج حاصل از شار گازهای برآورد شده مدل DAYCENT بر اساس تغییرات میانگین سالانه بارش:

در مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک بر اساس میانگین سالانه بارش و تغییرات بارش منفی دو، مثبت و ۱۴ درصد در کشت و صنعت شوشتر، با تغییر منفی دو درصد، کاهش شار متان را داریم ولی با افزایش بارش به میزان هفت و ۱۴ درصد شار متان افزایش زیادی می‌یابد و روند نمودار حالت صعودی بدست آمد. شار اکسید نیتروس با افزایش بارش روند بسیار سریع افزایشی به صورت نمایی را نشان داد. شار گاز اکسید نیتریک نیز با افزایش بارش روند صعودی داشت. با مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک بر اساس میانگین سالانه بارش و با تغییرات بارش در کشت و صنعت آبادان، در تغییر منفی دو درصد، کاهش جذب متان بدست آمد. با افزایش بارش به میزان مثبت هفت و ۱۴ درصد این روند افزایش نشان داد و شار اکسید نیتروس و اکسید نیتریک با افزایش چشمگیر تعیین شد (جدول ۴).

#### نتایج حاصل از محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی GWP بر اساس میانگین سالانه دما و بارش:

بر اساس نتایج به‌دست آمده از محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک، ایستگاه

#### نتایج حاصل از شار گازهای برآورد شده مدل DAYCENT بر اساس تغییرات میانگین سالانه دما:

همچنین مدل DAYCENT بر اساس متوسط دمای سالانه هوا (۱، ۲/۵ و ۴/۲)، نرخ شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک را در هر دو ایستگاه شوشتر و آبادان شبیه‌سازی کرد (جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک بر اساس میانگین سالانه دما و با افزایش میانگین سالانه دمایی ۱، ۲/۵ و ۴/۲ در کشت و صنعت‌های شوشتر، روند شار متان تقریباً به صورت ثابت به‌دست آمد. همچنین روند شار اکسید نیتروس با افزایش دما افزایش نشان می‌دهد. این روند در افزایش دمای ۴/۵ درجه سانتی‌گراد شتاب می‌گیرد که نشان‌دهنده وابستگی شار اکسید نیتروس به دمای خاک است. روند شار اکسید نیتریک روند تغییرات بسیار ناچیزی را به‌دست آورده است. در مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک مدل شده و با افزایش میانگین سالانه دما ۱، ۲/۵ و ۴/۲ در کشت و صنعت‌های آبادان، روند شار متان تقریباً به‌صورت ثابت تعیین شد. ولی روند شار اکسید نیتروس با افزایش دما افزایش می‌یابد. این روند در افزایش دمای ۴/۵ درجه سانتی‌گراد به حداکثر می‌رسد و روند افزایشی دارد و همچنین روند شار اکسید نیتریک تقریباً ثابت به‌دست آمد. Nikbakht Shahbazi (2018) نیز در پژوهش خود به این نکته اشاره دارد که تغییرات بارش و دما بر رشد و نمو گیاه نیشکر و تاثیرات متقابل خاک و گیاه و اکولوژی مزارع نیشکر موثر است. Dastan et al. (2016) نیز نشان دادند انتشار گازهای گلخانه‌ای از مزارع با توجه به

نیترژن) بیشترین اثر را در انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی داشته است.

#### نتایج حاصل از محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی GWP بر اساس تغییرات میانگین سالانه دما:

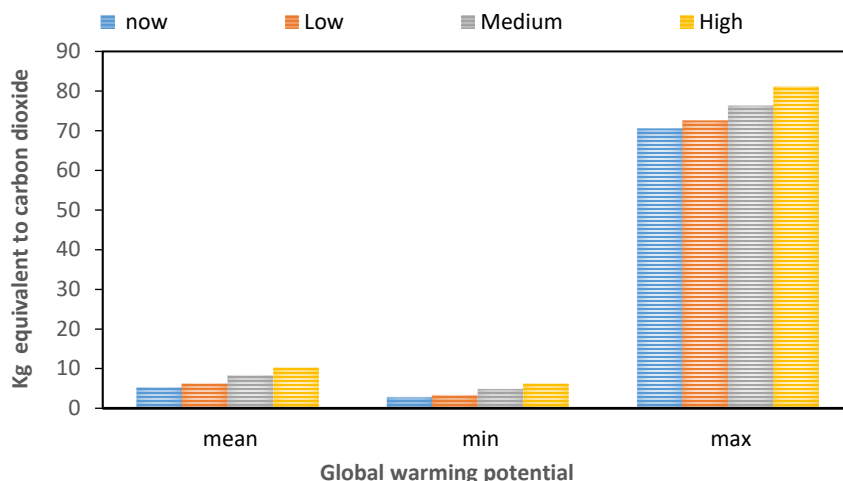
پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتروژن در کشت و صنعت‌های شوشتر و آبادان بر اساس تغییرات متوسط دمای سالانه هوا ( $1^{\circ}\text{C}$ ،  $2/5$  و  $4/2$ ) شکل‌های (۱) و (۲) محاسبه شد. در تغییرات دمایی پایین و متوسط نیز این ایستگاه نسبت به ایستگاه آبادان پتانسیل گرمایش جهانی بالاتری داشت ولی در تغییرات دمایی بالا ایستگاه آبادان پتانسیل گرمایش جهانی بیشتری را نشان داد. در تغییرات بارش منفی دو، مثبت هفت و ۱۴ درصد ایستگاه شوشتر پتانسیل گرمایش جهانی بیشتری را به دست آورد.

شوشتر میانگین پتانسیل گرمایش جهانی (۵۱۷۲) کیلوگرم معادل دی اکسید کربن) بیشتری نسبت به میانگین پتانسیل گرمایش جهانی ایستگاه آبادان (۴۹۲۸) کیلوگرم معادل دی اکسید کربن) را به دست آورد. بیشتر بودن میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در ایستگاه شوشتر به دلیل انتشار بیشتر متان در این ایستگاه نسبت به ایستگاه آبادان می باشد. Dastan et al. (2016) نیز نشان دادند انتشار گازهای ناشی از کاربرد کود شیمیایی نیترژن، استفاده از علف کش‌ها، قارچ کش‌ها و حشره کش‌ها بخش قابل توجهی در پتانسیل گرمایش جهانی مزارع دارد. علاوه بر این، نتایج پژوهش‌های Lal (2004) و Tzilivakis et al. (2005) در سایر محصولات زراعی نیاز نشان داد که مصرف کودهای شیمیایی (به‌ویژه کود

#### جدول ۴- پارامترهای آماری شار گاز با افزایش میانگین سالانه بارش ۲- و ۷+ و ۱۴+ درصد در ایستگاه‌های مورد نظر

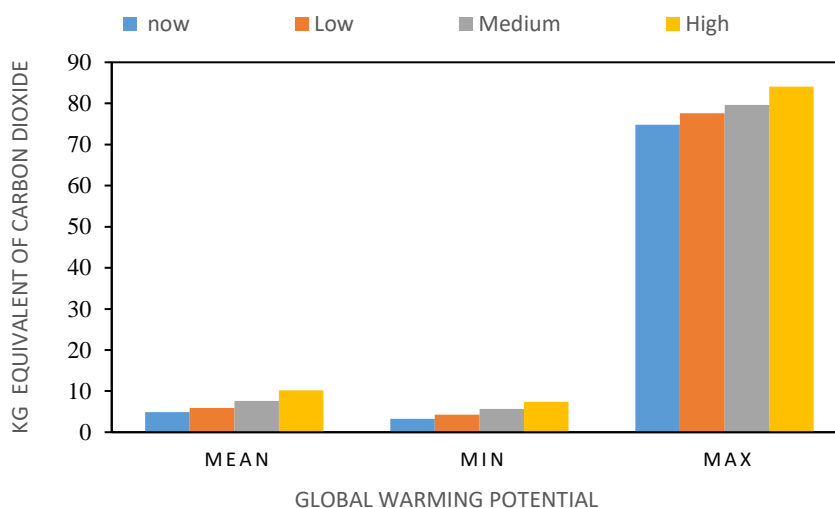
Table 4- Statistical parameters of gas flux with increasing annual average precipitation -2 , +7 and +14% in desired stations

Low precipitation changes (- 2% )								
Variable	site	max	min	mea	site	max	min	Mean
				n				
CH <sub>4</sub> Flux	Abada	555	57	107	Shushtar	587	96	142
N <sub>2</sub> O Flux	n	20	0	1		18	0	1
Flux NO		152	2	4		132	0	3
Medium precipitation changes (+7%)								
Variable		max	min	mea		max	min	mean
CH <sub>4</sub> Flux				n		660	175	200
		617	155	180		18	9	14
N <sub>2</sub> O Flux		16	9	14		188	8	42
Flux NO		194	10	56		660	175	200
High precipitation changes (+14%)								
Variable		max	min	mea		max	min	Mean
CH <sub>4</sub> Flux				n		679	197	409
		640	168	196		53	18	30
N <sub>2</sub> O Flux		52	18	30		207	53	62
Flux NO		218	56	60		679	197	409



**Fig. 1- Global warming potential of three gases with temperature changes in Shushtar agro-industries**

شکل ۱- پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز مورد نظر با تغییرات دمایی از کشت و صنعت‌های شوشتر



**Fig. 2- Global warming potential of three gases with temperature changes in Abadan agro-industries**

شکل ۲- پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز مورد نظر با تغییرات دمایی از کشت و صنعت‌های آبادان

ایستگاه نیز مشخص است و کاهش بارش باعث کم شدن مختصر از پتانسیل گرمایش جهانی و افزایش آن باعث زیاد شدن این پتانسیل می‌گردد. در ایستگاه آبادان همان طور که در شکل (۴) مشخص است تغییرات پتانسیل گرمایش جهانی با کاهش و افزایش بارش در این ایستگاه مشخص است و کاهش بارش باعث کم شدن مختصر از پتانسیل گرمایش جهانی و افزایش آن باعث زیاد شدن این پتانسیل می‌گردد. فاصله عددی بین کمینه‌ها و بیشینه‌های پتانسیل گرمایش جهانی در تغییرات بارش زیاد است.

نتایج حاصل از محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی GWP بر اساس تغییرات میانگین سالانه بارش:

پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در کشت و صنعت‌های شوشتر و آبادان بر اساس تغییرات میانگین سالانه بارش (منفی دو، مثبت هفت و ۱۴ درصد) شکل‌های (۳) و (۴) محاسبه گردید. در ایستگاه شوشتر تغییرات پتانسیل گرمایش جهانی با تغییرات بارش بسیار بیشتر به دست آمد. فاصله عددی بین کمینه‌ها و بیشینه‌های پتانسیل گرمایش جهانی در تغییرات بارش زیاد است. تأثیر کاهش و افزایش بارش در این



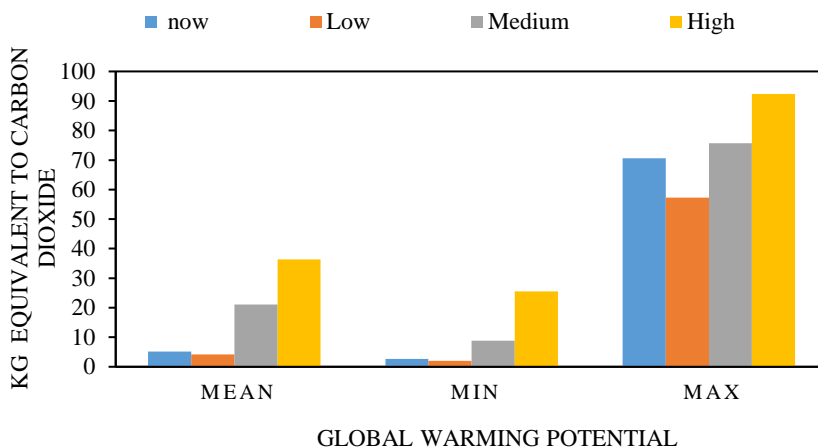


Fig. 3- Global warming potential of three gases with precipitation changes in Shushtar agro-industries

شکل ۳- پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز مورد نظر با تغییرات بارش از کشت و صنعت‌های شوشتر

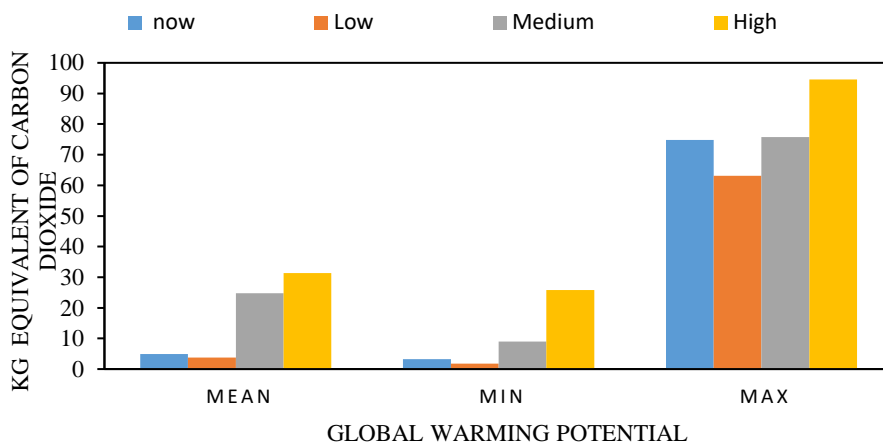


Fig. 4- Global warming potential of three gases with precipitation changes in Abadan agro-industries

شکل ۴- پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز مورد نظر با تغییرات بارش از کشت و صنعت‌های آبادان

جدول ۵- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک بر مبنای مدل DAYCENT

Table 5 - Comparison of measured and estimated values of three gases, nitrous oxide, methane and nitric oxide based on DAYCENT model

gas	R <sup>2</sup>	RPD	SD	CRM	EF	CD	RMSE	ME
N <sub>2</sub> O Flux	0.98	2.557502	0.142728	0.36441	0.619002	0.44796533	0.055808	0.121
CH <sub>4</sub> Flux	0.99	1.742253	0.540479	0.343506	0.854543	2.458733391	0.310218	0.741
NO Flux	0.77	1.781006	0.069177	0.222642	0.767205	1.453933593	0.038842	0.053

آماري ضريب تعيين ( $R^2$ ) اکسید نیتروس بیش‌ترین دقت را داشته با این وجود هر سه گاز دامنه دقتی مناسب و بالاتر از ۰/۵۰ را دارند. شاخص RPD (نسبت انحراف کارایی) نشان داد که برای اکسید نیتروس، مقدار ۲/۶ است ولی در تمامی در دامنه دقتی مناسبی دارند. بر اساس شاخص آماري SD (انحراف معیار) در متان با ۰/۵۴ بیش‌ترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۰۶ کمترین مقدار

نتایج حاصل از شاخص‌های آماری در بررسی کارایی مدل DAYCENT:

به‌منظور ارزیابی دقت مدل DAYCENT از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده شد. در جدول (۵) نتایج شاخص‌های آماری مورد استفاده به تفکیک سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک آورده شده است. نتایج جدول (۵) نشان داد که بر اساس شاخص

نرخ شار اکسیدنیتروس و اکسید نیتریک نیز دو منطقه مشابه بود. کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر ضریب پتانسیل گرمایش جهانی بالاتری را نسبت به کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان داشتند که انتشار زیاد اکسید نیتریک و اکسیدنیتروس عامل اصلی آن تعیین شد. میانگین خروجی هزینه انتشار محیط‌زیستی نیز نشان‌دهنده بیش‌ترین سهم از تصاعد گاز اکسید نیتریک بود. بر اساس شاخص‌های آماری، سه گاز گلخانه‌ای اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک در دامنه دقتی مناسبی قرار گرفتند. برنامه مدل‌سازی DAYCENT نشان داد که مدلی یکپارچه بوده و اتصال فرآیندهای اکوسیستم را تسهیل می‌کند همچنین این مدل بررسی عوامل محیطی اضافی که ممکن است بر عملکرد بلندمدت و تولید گازهای گلخانه‌ای نادیده گرفته شوند، ممکن می‌سازد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مسئولین آزمایشگاه خاک دانشگاه شهید چمران اهواز برای مساعدت در مراحل مختلف این تحقیق قدردانی می‌کنند. نویسندگان همچنین از سازمان هواشناسی کشور برای ارائه داده‌های هواشناسی مورد نیاز تشکر می‌نمایند.

تعیین شد. در شاخص CRM (ضریب جرم باقی‌مانده) برای اکسیدنیتروس با ۰/۳۱ بیش‌ترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۲۲ کمترین مقدار به‌دست آمد. بر اساس شاخص آماری EF (کارایی مدل) در تمامی موارد مورد بررسی در تمامی دامنه دقتی مناسب تعیین شد. از این میان اکسید نیتروس با میزان ۰/۶۲ مناسب‌ترین مقدار را نشان داد. بر اساس شاخص آماری CD (ضریب تبیین) اکسید نیتروس با میزان ۰/۴۴ مناسب‌ترین مقدار تعیین شد. طبق CD بیش‌ترین پراکندگی مربوط به گاز متان به دست آمد. در تمامی موارد مقدار RMSE قابل‌قبول و از میانگین مقادیر واقعی کمتر به‌دست آمد. در گاز متان با مقادیر ۰/۳۱ دارای بیش‌ترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۰۳ کمترین مقدار تعیین شد. در همه موارد این آماره زیر یک بوده و در دامنه دقتی مناسب به‌دست آمد. مقدار ME (بیشترین خطا) در متان با ۰/۷۴ بیش‌ترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۰۵ کمترین مقدار (بدترین حالت) تعیین شد.

### نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که ایستگاه شوشتر با سطح متوسط بارش بیشتر، شار متان بالاتری را نسبت به ایستگاه آبادان داشته و نتایج

### References

- 1- Bakht Firouz, A., and Raeini Sarajaz, M. 2013. Effect of paddy field drainage systems on methane greenhouse gas emission reduction. *Iranian Water and Soil Research*; 44 (1): 1-10. (In Persian).
- 2- Dashtaki, S. G., Homaei, M., and Khodaverdiloo, H. 2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. *Soil Use and Management*; 26(1): 68-74.
- 3- Dastan, S. , Soltani, A. , Noormohamadi, Gh. , Madani, H. , and Yadi, R. 2016. Estimation of carbon footprint and global warming potential in rice production systems, *Journal of Environmental Sciences*, 14 (1): 19-28. (In Persian).
- 4- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.J. and Leemans, R., 2005. Future scenarios of European agricultural land use: I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(2-3), pp.101-116.
- 5- Fitton, N., Bindi, M., Brilli, L., Chicota, R., Dibari, C., Fuchs, K., Huguenin-Elie, O., Klumpp, K., Lieffering, M., Lüscher, A., Martin, R., McAuliffe, R., Merbold, L., Newton, P., Rees, R. M., Smith, P., Topp, C.F. E., and Snow, V. 2019. Modelling biological N fixation and grass-legume dynamics with process-based biogeochemical models of varying complexity. *European Journal of Agronomy*; 106:58-66.
- 6- Hartman, M., Merchant, E. R., Parton, W. J., Gutmann, M. P., Lutz, S., and Williams, S. A. 2011. Impact of historical land-use changes on greenhouse gas exchange in the U.S. Great Plains, 1883–2003, *Ecological Applications*; 21(4):1105–1119.

- 7- Hartman, M. D., Parton, W. J., Del Grosso, S. J., Easter, M., Hendryx, J., Hilinski, T., Kelly, R., Keough, C. A., Killian, K., Lutz, S., Marx, E., McKeown, R., Ogle, S., Ojima, D. S., Paustian, K., Swan, A., and Williams, S. 2016. DayCent ecosystem model, Colorado state university.
- 8- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. 2001. (Eds J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White) 1032 pp. Cambridge university press, Cambridge, UK.
- 9- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for policy makers. The physical science basis. Cambridge University. Press; 165-177.
- 10-Khodaverdiloo, H., Homaei, M., Genuchten, M. T., and Dashtaki, S. G. 2011. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. *Journal of Hydrology*; 399(1): 93-99.
- 11-Koocheki, A. and Kamali, G.H., 2010. Climate change and rainfed wheat production in Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(3), pp.508-520. (In Persian)
- 12-Kottogoda, N. T., and Rosso, R. 2008. *Applied statistics for civil and environmental engineers*: Wiley-Blackwell.
- 13- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment international*, 30(7), pp.981-990.
- 14- Moradi-Majd, N., Fallah-Ghalhari, G. and Chatrenor, M., 2022. Estimation of greenhouse gas emission flux from agricultural lands of Khuzestan province in Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(11), p.811.
- 15-Moradi, R., and Pour Ghasemian, N. 2018. Investigation of greenhouse gas emissions and global warming potential due to the use of chemical inputs in agriculture of important crops in Kerman province: *Journal of Agricultural Ecology*; 9 (2): 405 -389. (In Persian).
- 16-Nikbakht Shahbazi, A. R. , 2018. Investigation of changes in precipitation and evapotranspiration of agricultural products in Khuzestan province under the influence of climate change, *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 25 (6): 123- 139. (In Persian).
- 17-Pourkhabaz, A. 2002. *The major environmental disturbances of the present age (acid rain, ozone layer, global warming)*, compilation and translation. Astan Quds Razavi Publications, Mashhad, Iran. (In Persian).
- 18-Safari, M., and Abdi, R. 2016. Comparison of biogas production from canola and wheat residues in combination with animal manure, *Journal of Agricultural Machinery*; 6 (2): 476-487. (In Persian).
- 19-Robertson, G. P., Paul, E. A., and Harwood, R. R. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*; 289: 1922-1935.
- 20-Tzilivakis, J. , Jaggard, K. , Lewis, K. A. , May, M. , and Warner, D. J. 2005. Environmental impact and economic assessment for UK sugar beet production systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*; 2005;107:341-358.
- 21-Thelen, K.D., Fronning, B.E., Kravchenko, A., Min, D.H. and Robertson, G.P., 2010. Integrating livestock manure with a corn–soybean bioenergy cropping system improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. *Biomass and Bioenergy*, 34(7), pp.960-966.
- 22-Weiler, D.A., Tornquist, C.G., Zschornack, T., Ogle, S.M., Carlos, F.S. and Bayer, C., 2018. Daycent simulation of methane emissions, grain yield, and soil organic carbon in a subtropical paddy rice system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42. Pp.1-12. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170251>



**EXTENDED ABSTRACT**

**Evaluating the Application of Automatic Flow Control Valves to Increase the Water Uniformity Distribution in the Drip Irrigation System in Sloping Lands and Modeling by EPANET Software (Case Study: Barajin Park, Qazvin)**

M. Fallah Morsali<sup>1</sup>, H. Ramezani Etedali<sup>2\*</sup>, M. Bijankhan<sup>3</sup> and A. Mahdavi Mazdeh<sup>4</sup>

1- Master of Science in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2\* - Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. (Ramezani@eng.ikiu.ac.ir).

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

**ARTICLE INFO**

*Article history:*

Received: 30 September 2021

Revised: 7 April 2022

Accepted: 9 April 2022

*Keywords:*

Evaluation, Modeling, Water Distribution Uniformity.

**TO CITE THIS ARTICLE:**

Fallah Morsali, M., Ramezani Etedali, H., Bijankhan, M., Mahdavi Mazdeh, A. (2023). 'Evaluating the Application of Automatic Flow Control Valves to Increase the Water Uniformity Distribution in the Drip Irrigation System in Sloping Lands and Modeling by EPANET Software (Case Study: Barajin Park, Qazvin)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(2), pp. 59-73. doi: 10.22055/jise.2022.38621.1991

**Introduction**

This study evaluated a drip-gravity irrigation system implemented in Barajin Park at the north of Qazvin province. In order to carefully examine the existing conditions of the field visit, the effective parameters in the evaluation were measured for all laterals in the selected section, including 13 laterals. The results showed that the water uniformity distribution was unacceptable due to the significant elevation difference. Note that no filtration system was used; hence, it was impossible to use a pressure regulating emitter (PC) because these emitters are sensitive to chemical and physical clogging. To improve the water distribution conditions, applications of 1) using flow control valves, 2) changing the diameter of the pipes, and 3) using two types of conventional drippers (Non-PC) with different scenarios and modeling in EPANET software were investigated.

**Methodology**

Barajin Park, located in Qazvin province, was considered the case study. The irrigation water was supplied by a pool constructed at the highest level of the irrigated area. The land slope of 20% made it almost impossible to achieve a desirable water uniformity distribution along the main pipe.

To evaluate the irrigation system's performance, pressure and flow rate data were measured by a digital pressure gauge and a one-inch flow meter, respectively. The number of trees on each lateral line was counted, and the length of the laterals was measured.

In the hydraulic laboratory of Imam Khomeini International University, two conventional emitters were tested at different compression intervals. The results of this experiment were then used in modeling scenarios.

EPANET software was used to model the irrigation system in different scenarios. This software can simulate the behavior of water flows in pressurized networks (Ramana *et al.*, 2015). To model the irrigation system, the specifications of the reservoir, water transmission lines, manifold pipes, and laterals, which include the length, diameter of the pipes, and the elevation, were given as the input characteristics of the program.

Numerical models need to be calibrated to check the correspondence between the measured and simulated parameters. To compare the values measured and simulated by the EPANET model, statistical indices of root mean square error (RMSE), mean absolute error (MBE), and error percentage (NRMSE) were used.

### Results and Discussion

The scenario of the existing conditions was evaluated in four cases; in the first case, the current performance was examined, and it was observed that the values of EU=58% and CU=71.48% were obtained. The system's efficiency in terms of evaluation criteria was in the weak range. In this case, a water loss of 0.5 l/s was observed.

In the second case, to investigate the effect of using a flow control valve (Zhang and Wang, 2015), two valves with capacities of 1.5 and 0.74 (lit/s) were located between laterals 11-10 and 6-5, respectively. The numerical simulation revealed that EU and CU values increased to 70% and 78.1%, respectively. Also, the water loss was reduced by 82% compared to the available condition.

In the third case, to investigate the effect of changing the diameter of pipes in improving the pressure distribution, the diameter of pipes based on the required flow rate of each section was changed telescopically by modeling in EPANET. In this case, the EU value of 67% and the CU value of 77.6% were obtained.

In the fourth case, the system was evaluated numerically by changing the diameter of the pipe and using a flow control valve.

The EU value increased to 71% and CU to 79.6%, reducing water loss by 43.5% compared to the available condition. In general, comparing this case with the previous three cases, it was found that using the flow control valve and changing the diameter of pipes would result in a more favorable effect on efficiency increase.

The second scenario, which uses a typical type 1 dropper, was examined in four cases, as in the previous scenario. In conditions without the flow control valve, the value of EU was 31%, and CU was 49.2%, with a water loss of 0.57 l/s. In the second case, to investigate the effect of using a flow control valve, the location of two valves with capacities of 1.19 and 0.58 (lit/s) were determined by modeling in EPANET software. It was found that the EU value increased to 49% and CU to 72.2%, which reduced the water loss by 78.9% compared to the previous case. In the third case, the diameter of the pipes was changed telescopically by modeling in EPANET. In this case, the system's operating conditions were more favorable in terms of evaluation criteria. In the fourth case, the evaluation of the system was examined by changing the diameter of pipes and using a flow control valve. Two valves with capacities of 1.19 and 0.58 l/s were modeled in EPANET. EU value increased to 72% and CU to 81%.

In the third scenario, which uses a typical type 2 emitter, numerical results revealed similar results as what was found for the type 1 emitter. Hence, applying the flow control valve resulted in improving the water uniformity distribution.

In general, it was found that the flow control valve was a brilliant choice to increase the water uniformity in sloping areas. Numerical simulations must determine the location of the valves and their discharge characteristics.

**Acknowledgment**

The authors would like to gratefully acknowledge the support of the Iran National Science Foundation, INSF. The project was granted under the ID number 99027971.

**References**

- 1- Ramana, G.V., Sudheer, C.V. and Rajasekhar, B., 2015. Network analysis of water distribution system in rural areas using EPANET. *Procedia Engineering*, 119, pp.496-505.
- 2- Zhang, X. and Wang, D., 2015. A flow control device for incompressible fluids. *Flow Measurement and Instrumentation*, 41, pp.165-173.



© 2023 Shahid Chamran University of Ahvaz, 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/>).

## ارزیابی کاربرد شیرهای خودکار تنظیم دبی برای افزایش یکنواختی توزیع آب در سامانه آبیاری قطره‌ای در اراضی شیبدار و مدل‌سازی به وسیله نرم‌افزار EPANET (مطالعه موردی: بوستان باراجین قزوین)

مرضیه فلاح مرسلی<sup>۱</sup>، هادی رمضانی اعتدالی<sup>۲\*</sup>، محمد بی‌جن‌خان<sup>۳</sup> و علی مهدوی مزده<sup>۴</sup>

- ۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی<sup>(ع)</sup>، قزوین، ایران.  
 ۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی<sup>(ع)</sup>، قزوین، ایران.  
 Ramezani@eng.ikiu.ac.ir  
 ۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی<sup>(ع)</sup>، قزوین، ایران.  
 ۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی<sup>(ع)</sup>، قزوین، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۸ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰

### چکیده

سامانه‌های آبیاری تحت فشار به شکل گسترده‌ای مورد توجه مسئولین و بهره‌برداران قرار دارند. در اراضی شیب‌دار طراحی، اجرا و بهره‌برداری از این سامانه‌ها با مشکلاتی همراه است. در این پژوهش بخشی از سامانه آبیاری قطره‌ای - ثقلی اجرا شده در بوستان باراجین شهر قزوین که دارای شیب حدود ۲۰ درصد است مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای بررسی دقیق شرایط موجود، بازدید میدانی انجام شده و پارامترهای موثر در ارزیابی برای تمامی لترال‌های موجود در پایلوت انتخاب شده، شامل ۱۳ عدد لترال دو طرفه، اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که به دلیل اختلاف رقوم قابل توجه، یکنواختی توزیع آب در حد غیرقابل قبول می‌باشد و همچنین سامانه آبیاری مورد مطالعه بدون تکیه بر ایستگاه پمپاژ و با استفاده از اختلاف رقوم بین استخر و اراضی پایین‌دست به صورت ثقلی آبیاری می‌شود، بنابراین به دلیل عدم وجود تجهیزات فیلتراسیون امکان استفاده از قطره‌چکان تنظیم‌کننده فشار (PC) نیست، زیرا این قطره‌چکان‌ها نسبت به گرفتگی‌های شیمیایی و فیزیکی حساس می‌باشند، بنابراین برای بهبود شرایط پخش آب استفاده از شیر کنترل دبی، تغییر قطر لوله‌ها و استفاده از دو نوع قطره‌چکان غیرتنظیم‌کننده فشار (Non PC) با طرح سناریوهای متفاوت و مدل‌سازی در نرم‌افزار EPANET بررسی شد. نتایج به دست آمده از ارزیابی کارکرد فعلی سامانه آبیاری، بدون شیر کنترل دبی نشان داد که راندمان سامانه از نظر معیارهای ارزیابی در محدوده ضعیف می‌باشد که در صورت استفاده از شیر کنترل دبی افزایش یافته، یکنواختی پخش آب از ۵۸ به ۷۰ درصد افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: آبیاری تحت فشار، قطره‌چکان معمولی، یکنواختی پخش آب.

### مقدمه

امروزه استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری همچون آبیاری قطره‌ای در راستای صرفه‌جویی مصرف آب توسعه یافته است. همچنین توجه نکردن به بحث ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای برای شناسایی مسائل و مشکلات موجود، باعث بروز برخی اشکالات مانند کاهش میزان راندمان‌های آبیاری، کارکرد نادرست سامانه و عملکرد بسیار ضعیف شده است. لذا ارزیابی و بررسی مشکلات سامانه آبیاری قطره‌ای حائز اهمیت می‌باشد، تا با انجام آن بهره‌برداران علت کاهش راندمان را یافته و به دنبال راهکاری برای رفع مشکل باشند.

اگرچه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای از سطح بالای تکنولوژی برخوردار هستند، اما عملکرد آن‌ها همواره قابل قبول نیست. بدین منظور برای دستیابی به بالاترین راندمان این سامانه‌ها همواره

مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند (Khorami and Ansari, 2019).

ارزیابی یک ابزار مدیریتی است که این امکان را می‌دهد تا بتوان محدودیت‌ها را با تغییرات ناچیز کم کرده و بهترین عملکرد را به‌وجود آورد (Qasemzadeh mojaveri, 1991).

Khorami و Ansari (2019) به ارزیابی کارایی و عملکرد سامانه آبیاری قطره‌ای فضای سبز شهری پرداخته و در ارزیابی این سامانه آبیاری از معیارهای یکنواختی ریزش آب (EU)، یکنواختی آماری دبی خروجی (US)، پتانسیل راندمان کاربرد آب در چارک پایین (PELQ) و راندمان کاربرد آب در چارک پایین (AELQ) استفاده کرده‌اند. طی ارزیابی انجام شده دریافتند که اولین مسئله‌ای که در مورد این سیستم مشهود است، عدم یکنواختی و تغییرات دبی بالای قطره‌چکان‌ها است. یکنواختی پخش برای این سیستم ۶۲/۷ به دست آمد که با توجه به



شیرهای کنترل، تغییرات هوشمند افت متناسب با افزایش یا کاهش اختلاف فشار در خط انتقال اعلام شد.

امروزه استفاده از نرم‌افزارهای مدل سازی به‌منظور شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان در شبکه‌های توزیع آب توسعه یافته است. استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای مانند EPANET به‌منظور مدل‌سازی و شبیه‌سازی جریان در شبکه‌های توزیع آب، نقش موثری در ارزیابی و مدیریت سامانه‌ها ایفا می‌کند.

نرم‌افزار EPANET شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی و کیفیت آب را در شبکه‌های لوله تحت فشار انجام می‌دهد. در این نرم‌افزار، یک شبکه از لوله‌ها، گره‌ها (اتصالات لوله)، پمپ‌ها، شیرها و مخازن ذخیره‌سازی تشکیل شده است، این نرم‌افزار جریان آب در هر لوله، فشار در هر گره، ارتفاع آب در هر مخزن و غلظت یک گونه شیمیایی را در سراسر شبکه ردیابی می‌کند. این ابزار تحقیقاتی برای درک حرکت آب در سیستم‌های توزیع طراحی شده است و می‌توان از آن برای انواع مختلفی از برنامه‌های کاربردی در تجزیه و تحلیل سیستم‌های توزیع استفاده کرد (Ramana et al., 2015).

معادله‌های حاکم در نرم‌افزار EPANET که به منظور طراحی شبکه آبرسانی استفاده می‌گردد، معادله‌های پیوستگی و اندازه حرکت طبق رابطه (۱) و (۲) می‌باشد.

$$\operatorname{div} \rho v + \frac{d\rho}{dt} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} (P + \gamma Z) = \frac{32\rho v V}{D^2} \quad (2)$$

در این روابط، P فشار وارد بر سیال (پاسکال)،  $v$  لزجت سینماتیک جریان (متر مربع بر ثانیه)،  $V$  سرعت متوسط سیال (متر بر ثانیه)، D قطر لوله (متر) و  $\gamma$  وزن مخصوص سیال (کیلوگرم بر مترمکعب) است.

در نرم‌افزار EPANET برای محاسبه افت فشار از سه فرمول هیزن ویلیامز، دارسی ویسباخ و شزی-مانینگ استفاده می‌شود که مناسب‌ترین آن برای شبکه‌های توزیع فرمول هیزن ویلیامز می‌باشد، که طبق رابطه (۳) می‌باشد.

$$h_l = 10/7LD^{-4.87} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.85} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، C ضریب زبری لوله، L طول لوله (متر)، D قطر لوله (متر)، Q دبی جریان (متر مکعب بر ثانیه) و  $h_l$  افت ارتفاع (متر) می‌باشد (Farzin et al., 2018).

از مزایای اساسی EPANET برای استفاده در تجزیه و تحلیل شبکه‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد، نرخ جریان در شبکه با استفاده از روش خطی به‌دست می‌آید و توانایی در نظر

معیارهای ارزیابی، راندمان کل سیستم ضعیف می‌باشد. پیشنهادهایی برای بهبود کارکرد سامانه و افزایش راندمان ارائه شد که از جمله آن‌ها می‌توان به آموزش نحوه بهره‌برداری از سامانه و برنامه آبیاری به بهره‌بردار، کاهش تلفات آبیاری با استفاده از شیر قطع و وصل برای قسمت‌هایی که گیاه کاشته نشده و نیازی به آبیاری ندارد، نصب شیر تخلیه هوا در محل مناسب برای جلوگیری از لرزش لوله‌های موجود در حوضچه، جلوگیری از هوادهی قطره چکان‌ها در ابتدای کار و استفاده از قطره چکان‌های مناسب‌تر اشاره کرد.

Qaemi و Noshadi (2012) به‌منظور ارزیابی فنی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در استان فارس ۱۳۴ باغ و مزرعه که از تنوع اقلیمی مختلفی برخوردار بودند را مورد بررسی قرار دادند. در ارزیابی از معیارهای یکنواختی ریزش آب (EU)، ضریب یکنواختی (CU)، پتانسیل راندمان کاربرد آب در چارک پایین (PELQ) و راندمان کاربرد آب در چارک پایین (AELQ) استفاده کردند.

در صورتی که با انجام ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای-تقلى مشخص شود عدم توزیع یکنواخت فشار علت اصلی راندمان پایین‌های تنظیم‌کننده فشار، تغییر قطر لوله‌ها و استفاده از ابزارهای تعدیل‌کننده فشار ارائه داد. سازه‌های تنظیم‌کننده جریان با ساختار و ویژگی‌های منحصر به فرد خود و با تکیه بر خاصیت هیدرولیکی این توانایی را دارند که در یک شبکه آبیاری با توجه به هدف طرح میزان افت را تا حد موردنیاز کاهش یا افزایش دهند و به این وسیله، میزان عبور جریان در سیستم را کنترل نمایند. روش‌ها و سازه‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری دبی در شبکه‌های آبیاری وجود دارد. شیر تنظیم دبی یکی از اجزای اصلی در طراحی، تنظیم و عملیات یک سیستم لوله بسته است (Rahmeyer and Driskell, 1985).

یکی از ابزارهایی که می‌توان برای کنترل میزان جریان عبوری از یک لوله استفاده کرد شیرهای خودکار کنترل دبی هستند. Zhang و Wang (2015) برای اولین بار اصول اساسی طراحی نوعی از شیر کنترل دبی را ارائه دادند که به‌صورت خودکار دبی عبوری از آن را تقریباً ثابت نگه می‌دارد.

شیر کنترل دبی سازه‌ای است که به تغییرات فشار در بالادست و پایین‌دست شبکه حساس نیست و توانایی این را دارد که همواره دبی تقریباً ثابتی را از خود عبور دهد. شیر کنترل دبی می‌تواند برای تقسیم عادلانه‌ی آب در بین اراضی کاربرد فراوانی داشته باشد (Mehri and Bijankhan, 2019).

Mehri و Bijankhan (2019) به‌صورت آزمایشگاهی به بررسی عملکرد شیرهای کنترل دبی پنج و ۱۰ لیتر در ثانیه پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که شیر کنترل دبی می‌تواند با دقت مطلوبی علی‌رغم تغییرات فشار، دبی تقریباً ثابتی را تحویل دهد. به لحاظ هیدرولیکی عامل اصلی ثابت ماندن دبی در

تنظیم کننده فشار سامانه‌ای با یکنواختی توزیع آب بسیار قابل-قبول را تشکیل خواهد داد. لذا با در نظر گرفتن قطره‌چکان‌های غیرتنظیم شونده فشار در اراضی شیب‌دار، نسبت به ارزیابی سناریوهای متفاوت، توسط بازدید میدانی و مدل‌سازی عددی اقدام شد. در این راستا کاربرد شیر کنترل دبی و اثر استفاده از آن به-همراه قطره‌چکان‌های غیرتنظیم شونده فشار در اراضی شیب‌دار در افزایش یکنواختی توزیع آب بررسی شد

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

طرح مورد مطالعه قسمتی از سامانه آبیاری قطره‌ای بوستان باراجین شهر قزوین است. این طرح در محدوده طول و عرض جغرافیایی ۴۱۶۹۲۳ و ۴۰۲۲۶۹۷ واقع گردیده است. درختان موجود در طرح مورد مطالعه غیر مثمر و سوزنی برگ می‌باشند. آبیاری قطره‌ای در این منطقه بدون استفاده از پمپ و در جهت شیب زمین با استفاده از اختلاف رقوم بین استخر و اراضی پایین‌دست به صورت ثقلی صورت می‌گیرد. زمین دارای شیب شمال-جنوب ۲۰ درصد می‌باشد. آب به وسیله لوله پلی‌اتیلن به قطر ۱۱۰ میلی‌متر به طول ۱۶۳ متر از استخر طرح به یک لوله فرعی منتقل می‌شود. لوله فرعی به صورت تلسکوپ‌ی بوده و از لوله پلی اتیلن ۶۳ ۵۰ و ۴۰ تشکیل شده است. مانیفولد متصل به لوله فرعی از دو قطر ۴۰ و ۳۲ میلی‌متر تشکیل شده که در ابتدا ۵۸/۲ متر لوله ۴۰ و در انتها ۱۳/۲ متر لوله با قطر ۳۲ میلی‌متر می‌باشد. آب توسط مانیفولد به لترال‌های ۱۶ میلی‌متری که به صورت دو طرفه منشعب شده است منتقل و در نهایت از گسیلنده‌های موجود که قطره‌چکان‌هایی از نوع معمولی می‌باشند خارج می‌شود. شکل (۱) تصویر ثبت شده از موقعیت طرح را در برنامه Google Earth نشان می‌دهد.

گرفتن تلفات جزئی در گره‌ها، اتصالات و غیره را دارد (Ramana et al., 2015).

Ghaderi et al. (2012) سامانه آبیاری تحت فشار به مساحت ۱۵ هکتار را در شهر میناب استان هرمزگان به وسیله نرم‌افزار EPANET شبیه‌سازی کردند و با هدف رسیدن به وضعیت مطلوب هیدرولیکی به بررسی سامانه پرداختند. آن‌ها طی نتایج به‌دست آمده قطر و طول بهینه را با توجه به فشار مورد نیاز برآورد نمودند و پس از بررسی به این نتیجه رسیدند که با انجام بهینه-سازی قطر و طول لوله‌ها هزینه کل سامانه ۲۵/۵ درصد کاهش می‌یابد.

طرح مورد مطالعه قسمتی از سامانه آبیاری بوستان باراجین بوده که به دلیل شرایط توپوگرافی، اختلاف ارتفاع بین بالادست و پایین‌دست زیاد بوده و سامانه آبیاری بدون تکیه بر ایستگاه پمپاژ، با استفاده از اختلاف رقوم بین استخر و اراضی پایین‌دست به-صورت ثقلی آبیاری می‌شود. به دلیل عدم وجود تجهیزات فیلتراسیون امکان استفاده از قطره‌چکان تنظیم‌کننده فشار (PC) نیست، زیرا این قطره‌چکان‌ها نسبت به گرفتگی‌های شیمیایی و فیزیکی حساس می‌باشند، بنابراین برای بهبود کارکرد سامانه به دنبال راهکاری بوده تا یکنواختی توزیع آب افزایش یابد.

سامانه‌های آبیاری تحت فشار که در اراضی شیب‌دار اجرا می‌شوند بدلیل تغییرات قابل توجه فشار منجر به توزیع غیریکنواخت آب، هدررفت آب و بروز مشکلات مدیریتی خواهد شد. در تحقیق حاضر برای اولین بار استفاده از شیرهای خودکار کنترل دبی برای افزایش یکنواختی پخش آب مورد استفاده قرار گرفته است. از نظر عملی زمانی که امکان استفاده از سامانه‌های فیلتراسیون میسر نباشد و آب آبیاری مستقیماً از استخر تامین شود ترکیبی از شیرهای خودکار کنترل دبی و قطره‌چکان‌های غیر



Fig. 1- Location of the study plan in Google Earth  
شکل ۱- موقعیت طرح مورد مطالعه در Google Earth

یکنواختی توزیع در سامانه افزایش می‌یابد. بنابراین با استفاده از معادله تجربی هیزن ویلیامز که نسبت به سایر معادله‌های تجربی دقیق‌تر می‌باشد، می‌توان افت در خطوط لوله محاسبه کرده و قطر لوله‌ها با توجه به سرعت بهینه و همچنین رعایت کلیه مسائل اقتصادی در نظر گرفت. برای رفع نیاز آبی درختان موجود در طرح به ازای هر درخت دو عدد قطره چکان هشت لیتر بر ساعت نیاز است، بنابراین دبی مورد نیاز کل سامانه ۱/۷ لیتر بر ثانیه می‌باشد. برای طراحی صحیح سامانه آبیاری مورد مطالعه باتوجه به نیاز آبی درختان موجود پارامترهای هیدرولیکی محاسبه گردید و قطر لوله‌ها براساس مقدار دبی مورد نیاز هر بخش به صورت تلسکوپی طراحی گردید در جدول (۲) مشخصات هیدرولیکی هر بخش مشخص گردیده است.

### داده برداری میدانی

داده‌های فشار و دبی لترال‌ها توسط ادوات اندازه‌گیری شد که طبق شکل (۲) شامل، (A) کنتور یک اینچ و (B) فشارسنج دیجیتال می‌باشد. تعداد درختان بر روی هر یک از خطوط لترال شمارش و طول لترال‌ها اندازه‌گیری شد. رقوم ارتفاعی مربوط به نقاط به وسیله اطلاعات داده برداری شده توسط دستگاه GPS و خروجی آن اطلاعات در Google Earth به دست آمد. در جدول (۱) داده‌های ثبت شده از بازدید میدانی درج شده است.

### قطره چکان‌ها و دبی مورد نیاز

محاسبه افت فشار و به ویژه افت اصطکاکی در طراحی لوله‌های سامانه آبیاری قطره‌ای از اهمیت خاصی برخوردار است و در صورت محاسبه صحیح افت، راندمان کاربرد آب و همچنین



Fig. 2- (A) One-inch meter and (B) digital barometer

شکل ۲- (A) کنتور یک اینچ و (B) فشارسنج دیجیتال

جدول ۱- داده‌های ثبت شده از بازدید میدانی

Table 1- Recorded data from field visits

No	Number of trees	Measured flow rate(lit/s)	Measured pressure(m)	Elevation (m)	Lateral length(m)
1	35	0.33	8.81	1586	102
2	39	0.24	8.41	1587	105
3	34	0.18	8.53	1587.5	93
4	23	0.17	6.5	1589.5	66
5	36	0.3	4.17	1591.5	103
6	32	0.17	4.98	1591.5	99
7	34	0.14	3.69	1593	93
8	34	0.2	2.26	1595	100
9	33	0.14	0.81	1597	92
10	23	0.17	1.12	1597.5	86
11	22	0.05	1.64	1598	58
12	18	0.08	0.84	1599.5	57
13	18	0.04	0.85	1600.5	56

جدول ۲- مشخصات هیدرولیکی سامانه براساس معیارهای اصول طراحی

Table 2 - Hydraulic specifications of the system based on the criteria of design principles

Row	D	d	Q	the length	Coefficient	Hf	V	height difference	End pressure	First pressure
Unit	(mm)	(mm)	Lit / s	(m)	-	(m)	m/s	(m)	(m)	(m)
Later al 1	16	12.4	0.16	50	0.36	3.7	1.3	0	4.79	7.56
1-2	16	12.4	0.16	4	0.36	0.3	1.3	-1	7.56	7.29
2-3	20	16.4	0/34	9/18	0.36	0.7	1.6	-0.5	7.29	7.56
3-4	25	21.4	0.49	5.2	0.36	0.2	1.4	-2	7.56	6.72
4-5	25	21.4	0.59	5.2	0.36	0.3	1.6	-2	6.72	5.94
5-6	32	28.2	0.75	6.4	0.36	0.2	1.2	0	5.94	6.05
6-7	32	28.2	0.89	4.7	0.36	0.2	1.4	-1.5	6.05	5.42
7-8	32	28.2	1.04	5.5	0.36	0.2	1.7	-2	5.42	4.60
8-9	40	35	1.19	5.5	0.36	0.1	1.2	-2	4.6	3.68
9-10	40	35	1.34	5.5	0.36	0.1	1.4	-0.5	3.68	3.53
10-11	40	35	1.44	7	0.36	0.2	1.5	-0.5	3.53	3.42
11-12	40	35	1.54	6.6	0.36	0.2	1.6	-1.5	3.42	2.83
12-13	40	35	1.62	6.6	0.36	0.2	1.7	-1	2.83	2.5
13-C	40	35	1.7	16	1	1.7	1.8	-0.5	2.5	3.67
C-B	50	45	1.7	7	1	0.2	1.1	-1	3.67	2.89
B-A	63	57.2	1.7	1	1	0	0.7	-1	2.89	1.9
A-P	110	100	1.7	163	1	0.1	0.2	-2	1.9	0

## واسنجی مدل EPANET

مدل‌های عددی به منظور بررسی تطابق بین پارامترهای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده احتیاج به واسنجی دارند. برای مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده به وسیله مدل‌ها، از شاخص‌های آماری ریشه متوسط مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MBE) و درصد خطا (NRMSE) استفاده می‌شود که طبق رابطه‌های (۴)، (۵) و (۶) می‌باشد (Bazkiaee et al., 2020).

$$RMSE = \left\{ \left[ \sum (C_i - M_i)^2 \right] / n \right\}^{1/2} \quad (۴)$$

$$MBE = \left[ \sum (C_i - M_i) \right] / n \quad (۵)$$

$$NRMSE = (RMSE / \bar{M}) \times 100 \quad (۶)$$

## مطالعه‌های آزمایشگاهی

در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) دونمونه قطره‌چکان غیرتنظیم کننده فشار، تحت بازه‌های فشار مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند. در شکل (۳)، (A) قطره‌چکان نوع یک و (B) قطره‌چکان نوع دو می‌باشد.

آزمون قطره‌چکان نوع اول با نصب شش عدد قطره‌چکان روی یک لوله ۱۶ میلی‌متری و قرار دادن تحت بازه‌های فشار ۰/۷۵ تا ۱۰/۷۳ متر انجام شد. آزمون قطره‌چکان نوع دوم با نصب سه عدد قطره‌چکان بر روی یک لوله ۱۶ میلی‌متری و قرار دادن تحت

بازه‌های فشار ۱/۱۳ تا ۱۰/۸۹ متر انجام شد.

با جمع آوری آب خروجی از قطره‌چکان‌ها به وسیله سطل، طی زمان و فشار مشخص، وزن آب به وسیله ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد و دبی محاسبه گردید.

با ترسیم نمودار دبی و فشار در برنامه اکسل (Excel) منحنی دبی-فشار قطره‌چکان‌های آزمون شده به دست آمد که طبق شکل (۴)، (A) منحنی دبی-فشار قطره‌چکان نوع یک و (B) منحنی دبی-فشار قطره‌چکان نوع دو را نشان می‌دهد.

## مدل‌سازی هیدرولیکی

برای مدل‌سازی سامانه آبیاری در نرم‌افزار مشخصات مربوط به مخزن، خطوط انتقال آب، لوله مانیفولد و لترال‌ها که شامل متراز، قطر لوله‌ها و رقوم ارتفاعی می‌باشد که در مشخصه‌های ورودی برنامه ثبت شده است.

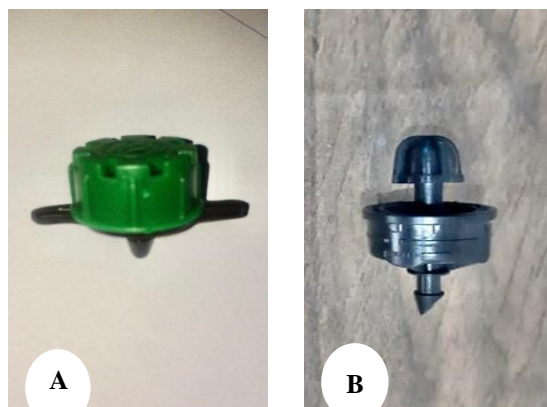


Fig. 3- (A) Type 1 dropper and (B) Type 2 dropper  
شکل ۳- (A) قطره چکان نوع یک و (B) قطره چکان نوع دو

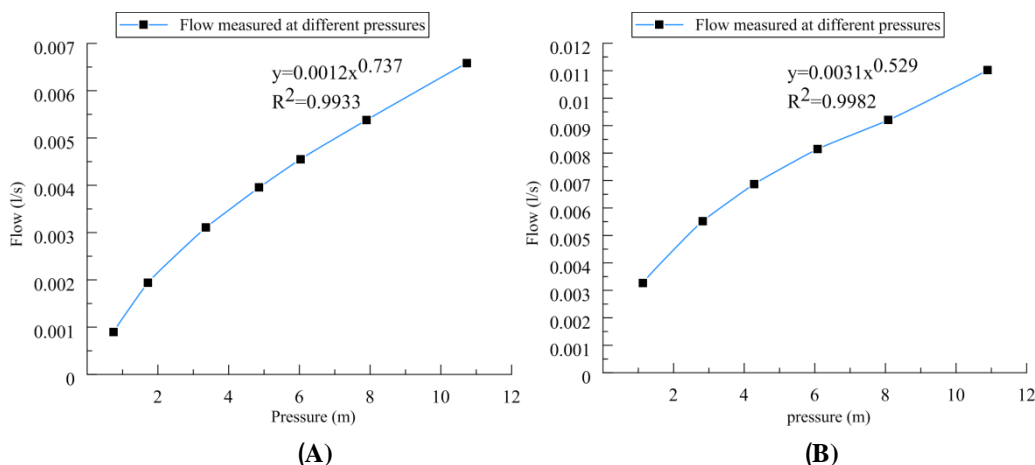


Fig. 4- (A) flow curve - dripper pressure type 1 and (B) flow curve - pressure dripper type 2  
شکل ۴- (A) منحنی دبی- فشار قطره چکان نوع یک و (B) منحنی دبی- فشار قطره چکان نوع دو مطالعه های ارزیابی

$$CU = \left[ 1 - \frac{\sum |Q_i - Q_{avg}|}{\sum Q_i} \right] \times 100 \quad (۸)$$

مقادیر توصیه شده مناسب برای این شاخص (۸۳ تا ۹۱ درصد) می باشد.  
در این پژوهش بررسی تأثیر استفاده از شیر کنترل دبی در افزایش یکنواختی توزیع آب در سه سناریو بررسی شد که مطابق جدول (۴) می باشد.

در سناریو (۱) بررسی و ارزیابی سامانه با استفاده از داده های اندازه گیری شده توسط بازدید میدانی شروع شد، تا در ابتدا، شرایط فعلی بهره برداری را که سامانه با طراحی نامناسب و قطره-چکان های نصب شده که از نوع غیر تنظیم شونده فشار بودند، مورد ارزیابی قرار گیرد و همچنین قابل ذکر است که در بازدید میدانی مشاهده شد، در برخی لترال ها قطره چکان ها شکسته و یا از جا درآمده بودند. برای بررسی تأثیر استفاده از شیر کنترل دبی، ابتدا سامانه آبیاری با همان شرایط ثبت شده از بازدید میدانی، در نرم-

در ارزیابی سامانه آبیاری از معیارهای یکنواختی پخش آب (EU) و ضریب یکنواختی پخش (CU) استفاده شده است.  
یکنواختی پخش آب شاخصی است که مشکلات پخش آب در مزرعه را نشان می دهد. یکنواختی پخش با استفاده از معادله پیشنهادی کلر و کارملی از رابطه (۷) به دست می آید (Alizade, 2012). در رابطه زیر  $Q_n$  میانگین کمترین ربع دبی لترال ها (لیتر بر ثانیه) و  $Q_{avg}$  دبی متوسط لترال ها (لیتر بر ثانیه) است.

$$EU = [Q_n / Q_{avg}] \times 100 \quad (۷)$$

طبق ضوابط عمومی مقادیر EU برای یک سامانه آبیاری قطره ای که کارکردی برابر یک سال یا بیشتر داشته باشد مطابق جدول (۳) می باشد (Merriam and Keler, 1978).  
ضریب یکنواختی (CU) معیاری است که بر اساس آن می توان تعیین کرد که آب چگونه در سطح مزرعه پخش شده است.

ابتدا تاثیر استفاده از قطره‌چکان با شرایط یکسان برای تمامی لترال‌ها، بدون شکستگی و ازجا درآمدگی بررسی شود و سپس با جانمایی شیر کنترل دبی، روند بهبود راندمان سامانه ارزیابی شد و همچنین برای بررسی تغییر قطر لوله‌ها در بهبود راندمان، تغییر قطر در مدل اعمال و ارزیابی انجام شد. در آخر تاثیر استفاده از این دو نوع قطره‌چکان، با تغییر قطر و جانمایی شیرکنترل دبی مدل‌سازی و ارزیابی انجام شد.

افزار EPANET مدل‌سازی شد و سپس با جانمایی شیر کنترل دبی مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای بررسی تغییر قطر لوله‌ها در بهبود راندمان، این بار سامانه با همان شرایط اولیه و فقط تغییر قطر لوله‌ها در برخی خطوط، مدل‌سازی شد و برای بررسی تاثیر استفاده از شیر کنترل دبی در این حالت، سامانه با تغییر قطر و جانمایی شیرکنترل دبی مدل‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفت.

ارزیابی در سناریو (۲) و (۳)، با استفاده از نتایج به‌دست آمده از آزمایش دو نوع قطره‌چکان غیر تنظیم کننده فشار شروع شد تا در

جدول ۳- معیار راندمان سامانه آبیاری قطره‌ای

Table 3- Drip irrigation system efficiency criterion

EU	70% -80%	80% -90%	> 90%
Water distribution uniformity	Medium	Good	Excellent

جدول ۴- مشخصات سناریوها

Table 4- Specifications of scenarios

scenario	Modes	Explanation
1	1	Current situation
	2	Current status with flow control valve
	3	Current situation with changing the diameter of some pipes
	4	Change the diameter of some pipes with a flow control valve
2	1	Using type1 non pc emitter
	2	with flow control valve Using type1 non pc emitter
	3	Using type1 non pc emitter with changing the diameter of some pipes
	4	Change the diameter of some pipes with a flow control valve
3	1	Using type2 non pc emitter
	2	Using type2 non pc emitter with flow control valve
	3	Using type2 non pc emitter with changing the diameter of some pipes
	4	Change the diameter of some pipes with a flow control valve



گونه که مشاهده می‌شود نرم‌افزار به خوبی این مقادیر را پیش‌بینی نموده است. همچنین از طریق محاسبه شاخص‌های آماری ریشه متوسط مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MBE) و درصد خطا (NRMSE) انجام شد، مقادیر این پارامترها در جدول (۵) نشان داده شده است. همچنین بررسی رگرسیون ساده خطی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده انجام شد که به تفکیک پارامترهای دبی و فشار در شکل‌های (۷) و (۸) مشخص گردیده است.

### نتایج و بحث

واسنجی نرم‌افزار EPANET با استفاده از داده‌های ثبت شده از بازدید میدانی و مدل‌سازی کارکرد سامانه آبیاری بوستان باراجین در شرایط فعلی برای واسنجی نرم‌افزار، تطابق داده‌های فشار ودبی ثبت شده از بازدید میدانی با داده‌های ثبت شده از مدل‌سازی در نرم‌افزار بررسی گردید. در نمودار شکل‌های (۵) و (۶) محور  $\Delta$  پارامتر فشار و دبی را در دو حالت ثبت شده از بازدید میدانی و پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار و محور X اختلاف ارتفاع هر یک از ۱۳ عدد لترال را نسبت به مخزن نشان می‌دهد. همان-

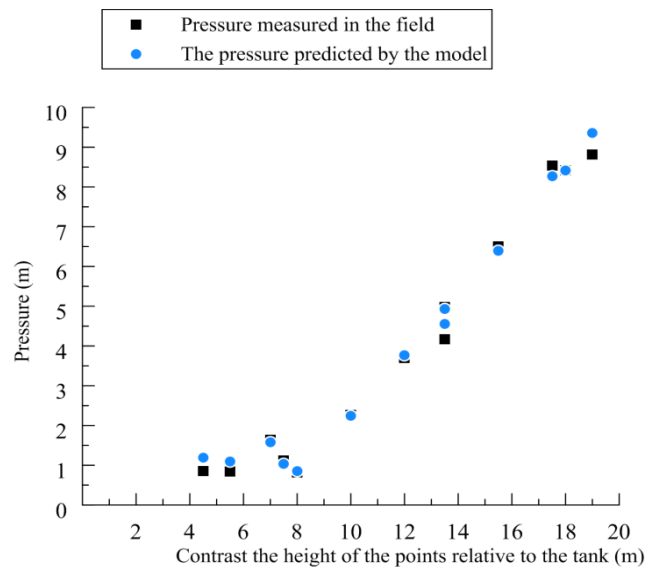


Fig. 5- Values of measured and predicted pressures versus height difference

شکل ۵- مقادیر فشارهای اندازه‌گیری شده و مدل‌سازی شده در مقابل اختلاف ارتفاع

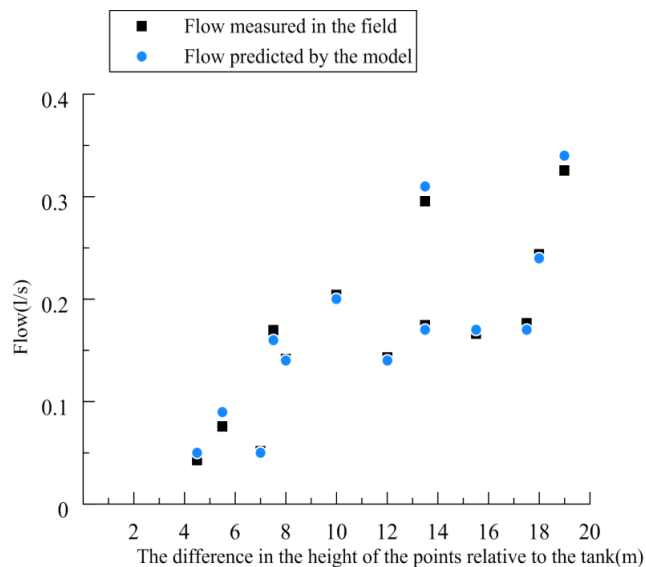


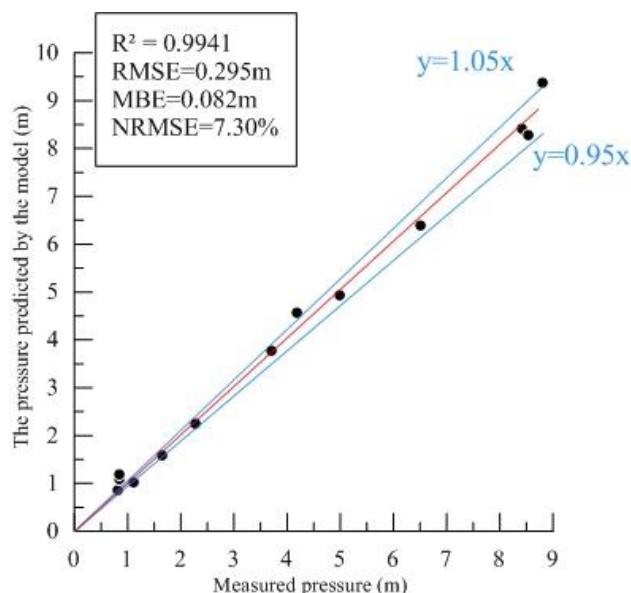
Fig. 6- Values of measured and predicted flow rates versus height difference

شکل ۶- مقادیر دبی‌های اندازه‌گیری شده و مدل‌سازی شده در مقابل اختلاف ارتفاع

جدول ۵- مقادیر متوسط مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MBE) و درصد خطا (NRMSE)

Table 5- Values (RMSE), (MBE) and (NRMSE)

Parameter	RMSE	MBE	NRMSE(%)
Pressure(m)	0.295	0.082	7.30



Flow(lit/s)	0.005	0.00147	3.12
-------------	-------	---------	------

Fig. 7- Values of measured and predicted pressures

شکل ۷- مقادیر فشارهای اندازه گیری شده و پیش بینی شده

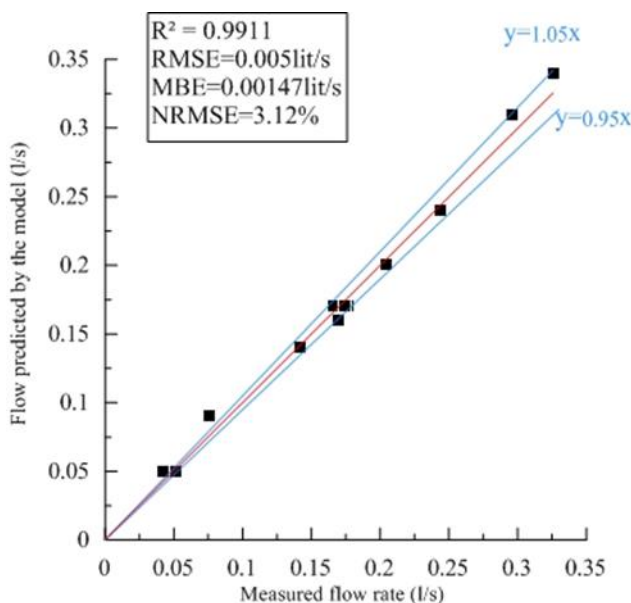


Fig 8- Measured and predicted flow rates

شکل ۸- مقادیر دبی های اندازه گیری شده و پیش بینی شده



### ارزیابی کارکرد سامانه آبیاری قطره‌ای

در سامانه مورد ارزیابی شیب موجود و اختلاف ارتفاع بین نقاط علت اصلی توزیع غیریکنواخت فشار می‌باشد. در راستای یافتن راهکار مناسب در رفع این مشکل بررسی سامانه در حالت‌ها و سناریوهای متفاوت انجام گردید.

طبق جدول (۶) ارزیابی در سه سناریو متفاوت صورت گرفته است.

سناریو (۱) در چهار حالت مورد ارزیابی قرار گرفت، در حالت اول کارکرد فعلی بررسی گردید و مشاهده شد که مقادیر EU برابر با ۵۸ درصد و CU برابر با ۷۱ درصد و راندمان سامانه از نظر معیارهای ارزیابی در محدوده ضعیف می‌باشد در این حالت ۰/۵ لیتر بر ثانیه هدر رفت آب صورت می‌گیرد. در حالت دوم برای بررسی تاثیر استفاده از شیر کنترل دبی جانمایی دو عدد شیر با ظرفیت‌های ۱/۵ و ۰/۷۴ لیتر بر ثانیه در مکان‌های بین لوله لترال ۱۱-۱۰ و ۶-۵ با مدل‌سازی در نرم‌افزار EPANET انجام شد، مشاهده شد در این حالت مقادیر EU به ۷۰ درصد و CU به ۷۸ درصد افزایش می‌یابد که در مقایسه با حالت قبل به اندازه ۸۲ درصد از هدر رفت آب کاسته می‌شود. در حالت سوم برای بررسی تاثیر تغییر قطر لوله‌ها در بهبود توزیع فشار، قطر لوله‌ها بر اساس دبی عبوری مورد نیاز هر بخش به صورت تلسکوپی با مدل‌سازی در EPANET تغییر یافت در این حالت مقادیر EU برابر با ۶۷ درصد و CU برابر با ۷۷ درصد بوده که در مقایسه با حالت اول، ۰/۰۴ لیتر بر ثانیه از مصرف آب کاسته می‌شود و همچنین شرایط کارکرد سامانه از نظر معیارهای ارزیابی مطلوب‌تر می‌باشد. در حالت چهارم ارزیابی سامانه با تغییر قطر لوله و استفاده از شیر کنترل دبی مورد بررسی قرار گرفت، دو عدد شیر با ظرفیت‌های ۱/۱۹ و ۰/۵۸ لیتر بر ثانیه در مکان‌های بین لوله لترال ۹-۸ و ۵-۴ در EPANET مدل‌سازی شد.

مشاهده شد مقادیر EU به ۷۱ درصد و CU به ۷۹ درصد افزایش می‌یابد، در مقایسه با حالت قبل به اندازه ۴۳ درصد از هدر رفت آب کاسته می‌شود. به‌طور کلی از مقایسه این حالت با سه حالت قبل مشاهده می‌شود که استفاده از شیر کنترل دبی به همراه تغییر قطر لوله تأثیر مطلوب‌تری در افزایش راندمان داشته است.

سناریو دوم که استفاده از قطره‌چکان غیر تنظیم کننده فشار نوع یک می‌باشد، همانند سناریو قبلی در چهار حالت بررسی شد. در شرایط بدون شیر کنترل دبی مقادیر EU برابر با ۳۱ درصد و CU برابر با ۴۹ درصد می‌باشد، در این حالت ۰/۵۷ لیتر بر ثانیه هدر رفت آب صورت می‌گیرد. در حالت دوم برای بررسی تاثیر استفاده از شیر کنترل دبی جانمایی دو عدد شیر با ظرفیت‌های ۱/۱۹ و ۰/۵۸ لیتر بر ثانیه در مکان‌های بین لوله ۹-۸ و ۵-۴ با مدل‌سازی در نرم‌افزار EPANET انجام شد، مشاهده شد در این حالت مقادیر EU به ۴۹ درصد و CU به ۷۲ درصد افزایش می‌یابد که در مقایسه با حالت قبل به اندازه ۷۸ درصد از هدر رفت

آب کاسته می‌شود. در حالت سوم تغییر قطر لوله‌ها بر اساس دبی عبوری مورد نیاز هر بخش به صورت تلسکوپی با مدل‌سازی در EPANET تغییر یافت در این حالت مقادیر EU برابر با ۵۷ درصد ، CU برابر با ۷۴ درصد بوده که در مقایسه با حالت اول، ۰/۱۶ لیتر بر ثانیه از مصرف آب کاسته می‌شود و همچنین شرایط کارکرد سامانه از نظر معیارهای ارزیابی مطلوب‌تر می‌باشد. در حالت چهارم ارزیابی سامانه با تغییر قطر لوله و استفاده از شیر کنترل دبی مورد بررسی قرار گرفت، دو عدد شیر با ظرفیت‌های ۱/۱۹ و ۰/۵۸ لیتر بر ثانیه در مکان‌های بین لوله لترال ۹-۸ و ۵-۴ در EPANET مدل‌سازی شد.

مشاهده شد مقادیر EU به ۷۲ درصد و CU به ۸۱ درصد افزایش می‌یابد، در مقایسه با حالت قبل به اندازه ۶۸ درصد از هدر رفت آب کاسته می‌شود.

در سناریو سوم که استفاده از قطره‌چکان غیر تنظیم کننده فشار نوع دو می‌باشد، در حالت اول شرایط بدون شیر کنترل دبی مقادیر EU برابر با ۴۶ درصد و CU برابر با ۶۰ درصد می‌باشد، در این حالت ۰/۶ لیتر بر ثانیه هدر رفت آب صورت می‌گیرد. در حالت دوم برای بررسی تاثیر استفاده از شیر کنترل دبی جانمایی دو عدد شیر با ظرفیت‌های ۱/۱۹ و ۰/۵۸ لیتر بر ثانیه در مکان‌های بین لوله ۹-۸ و ۵-۴ با مدل‌سازی در نرم‌افزار EPANET انجام شد، مشاهده شد در این حالت مقادیر EU به ۵۲ درصد و CU به ۷۶ درصد افزایش می‌یابد که در مقایسه با حالت قبل به اندازه ۷۶ درصد از هدر رفت آب کاسته می‌شود. در حالت سوم تغییر قطر لوله‌ها، مقادیر EU ۶۵ درصد، CU ۷۹ درصد بوده که در مقایسه با حالت اول، ۰/۱۸ لیتر بر ثانیه از مصرف آب کاسته می‌شود و همچنین شرایط کارکرد سامانه از نظر معیارهای ارزیابی مطلوب‌تر می‌باشد. در حالت چهارم ارزیابی سامانه با تغییر قطر لوله و استفاده از شیر کنترل دبی مورد بررسی قرار گرفت، دو عدد شیر با ظرفیت‌های ۱/۱۹ و ۰/۵۸ لیتر بر ثانیه در مکان‌های بین لوله لترال ۹-۸ و ۵-۴ در EPANET مدل‌سازی شد.

مشاهده شد مقادیر EU به ۷۴ درصد و CU به ۸۳ درصد افزایش می‌یابد، در مقایسه با حالت قبل به اندازه ۶۹ درصد از هدر رفت آب کاسته می‌شود.

نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی سناریوهای متفاوت در EPANET نشان داد، راندمان سامانه آبیاری در شرایط کارکرد فعلی بدون شیر کنترل دبی از نظر معیارهای ارزیابی در محدوده ضعیف بوده استفاده از شیر کنترل دبی افزایش تأثیر مطلوبی در بهبود راندمان سامانه دارد. به‌طور کلی در هر سه سناریو که مورد ارزیابی قرار گرفت، استفاده از شیر کنترل دبی به همراه تغییر قطر در لوله‌ها تأثیر بیشتری در افزایش راندمان داشته است.

جدول ۶- مقادیر معیارهای ارزیابی در سناریوهای مختلف

Table 6- Evaluation criteria values in different scenarios

Scenario	Required flow (lit/s)	Flow rate (lit/s)	Used valves	Change the diameter of the pipe	EU%	CU%	Water saving (lit/s)
1	1.7	2.2	✗	✗	58	71	-
		1.79	✓	✗	70	78	0.41
		2.16	✗	✓	67	77	-
		1.96	✓	✓	71	79	0.2
2	1.7	2.27	✗	✗	31	49	-
		1.82	✓	✗	49	79	0.45
		2.11	✗	✓	57	74	-
		1.83	✓	✓	72	81	0.28
3	1.7	2.3	✗	✗	46	60	-
		1.84	✓	✗	52	76	0.46
		2.12	✗	✓	65	79	-
		1.83	✓	✓	74	83	0.29

### نتیجه گیری

در این پژوهش کارکرد سامانه آبیاری قطره‌ای بوستان باراجین که دارای شیب زیادی بود ارزیابی شد و قطره‌چکان‌های معمولی در آزمایشگاه مورد آزمون قرار گرفتند. در اراضی شیب‌دار طراحی، اجرا و بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری تحت فشار با مشکلات زیادی همراه بوده و معمولاً باعث کاهش راندمان و یکنواختی پخش آب در سامانه‌های آبیاری تحت فشار در این اراضی خواهد شد. در اراضی شیب‌دار چندان استفاده از ایستگاه پمپاژ و تجهیزات فیلتراسیون مرسوم نیست و از قطره‌چکان‌های غیر تنظیم کننده فشار استفاده می‌شود، که این موضوع خود باعث کاهش یکنواختی پخش آب خواهد شد. همچنین به دلیل شیب زیاد اراضی توزیع مناسب آب در شبکه لوله‌های اصلی، نیمه اصلی و فرعی به سختی صورت می‌گیرد. در این مطالعه اثر استفاده از شیر کنترل دبی تولید شده توسط خود محققین برای افزایش یکنواختی توزیع آب مدل‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که

استفاده از این شیرها می‌تواند در شرایط مختلف حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد یکنواختی پخش آب در اراضی شیب‌دار را افزایش دهد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد: کاربرد شیرهای کنترل دبی در اراضی شیب‌دار برای افزایش یکنواختی توزیع آب در سامانه و کاهش نیروی کارگری. استفاده از قطره‌چکان معمولی به همراه شیر کنترل دبی برای اراضی شیب‌دار بدون ایستگاه پمپاژ و فیلتراسیون. استفاده از نرم‌افزار EPANET برای مدل‌سازی کارکرد سامانه‌های آبیاری تا به منظور افزایش راندمان آبیاری، بهینه‌سازی سامانه‌ها انجام شود.

### تقدیر و تشکر

این طرح با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (Iran National Science Foundation (INSF)) با شماره طرح ۹۹۰۲۷۹۷۱ صورت گرفته است.

### References

- Alizadeh, A. 2012. *Principles of design of irrigation systems, Volume II: Principles of design of pressurized irrigation systems*. Book in Astan Quds Razavi Publications, 368p.
- Bazkiaee, P. Kamkar, B. Amiri, A. Kazemi, H. Rrzayi, M. and Akbarzadeh, S. 2020. Simulation of growth and yield and evaluation of rice production productivity under irrigation management and planting date using Aquacrop model. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 9(2), 17–34 (in Persian).
- Farzin, S., Mousavi, S.F., Hassanvand, M.R., Salimi, A.H. and Doostmohammadi, M., 2018. Hydraulic modeling of water supply network of green spaces using EPANET and prediction of hydraulic characteristics using artificial intelligence. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(1), pp.186-198.
- Ghaderi, k. Javadi, F. Amirkhani, KH. And Sharifi, A., 2012. Optimization of pressure systems using EPANET software. *Eleventh national seminar on irrigation and evaporation reduction*. Kerman.

- <https://civilica.com/doc/157959> (in Persian).
- 5- Khorami, M. and Ansari, H., 2019. Evaluation of efficiency and performance of drip irrigation systems in urban green space (Case study of Shahid Bronsi Boulevard, Mashhad). *Third National Conference on Coastal Water Resources Management. October 9, 2017, Mazandaran.*
  - 6- Mehri, N. and Bijankhan, M., 2019. Laboratory estimation of energy loss coefficient and performance of flow control valve. *Iran Soil and Water Research* 50, 2001–2007. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.274446.668105> (in Persian).
  - 7- Merriam, J.L. and J. Keler. 1978. *Farm irrigation system evaluation: A guide for management, department of Agriculture Engineering, California, Polytechnic, Science, 13:129-139.*
  - 8- Noshadi, M. Qaemi, A., 2012. Technical and hydraulic study of drip irrigation systems in Fars province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 6: 254–264 (in Persian).
  - 9- Qasemzadeh Mojaveri, F. 1991. *Evaluation of farm irrigation systems.* Book in *Astan Quds Razavi Publications*, 336p.
  - 10- Rahmeyer, W. and Driskell, L., 1985. Control valve flow coefficients. *Journal of Transportation Engineering*, 111(4), pp.358-364.
  - 11- Ramana, G.V., Sudheer, C.V. and Rajasekhar, B., 2015. Network analysis of water distribution system in rural areas using EPANET. *Procedia Engineering*, 119, pp.496-505.
  - 12- Zhang, X. and Wang, D., 2015. A flow control device for incompressible fluids. *Flow Measurement and Instrumentation*, 41, pp.165-173.



**EXTENDED ABSTRACT**

**Identification of Possible Groundwater Recharge Areas by Multi-criteria Analysis based on GIS (Case: Dezful – Andimeshk Plain)**

B. Zahedi<sup>1</sup>, H. Islam<sup>2</sup>, M. H. Pormohammadi<sup>3\*</sup>, E. Derikvand<sup>4</sup> and M. Solimani Babarsad<sup>5</sup>

1- Ph. D. Student, Department of Civil Engineering- Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering- Water Resources Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

3\* - Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering- Water Resources Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran. ( [purmohammadimohammadhosin@gmail.com](mailto:purmohammadimohammadhosin@gmail.com) )

4- Assistant Professor, Department of Civil Engineering- Water Resources Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

5- Department of Water Sciences, Water Science and Environmental Research Center, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

**ARTICLE INFO**

*Article history:*

Received: 5 April 2022

Revised: 16 September 2022

Accepted: 19 September 2022

*Keywords:*

AHP, TOPSIS, artificial groundwater recharge.

**TO CITE THIS ARTICLE :**

ZAHEDI, B., poormohammadi, M. H., Eslami, H., Derikvand, E., Solimani babarsad, M. (2023). 'Identification of Possible Groundwater Recharge Areas by Multi-criteria Analysis based on GIS (Case: Dezful – Andimeshk Plain)', Irrigation Sciences and Engineering, 46(2), pp. 75-90. doi: 10.22055/jise.2022.40328.2021.

**Introduction**

The over-drilling of deep wells and the excessive exploitation of groundwater sources cause the groundwater level to decrease daily, resulting in more energy to power pumps. Artificial recharging is the injection of water into a permeable formation to recharge the groundwater aquifer and reuse it with a different regime and quality and by creating additional facilities or changes in the region's natural conditions (Fazl Avali, 1998). Placing artificial recharge systems are one of the basic principles of creating these systems. The selection of sites based on scientific and natural points plays a critical role in the success and efficiency of the development of these systems to achieve the relevant goals. This process must be undertaken with considerable care. Identifying artificial recharge areas and substrates can be accomplished using various methods and parameters. No matter the method used, the results from different studies must be analyzed jointly, and then the most appropriate area for the study must be determined. Due to the presence of various characteristics in location, continuous changes of influential factors, and the need to examine the evaluated criteria, the use of GIS due to special features and capabilities, can be beneficial to this endeavor. The multi-criteria analysis method has been mentioned as a valuable model for integrating information layers in artificial recharge. Numerous studies have been conducted to locate recharging sites for artificial recharge.

Ramalingam and Santhakumar (2002), using GIS and remote sensing techniques, investigated suitable artificial feeding areas in a state in India which considered geomorphological, geological,

soil, slope, land use, runoff intensity, and groundwater depth. As part of the research conducted by Hekmatpour *et al.* (2007), areas of the Varamin plain that can be artificial recharge were identified through classification and layer combining in a GIS environment and using a decision support system to make decisions.

### Procedure

The Dezful-Andimeshk plain is a vast, flat area downstream of the Dez reservoir dam, approximately 150 kilometers north of Ahvaz. The plain occupies an area of approximately 2487 square kilometers. In order of age, the outcrop units in this area are The Bangestan Group, The Gurpi Formation, The Pabdeh Formation, The Amiran Formation, The Tele Zang Formation, The Kashkan Formation, The Asmari Formation, The Asmari-Shahbazan Formation, The Gachsaran Formation, The Mishan Formation, The Aghajari Formation, The Lahbari section, The Bakhtiari Formation, and sediments of the recent era. Alluvial sediment is present in the region and throughout the Dezful-Andimeshk plain, and its thickness and extent vary in different places based on the river and erodible altitude.

Influential factors may be considered the most critical factors in achieving the final goal depending on the research type. Thus, considering their importance in the location, various components should be given the highest preference and weighting. The weighting of other factors proportional to reducing its effects on location becomes less (Table 1). Thus, the most influential factor in location will have the most weight.

**Table 1- Weighting factors as a pairwise comparison based on preference (Ghodsipour, 2008)**

Preferences (oral judgment)	Numerical value
Extremely preferred	9
Very strongly preferred	7
Strongly preferred	5
Moderately preferred	3
Equally preferred	1
Preferences between strong distances	8,6,4,2

### Discussion

Six parameters were selected and studied among the different factors that influence the location of areas prone to groundwater recharge in this study, including transferability, alluvial thickness, distance from the river, land use, and road, and lithology. The focus of the research is to provide information layers based on location. The layers' weights were determined based on a hierarchical analysis process and a unique vector technique. Weighting was performed based on the relative importance of each parameter in locating an appropriate location for artificial recharge. Pairwise scaling was performed using the 1-9 hour scale. Table 2 presents the final weights calculated by the software. Afterward, AHP layers were determined according to the weight of each criterion. Following the initial map, the AHP map of each criterion was obtained by multiplying each of the maps by the Raster Calculator tool in ARC GIS 10.5 software. Following the determination of the final weights and the preparation of map representations of each criterion and sub-criteria, integrating these maps with the Raster Calculator tool in ARC GIS 10.5 software resulted in the final AHP map, as illustrated in Figure 1. In this study, the TOPSIS method was used to achieve goal to compare and achieve better results. Weights were determined using the AHP method, and layers were weighed. Then the positive and negative layers were drawn in GIS. Finally, the final 10.5 layers of the best

artificial feeding place based on the TOPSIS method were obtained by subtracting these two layers by the Raster Calculator tool in ARC GIS software. In this method, all criteria except complex formation and distance from the river were considered negative ideals.

**Table 2- Final weights of criteria**

Factor	Final weight
Transferability	0.375
Alluvial thickness	0.282
alluvium	0.81
Hard Formation	0.009
Distance from the river	0.145
Land use	0.101
Distance from the road	0.024

### Conclusion

According to technical criteria, the final maps of AHP and TOPSIS demonstrate the north and center of the area around Andishmak and Dokuheh, especially alluvial thickness and alluvial material, which have the highest score among other factors, was the best place to achieve the desired goal. Furthermore, with every approaching to the south-west, i.e., Shush, and to the south and southeast, i.e., around the Karun and Shahid Beheshti agro-industrial companies, the distance from the place where to attain the goal is reduced. Among the findings, the distance from the river and the alluvial nature of the area have the most significant impact on the location of suitable artificial recharge areas.

Based on the criteria considered for the purpose, TOPSIS provided a more appropriate answer than AHP with a slight difference. This can be attributed to considering both the best and worst outcomes or the distance from the ideal.

### Acknowledgements

I am grateful to all the dear ones who helped me in reaching the conclusion of this research. It is noted that the information in this article is from Behzad Zahedi's doctoral dissertation in the summer of 1400 on the subject of using GIS techniques and multivariate decision-making methods for the quantitative and qualitative assessment of groundwater in order to find suitable places for drilling wells and artificial feeding (case study: North Khuzestan) was extracted

### References

- 1- Fazl avali, R., 1998. Investigation of the effects of flood spreading on artificial nutrition of groundwater aquifers in the Mosian plain using a three-dimensional model" *Tarbiat Modares University, Faculty of Agriculture*, Tehran.
- 2- Ghodsipour, H., 2008. Analytical Hierarchy Process (AHP), Amir Kabir University of Technology, Tehran.
- 3- Hekmatpour, M., Feyznia, S., Ahmadi, H. and Khalilpour, A., 2007. Zoning of suitable areas for artificial feeding of Varamin plain with the help of GIS and decision making system (DSS) *Journal of Environmental Year*, 33, 42.

- 4- Ramalingam. M. and Santhakumar. A., 2002. Case study on artificial recharge using remote sensing and GIS. *GIS developmennt*. from <http://geospatialmedia.net>



© 2023 Shahid Chamran University of Ahvaz, 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/>).



## شناسایی مناطق احتمالی تغذیه آب‌های زیرزمینی به روش تجزیه و تحلیل چند معیاره مبتنی بر GIS (مطالعه موردی: دشت دزفول - اندیمشک)

بهزاد زاهدی<sup>۱</sup>، محمدحسین پورمحمدی<sup>۲\*</sup>، حسین اسلامی<sup>۳</sup>، احسان دریگوند<sup>۴</sup> و محسن سلیمانی یابرساد<sup>۵</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران
- ۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران  
purmohammadimohammadhosin@gmail.com
- ۳- استادیار گروه مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
- ۴- استادیار گروه مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
- ۵- گروه مهندسی آب، مرکز تحقیقات علوم آب و محیط زیست، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵

دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۶

### چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی حیاتی است که از نظر کمی و کیفی متغیر است. افزایش شهرنشینی و جمعیت توسعه کشاورزی، فشار زیادی بر کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی وارد می‌کند. بنابراین احیا و بهره‌برداری بهینه متناسب با توان آبخوان‌ها یکی از روش‌های حل چالش‌های ناشی از کمبود منابع آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش مهمی در آماده‌سازی لایه‌های موضوعی مختلف برای دستیابی به مناطق بالقوه تغذیه آب زیرزمینی ایفا می‌کند. در این تحقیق برای شناخت پهنه‌های مناسب تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در دشت دزفول-اندیمشک از دو روش AHP و TOPSIS استفاده گردید. معیارهای مورد نظر در این تحقیق شامل ضخامت ابرفت، قابلیت انتقال، لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و کاربری اراضی می‌باشد. پس از تهیه نقشه‌های لازم و هم‌پوشانی آن‌ها در نرم‌افزار GIS لایه‌ها بررسی و مکان‌های مناسب تعیین گردید. طبق نتایج به‌دست آمده مناطق شمالی و مرکزی با توجه به معیارها مکان مناسب‌تری برای تغذیه مصنوعی هستند. برای مقایسه این دو روش درصد مساحت‌هایی را که هر کدام از آن‌ها در دسته‌های عالی، خوب، متوسط و ضعیف در برمی‌گیرند محاسبه گردید. برای روش AHP به ترتیب 9/83، 30/53، 30/15 و 29/49 درصد و برای روش TOPSIS به ترتیب 20/31، 28/47، 27/48 و 23/74 درصد به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: AHP, TOPSIS، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی.

### مقدمه

آب، مهم‌ترین راهکارهای مدیریت منابع آب به‌شمار می‌روند (Ghahari and Pakparvar, 2007).

به‌منظور جبران کسری مخازن آب زیرزمینی و متعادل نگه‌داشتن تراز آن، نیاز به مدیریت آب زیرزمینی از طریق کاهش مصرف و یا افزایش تغذیه دارد. پروژه‌های تغذیه مصنوعی، به‌عنوان یک مکانیزم، زمینه حفاظت از آب‌های زیرزمینی و جلوگیری از افت سفره‌ها در اثر استخراج بیش از حد را فراهم می‌کند. تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از اوایل قرن ۱۹ در اروپا و در اواخر این قرن در آمریکا آغاز شد. از آن به بعد، اینکار در سطح جهان گسترش پیدا نموده است (Nirmala et al., 2011). از دیدگاه عمومی، تغذیه مصنوعی فعالیتی است بر مبنای وارد کردن آب به داخل یک سازند نفوذپذیر با هدف تغذیه سفره آب زیرزمینی، به‌گونه‌ای که استفاده مجدد از آن با رژیم و کیفیتی متفاوت، به‌وسیله ایجاد تأسیسات اضافی یا اعمال تغییراتی در شرایط طبیعی منطقه قابل حصول باشد. تغذیه مصنوعی دشت‌ها به روش‌های مختلف از جمله روش پخش سیلاب، استفاده از

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع بسیار مهم تأمین آب شیرین در جهان به‌شمار می‌رود (Sargaonkar, et al., 2011). تغییرات آب و هوا تأثیر قابل‌توجهی بر سیستم‌های زمین دارد که در دهه‌های اخیر از طریق کمبود شدید آب مشهود است. با توجه به افزایش سریع جمعیت، صنعتی شدن و کشاورزی، تقاضا برای آب افزایش یافت که به شدت بر تنش آب‌های زیرزمینی تأثیر گذاشت. بنابراین مسئله حفظ و نگهداری منابع آب موجود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Chezgi et al., 2016; Venkatesan et al., 2019). انتظار می‌رود امنیت آب بزرگترین چالش در قرن ۲۱ باشد (Snyder, 2019). مشکلات ناشی از بروز خشکسالی‌ها از یک‌سو و سیلاب‌های مخرب از سوی دیگر، لزوم مدیریت صحیح منابع آب خصوصاً بهره‌گیری از سیلاب‌ها را ضروری می‌سازد. در این رابطه، جمع‌آوری آب‌های سطحی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و تنظیم بهره‌برداری صحیح از

مکان تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است برای مثال در حوزه وایگای در تاملیل نادو هند (Abijith et al., 2020) از روش AHP برای شناخت مناطق مناسب تغذیه آب‌های زیرزمینی استفاده نمودند. مرفولوژی سطح زمین مانند زمین‌شناسی، ژئومرفولوژی، انواع خاک، کاربری اراضی و پوشش زمین، زهکشی، شکستگی به‌عنوان عوامل مؤثر مستقیم و غیر مستقیم در تغذیه آب زیرزمینی انتخاب شدند. همچنین Deepa et al (2016) مناطق بالقوه تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را در زیر حوزه مانیموکها در تاملیل نادو هند بررسی نمودند. با استفاده از GIS و سنجش از دور لایه‌های موضوعی و لایه تلفیقی جدید تهیه شد. نقشه نهایی مناطق مناسب برای تغذیه آب زیرزمینی را نشان داد. در منطقه لاتور در ماهاراشترا در هند Sagar Navane و Nalini Sahoo (2020) برای شناسایی سایت‌های تغذیه آب زیرزمینی از سنجش از دور و ابزار تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده کردند. لایه‌های موضوعی مختلف با استفاده از ArcGIS تولید شدند و با یک روش چند متغیره به نام تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مورد بررسی قرار گرفتند. لایه‌های موضوعی انتخاب شده با روش ترکیبی خطی وزنی برای محاسبه شاخص پتانسیل آب زیرزمینی (GWPI) و شاخص تغذیه آب زیرزمینی (GWRI) ادغام شدند. بر اساس GWPI محاسبه شده، منطقه مورد مطالعه به پنج پهنه بالقوه آب زیرزمینی به نام‌های «فقیر»، «متوسط»، «خوب»، «بسیار خوب» و «عالی» ترسیم شد که به ترتیب ۱/۶۱ درصد، ۷۱/۹۹ درصد، ۲۲/۷۷ درصد، ۳/۵۴ و ۰/۰۹ درصد را پوشش می‌دهد. همچنین مشاهده شد که منطقه مورد مطالعه دارای مساحت ۵۹۵۷/۸۹ کیلومتر مربع منطقه تغذیه متوسط است. ۳۴ سایت تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی دیگر برای مدیریت مؤثر آب زیرزمینی شناسایی شده است. در منطقه‌ای در سریلانکا (Senanayake et al., 2016) برای تعیین محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی، با به‌کارگیری GIS و ترکیب لایه‌های مربوط به پارامترهای شیب، کاربری اراضی، تراکم زهکشی، پوشش زمین، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و پوشش خاک نتیجه‌گیری نمودند که به‌کارگیری این روش، بستری مناسب از لحاظ زمانی و همچنین هزینه و عملیات در زمینه تعیین محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی ایجاد می‌کند. همچنین Zarie et al (2019) با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل AHP مناسب‌ترین عرصه‌ها برای اجرای عملیات روش‌های تغذیه مصنوعی در استان یزد، شناسایی کردند. بدین منظور ابتدا داده‌های ۱۱ پارامتر تأثیرگذار شیب، زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت، هدایت الکتریکی، کاربری اراضی، میزان آب قابل دسترس، قابلیت انتقال آبخوان، پوشش گیاهی، هدایت هیدرولیکی و لایه فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه در محیط مناطق GIS آماده سازی گردید و سپس با به‌کارگیری مدل AHP وزنی تمامی ۱۱ لایه وزن‌دهی شدند و سپس تلفیق شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که در حدود ۲۶/۴ درصد کل مساحت از لحاظ انجام تغذیه

چاه‌های تغذیه و حوضچه‌های تغذیه انجام می‌شود. یکی از موارد مهم در موفقیت اجرای عملیات تغذیه مکان‌یابی بهینه و تعیین محل مناسب است. در تعیین دقیق محل‌های مناسب، استفاده از اطلاعات مؤثر در این زمینه، تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مربوطه و در نهایت تجزیه و تحلیل نتایج دارای اهمیت زیادی است. بدین منظور استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بر پایه GIS به دلیل اینکه می‌توان با استفاده از آن‌ها سیستم‌های پیچیده‌ای را با انعطاف بیشتری مدل‌سازی نمود و همچنین امکان استفاده از اطلاعاتی که قطعیت ندارد را نیز به کاربر می‌دهد دارای کاربری بیشتری نسبت به روش‌های کلاسیک است. داده‌های سنجش از دور، هنگامی که با نقشه‌های پیمایشی معمولی استفاده می‌شود، در شناسایی مناطق تغذیه آب‌های زیرزمینی بسیار مفید است (Muralidhar et al., 2000; Harinarayanan et al., 2000). در این میان روش‌های AHP و TOPSIS برای پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توانند برای شناسایی مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی به کار گرفته شوند.

AHP عینیت ریاضی را برای ترجیحات ذهنی فراهم می‌کند که در تصمیم‌گیری از فرد یا گروه اجتناب‌ناپذیر است. در اصل، AHP با توسعه اولویت‌های جایگزین و معیارهایی که برای ارزیابی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، کار می‌کند (Saaty, 2001). فرایند تحلیل سلسله مراتب (AHP) به‌طور گسترده در تخصیص وزن (w) به لایه‌های مختلف موضوعی کاربرد (Chowdhury et al., 2009; Machiwal et al., 2011; ) (Fashae et al., 2014; Kaliraj et al., 2014; Abrams et al., 2018). روش AHP مجموعه داده‌های متعدد را در یک ماتریس مقایسه زوجی تجزیه و تحلیل می‌کند، که برای محاسبه میانگین هندسی و وزن نرمال پارامترها استفاده می‌شود (Chowdhury et al., 2010).

تعیین ارجحیت با استفاده از میزان نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (TOPSIS) محسوب می‌شود. Hwang و Yoon (1981) TOPSIS را برای اولین بار توسعه دادند. این روش به‌طور گسترده‌ای برای اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. با این حال به دلیل ناتوانی در مدیریت عدم قطعیت ذاتی و کاهش دقت ناشی از اعمال نظر تصمیم‌گیر، به‌صورت اعداد قاطع مورد نقد است (Amiri., 2010). در روش TOPSIS قضاوت‌های شخصی به‌صورت اعداد قاطع ارائه می‌شوند که این باعث می‌شود در بسیاری از موارد عملی نتایج اولویت‌بندی این مدل دقیق نبوده و مطلوب تصمیم‌گیر نباشد (Chan and Kumar, 2017).

در این تحقیق سعی بر آن شده است تا با استفاده از دو روش AHP و TOPSIS که یکی از روش‌های چند شاخصه MADM است و در نظر گرفتن معیارهای متفاوت محل مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت دزفول-اندیمشک تعیین گردد. تحقیقات زیادی در جهان با استفاده از این دو روش برای دست‌یابی به بهترین

## مواد و روش‌ها

این بخش منابع داده‌ها، فرمت‌ها و روش‌های پردازش داده‌ها را برای هر پارامتر مورد استفاده در ارزیابی مناطق احتمالی تغذیه آب‌های زیرزمینی مورد بحث قرار می‌دهد. در این تحقیق از روش اسنادی و بررسی‌های کتابخانه‌ای، بررسی نقشه‌ها و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه و بررسی‌های میدانی استفاده شده است. نقشه‌های پایه مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از نقشه زمین‌شناسی، در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup> و با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی، نقشه همباران تهیه گردید. به کمک تصاویر ماهواره‌ای Google Earth محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت و حدود آن مشخص گردید. سپس مدل ارتفاع رقومی با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه گردید. بعد از آن تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای پهنه‌بندی در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 به صورت مواردی که در ادامه ذکر می‌شود انجام گرفت. مدل ارتفاع رقومی منطقه به نه کلاس ارتفاعی طبقه‌بندی گردید. طبقات مذکور نمایان‌گر پهنه‌های مطالعاتی در منطقه می‌باشند که محاسبات بعدی در هر کدام از این طبقات انجام گرفت. لایه لیتوژی از روی نقشه زمین‌شناسی محدوده استخراج شد. نقشه کاربری اراضی منطقه نیز از طریق نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup> در محیط نرم‌افزار ENVI 4.5 تهیه گردید. نقشه قابلیت انتقال باتوجه به آزمون پمپاژ محدوده در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 به روش IDW درونیابی شد. ضخامت آبرفت از روی اطلاعات سنگ کف و سطح آب محدوده مطالعاتی به دست آمد و نقشه آن نیز با روش IDW در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 درونیابی و ترسیم گردید. نقشه فاصله از جاده و فاصله از رودخانه نیز با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و کاربری اراضی ترسیم شدند. تمامی اطلاعات مورد نیاز برای ترسیم این نقشه‌ها از داده‌های دریافتی سازمان‌های مربوطه تا پایان سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ می‌باشد.

مناسب تشخیص داده شد و حدود نه درصد کل استان جهت انجام تغذیه نامناسب می‌باشند.

## روش تحقیق

### معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت دزفول - اندیمشک در پایین‌دست سد مخزنی دز و در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شمال اهواز واقع شده و دارای مساحتی در حدود ۲۴۸۷ کیلومتر مربع می‌باشد. رودخانه دز از شمال وارد دشت می‌شود و با پیوستن رودخانه‌های فرعی به آن به سمت جنوب به مسیر خود ادامه می‌دهد و در حوالی حرمله از دشت خارج می‌گردد و عمده زه‌کشی آبخوان توسط آن صورت می‌گیرد. شیب عمومی دشت از شمال به جنوب بوده و برآمدگی‌هایی در حوالی هفت تپه، دشت را از قسمت جنوبی جلگه خوزستان جدا می‌سازد.

واحدهای رخنمون یافته در منطقه به ترتیب سنی از قدیم به جدید عبارتند از: گروه بنگستان، سازند گورپی، سازند پابده، سازند امیران، سازند تله زنگ، سازند کشکان، سازند آسماری، سازند آسماری-شهبازان، سازند گچساران، سازند میشان، سازند آغاچاری، بخش لهربری، سازند بختیاری و رسوبات عهد حاضر. رسوبات آبرفتی در منطقه و سرتاسر دشت دزفول - اندیمشک وجود دارد و بسته به وجود رودخانه و ارتفاعات قابل فرسایش مقدار ضخامت و گسترش آن‌ها نیز در نقاط مختلف با یکدیگر متفاوت است. متوسط سالیانه ریزش‌های جوی در محدوده مطالعاتی ۴۶۴/۸۵ میلی‌متر است و متوسط درجه حرارت دشت برابر ۲۵/۳۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین باتوجه به اقلیم نمای دومارتن می‌توان گفت اقلیم منطقه در محدوده نیمه خشک قرار گرفته است آبخوان آبرفتی دزفول - اندیمشک جزئی از دشت دزفول - اندیمشک می‌باشد. دشت دزفول - اندیمشک به‌عنوان وسیع‌ترین دشت در حوزه آبریز دز و وسیع‌ترین دشت استان خوزستان است که مناطق کوهستانی شمالی تا مناطق کم ارتفاع مرکز استان را در برمی‌گیرد. شکل (۱) تصویر هوایی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

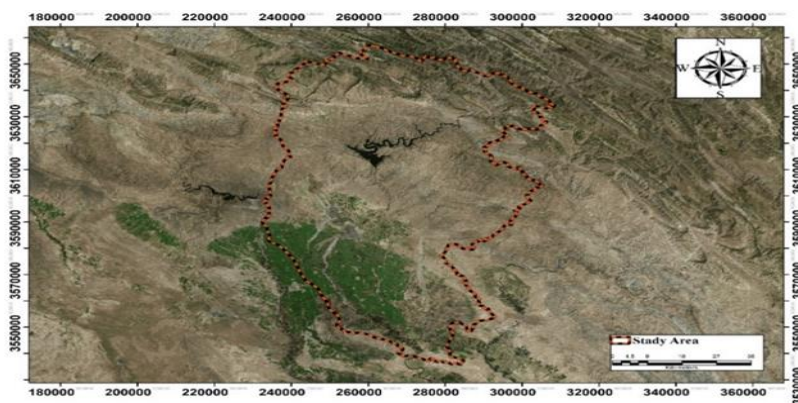


Fig. 1- Aerial image of the study area  
شکل ۱- تصویر هوایی محدوده مورد مطالعه

اهمیت نسبی هر پارامتر در مکان‌یابی محل مناسب تغذیه مصنوعی انجام گرفت. برای انجام مقیاس‌های جفتی از مقیاس ۱-۹ ساعتی استفاده شده است. بررسی پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط نه نفر از کارشناسان خبره در زمینه آب‌های زیرزمینی از جمله کارشناسان سازمان آب و برق خوزستان (دو نفر دکترای آب زیرزمینی، سه نفر کارشناسی ارشد آب زیرزمینی، دو نفر دکترای هیدرولوژی و دو کارشناس ارشد منابع آب) و وارد کردن اطلاعات آن‌ها در نرم‌افزار Expert Choice منجر به دست‌یابی به وزن‌های نهایی مطابق شکل (۳) برای معیارهای مدنظر شد. نرخ ناسازگاری ۰/۰۴ نیز برای این قسمت به دست آمد که عدد بسیار مطلوبی است. مطابق خروجی‌های نرم‌افزار Expert Choice معیارهای فنی تأثیر بیشتری در مکان‌یابی دارند. جدول (۲) وزن‌های نهایی به دست آمده از نرم‌افزار را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در این جدول آبرفت و قابلیت انتقال بیشترین وزن و سازند سخت کمترین امتیاز را دارند. سپس با توجه به وزن هر معیار لایه‌های AHP آن‌ها را ترسیم گردید. بدین صورت که پس از ترسیم نقشه ابتدایی آن‌ها با ضرب کردن هر کدام از نقشه‌ها توسط ابزار Raster Calculator در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 نقشه AHP هر کدام از معیارها به دست آمد.

بدیهی است با توجه به نوع پژوهش، پارامترهای تأثیرگذار می‌توانند به‌عنوان مهم‌ترین عوامل برای رسیدن به هدف نهایی در نظر گرفته شوند. بنابراین برای مولفه‌های مختلف با توجه به اهمیت آن‌ها در مکان‌یابی، باید بالاترین ارجحیت و وزن‌دهی را در نظر گرفت. وزن‌دهی به سایر عوامل به نسبت کاهش تأثیراتشان در مکان‌یابی کمتر می‌شود (جدول ۱). به عبارت دیگر مؤثرترین عامل در مکان‌یابی از بیشترین وزن‌دهی برخوردار خواهد بود.

## نتایج و بحث

### روش AHP

در این تحقیق شش پارامتر قابلیت انتقال، ضخامت آبرفت، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از جاده و لیتولوژی از میان عوامل مؤثر در مکان‌یابی مناطق مستعد برای تغذیه آب‌های زیرزمینی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. تهیه لایه‌های اطلاعاتی در امر مکان‌یابی، اصلی‌ترین قسمت تحقیق است. پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق در شکل (۲) آورده شده است.

### وزن‌دهی به معیارها

برای تعیین وزن لایه‌ها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک بردار ویژه استفاده شده است. این وزن‌دهی بر اساس

### جدول ۱- وزن‌دهی به عوامل به صورت مقایسه زوجی بر اساس ارجحیت (Ghodsipour, 2008)

Table 1- Weighting factors as a pairwise comparison based on preference (Ghodsipour, 2008)

numerical value	Preferences (oral judgment)
9	Extremely preferred
7	Very strongly preferred
5	Strongly preferred
3	Moderately preferred
1	Equally preferred
8,6,4,2	Preferences between strong distances

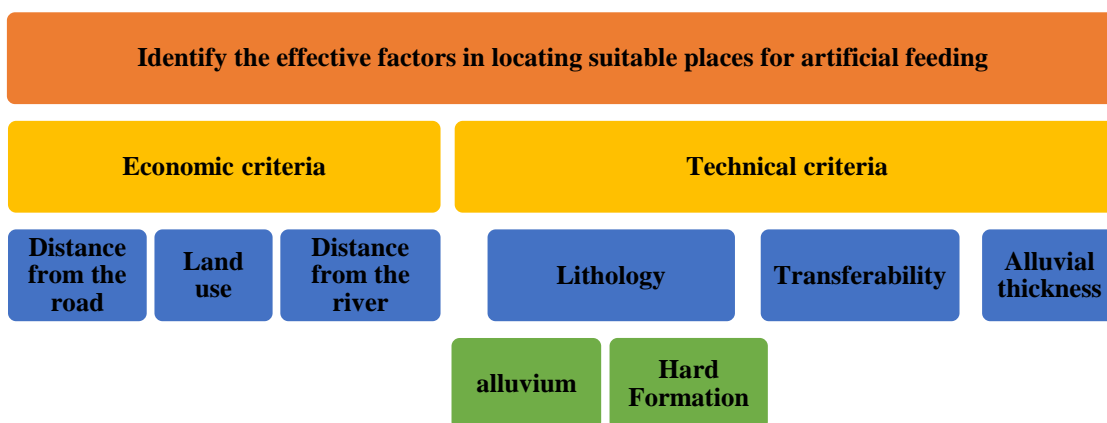


Fig. 2- Hierarchical diagram of recognizing the effective factors in locating suitable places for artificial feeding

شکل ۲- نمودار سلسله مراتبی شناخت عوامل مؤثر در مکان‌یابی مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی

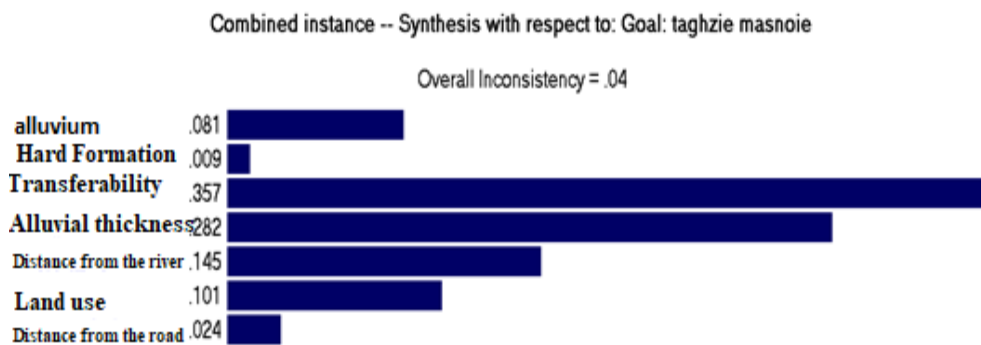


Fig. 3- Expert Choice software output  
 شکل ۳- خروجی نرم افزار Expert Choice

جدول ۲- وزن های نهایی معیارها

Table 2- Final weights of criteria

Factor	Final weight
Transferability	0.375
Alluvial thickness	0.282
alluvium	0.81
Hard Formation	0.009
Distance from the river	0.145
Land use	0.101
Distance from the road	0.024

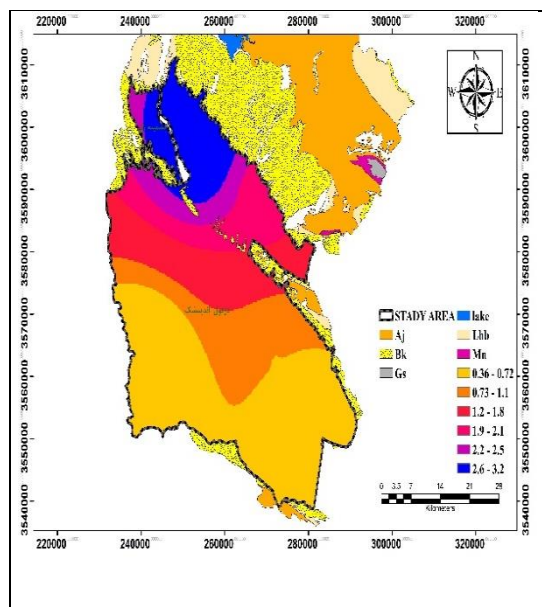


Fig. 4- AHP lithology map  
 شکل ۵- نقشه AHP قابلیت انتقال

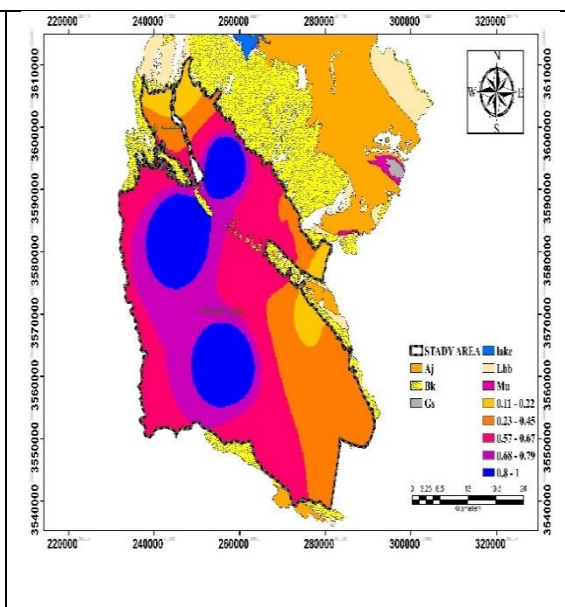


Fig. 5- AHP map transferability  
 شکل ۴- نقشه AHP لیتولوژی

آبرفت های دانه درشت بهتر ایجاد می شود. در قسمت های شمالی و مرکزی محدوده این معیار از ارزش خوبی برخوردار است (شکل ۴).

لیتولوژی

در این بررسی معیار لیتولوژی به دو زیر معیار آبرفت و سازند سخت تقسیم شد. تشکیل آبخوان در بخش های آبرفتی به ویژه



طبق نقشه هرچه فاصله از بستر رودخانه کم‌تر باشد مکان بهتری برای ایجاد تغذیه مصنوعی است (شکل ۷).

### کاربری اراضی

در محدوده آبخوان بخش عمده اراضی به زمین‌های کشاورزی اختصاص پیدا کرده است. آبیاری زمین‌های کشاورزی خود عامل تقویت تغذیه آبخوان به‌شمار می‌رود. بعد از زمین‌های کشاورزی، نواحی شهری و مسکونی مساحت قابل توجهی را به خود اختصاص داده است. تملک زمین‌ها در نواحی شهری امکان‌پذیر نیست. تملک باغ‌های منطقه نیز از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه نبوده و بیشترین امتیاز ابتدا به مراتع و زمین‌های بی‌استفاده و بایر و در رتبه بعدی به مناطق نزدیک مسیل‌ها و رودخانه‌ها و بعد زمین‌های کشاورزی اختصاص پیدا کرده است (شکل ۸).

### فاصله از جاده

در حاشیه و حریم جاده‌ها شریان‌های حیاتی مانند خطوط انتقال گاز، برق، سوخت و فیبر نوری وجود دارد. همچنین در محل تلاقی جاده‌ها با رودخانه پل‌ها وجود دارد. به‌منظور جلوگیری از آسیب به شریان‌های حیاتی در اثر بالا آمدن تراز آب زیرزمینی در نواحی تغذیه‌علی‌الخصوص جلوگیری از مستغرق شدن پایه‌های پل‌ها، از این منظر محل تغذیه مصنوعی هر چه قدر فاصله بیشتری با جاده داشته باشد مناسب خواهد بود (شکل ۹).

### قابلیت انتقال

قابلیت انتقال آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی معیار مهمی در انتخاب محل مناسب تغذیه مصنوعی و مطالعه‌های آب زیرزمینی است. هر چه قدر میزان این پارامتر در محلی از آبخوان بیشتر باشد، آن محل برای تغذیه آب زیرزمینی مناسب خواهد بود. قابلیت انتقال محدوده مورد مطالعه بین حدود ۲۳۸ تا ۸۵۰ متر مربع در شبانه روز متغیر است. بهترین مقدار این معیار در بخش شمالی محدوده است (شکل ۵).

### ضخامت آبرفت

اگر ضخامت غیر اشباع آبرفت بیشتر باشد فرصت تصفیه آب تغذیه شده تا رسیدن به ناحیه اشباع آبخوان بیشتر خواهد بود. ضخامت بیشتر آبرفت، قابلیت بالایی برای ذخیره آب تغذیه شده خواهد داشت. ضخامت زیاد نواحی تاثیر مثبتی بر کاندید شدن آن نواحی در انتخاب محل مناسب جهت تغذیه مصنوعی دارد. در قسمت‌های شمالی و غربی محدوده این معیار از ارزش خوبی برخوردار است (شکل ۶).

### فاصله از رودخانه

بستر رودخانه در دشت، محل مناسبی برای ایجاد بند تاخیری است تا از طریق آبرفت‌های بستر آب سطحی وارد آبخوان شود.

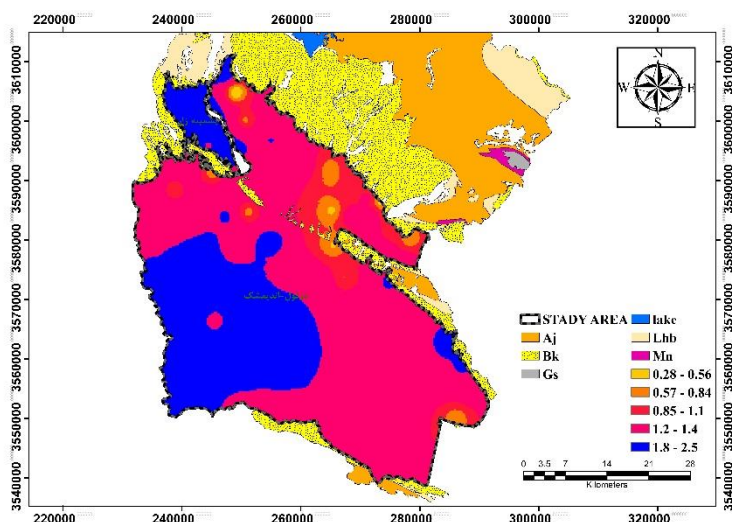


Fig. 6- AHP map alluvial thickness

شکل ۶- نقشه AHP ضخامت آبرفت

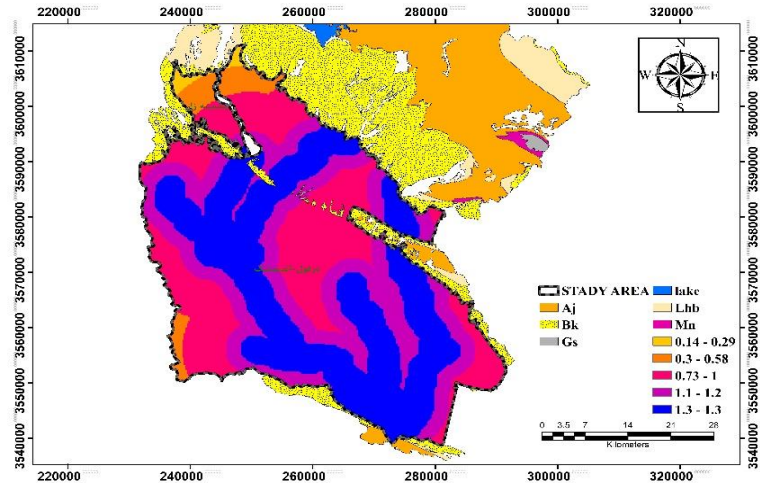


Fig. 7- AHP map distance from the river  
 شکل ۷- نقشه AHP فاصله از رودخانه

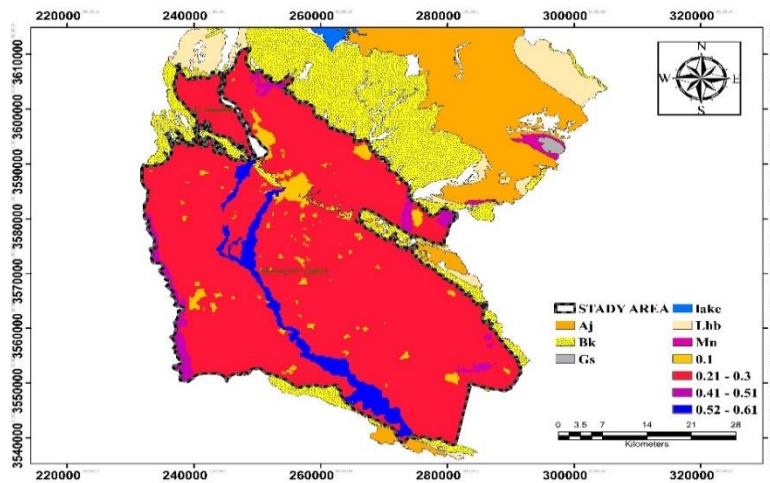


Fig. 8- AHP Land Use Map  
 شکل ۸- نقشه AHP کاربری اراضی

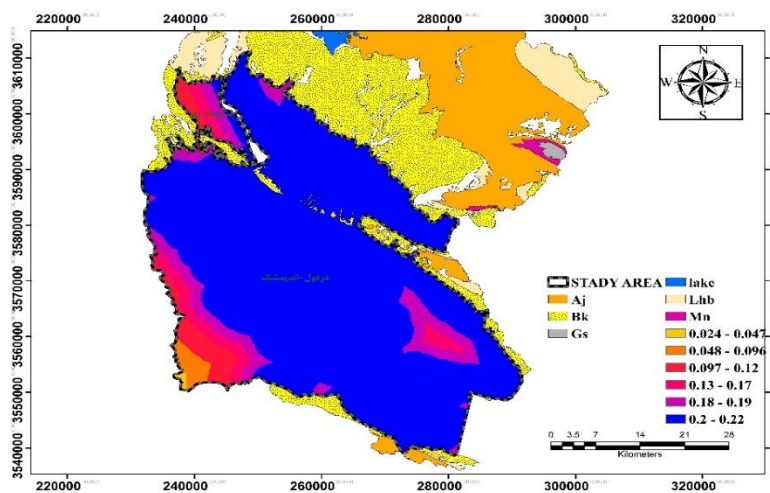


Fig. 9- AHP Land Use Map  
 شکل ۹- نقشه AHP فاصله از جاده

پرسشنامه‌های ارائه شده به خبرگان جدول ماتریس تصمیم تشکیل شد و پس از محاسبات جدول ماتریس میانگین و سپس نرمال تشکیل شد. پس از آن با استفاده از روش AHP وزن‌ها مشخص شد و لایه‌ها وزن‌دهی شدند (جدول ۳). سپس لایه‌های مثبت و منفی در GIS ترسیم گردید و در نهایت با تفریق این ۲ لایه توسط ابزار Raster Calculator در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 لایه نهایی بهترین مکان تغذیه مصنوعی بر اساس روش TOPSIS نیز به‌دست آمد.

پس از مشخص شدن اوزان نهایی و تهیه نقشه مربوط به هر یک از معیارها و زیرمعیارها با ادغام این نقشه‌ها توسط ابزار Raster Calculator در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 نقشه نهایی AHP مطابق شکل (۱۰) حاصل شد.

### روش TOPSIS

در این تحقیق به‌منظور مقایسه و دستیابی به نتایج بهتر از روش TOPSIS نیز برای نیل به هدف استفاده گردید. بر اساس

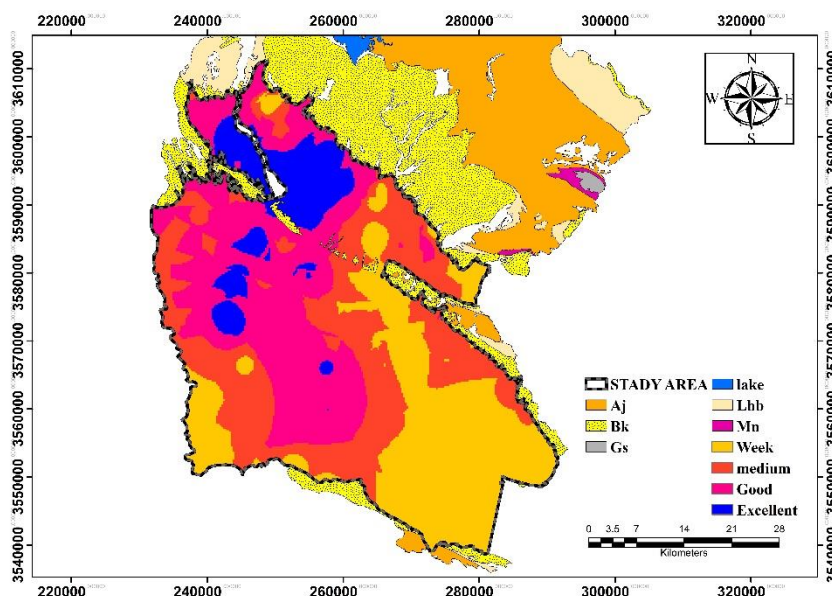


Fig. 10- The final AHP map

شکل ۱۰- نقشه AHP نهایی

### جدول ۳- ماتریس وزن‌ها

Table 3- Weight matrix

Distance from road	Land use	Distance from the river	Hard Formation	alluvium	alluvial thickness	Ability to transfer	Weight matrix
0.0194	0.0184	0.0117	0.0016	0.5693	0.1982	0.2509	Excellent
0.0111	0.0369	0.0067	0.0033	0.4428	0.1541	0.1951	Good
0.0038	0.0553	0.005	0.0049	0.3163	0.1101	0.1394	medium
0.0028	0.0738	0.0017	0.2299	0.1898	0.0661	0.0836	Weak

$$A^- = \{(\min V_{ij}|i \in j), (\max V_{ij}|i \in j) | i=1, 2, \dots, m\} =$$

$$\{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

$$A^+ = \{(\max V_{ij}|i \in j), (\min V_{ij}|i \in j) | i=1, 2, \dots, m\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\} \quad (1)$$

$$\{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

جدول (۴) فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی را نشان می‌دهد. شکل (۱۱) نیز نشان دهنده نقشه فاصله از این ایده‌آل‌هاست. همان‌گونه که از نقشه‌ها نیز مشخص است در قسمت‌های شمالی

### محاسبه فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی

راه‌حل ایده‌آل مثبت راه‌حل یا گزینه‌ای است که از لحاظ معیارهای سود بیشینه و از لحاظ معیارهای هزینه وضعیت کمینه را دارد و راه‌حل ایده‌آل منفی راه‌حلی است که از نظر معیارهای هزینه بیشینه و از لحاظ معیارهای سود کمینه است. فاصله از ایده‌آل منفی و مثبت از روابط زیر به‌دست می‌آید (رابطه ۱). در این روش تمامی معیارها به جز سازند سخت و فاصله از رودخانه به‌عنوان ایده‌آل منفی در نظر گرفته شدند.



زیر شاخص نزدیکی به ایده‌آل را نشان می‌دهد (رابطه ۲) که نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. شکل (۱۲) نقشه نهایی به روش TOPSIS را نشان می‌دهد (از آن جا که نرخ تبادل بین معیارها معمولاً مقداری غیر از واحد است بی مقیاس‌سازی انجام می‌شود).

$$CL_i = d_i^+ / d_i^+ + d_i^- \quad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

$$0 \leq CL_i \leq 1$$

و مرکزی دشت بیشترین نزدیکی به ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی را داریم.

**محاسبه شاخص نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل**

گزینه برتر گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد. برآیند این دو فاصله در قالب ضریب نزدیکی بیان می‌شود که بر این اساس گزینه‌ای که مقدار عددی ضریب نزدیکی بزرگتری داشته باشد به‌عنوان گزینه ارجح شناخته می‌شود. رابطه

**جدول ۴- فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی**

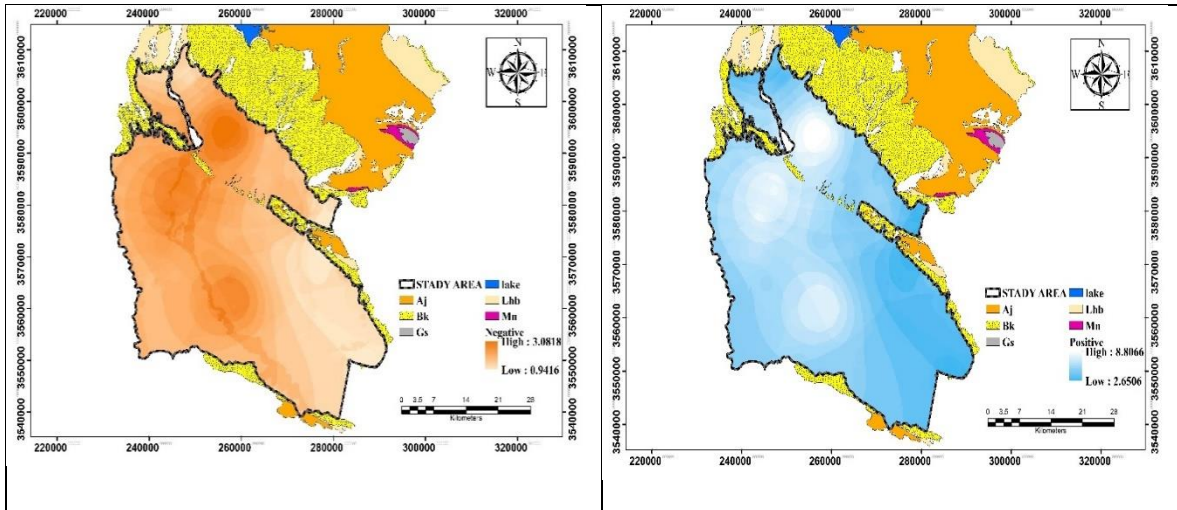
**Table 4- Distance from positive and negative ideals**

distance size	Positive	negative
Excellent	0	0.4392
Good	0.1466	0.2927
medium	0.2928	0.1466
Weak	0.4392	0

**جدول ۵- شاخص نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل**

**Table 5 - Index of proximity to the ideal solution**

Name	Weak	medium	Good	Excellent
Result	0	0.3333	0.6663	1



**Fig. 11- A- Proximity to the negative ideal, B- Proximity to the positive ideal**

**شکل ۱۱- الف- نزدیکی به ایده‌آل منفی، ب- نزدیکی به ایده‌آل مثبت**

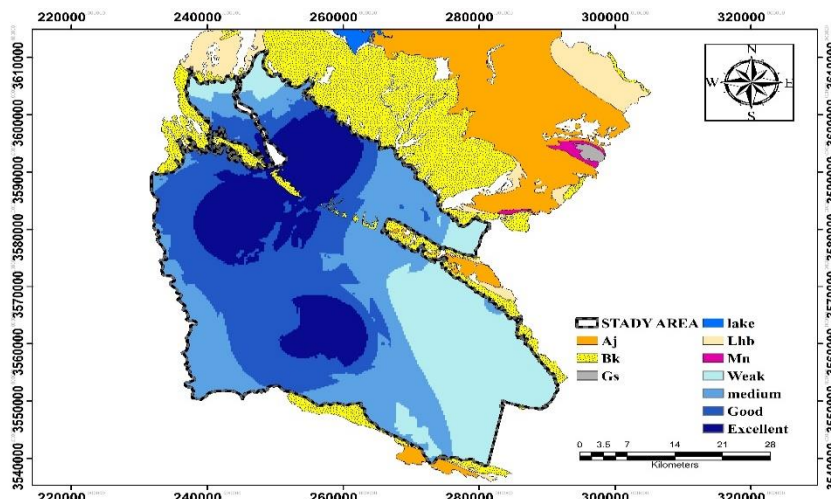


Fig 12- The final map by TOPSIS method

شکل ۱۲- نقشه نهایی به روش TOPSIS

## جدول ۶- مقایسه دو روش

Table 6- Comparison of two methods

Criterion	AHP method		Criterion	TOPSIS method	
	Area (KM2)	Percentage of area		Area (KM2)	Percentage of area
Excellent	227.78	9.83	Excellent	470.67	20.31
Good	707.84	30.53	Good	459.63	28.47
medium	698.89	30.15	medium	639.90	27.48
Weak	683.71	29.49	Weak	550.26	23.74

دربازه عالی تا خوب قرار گرفته است. در نهایت می‌توان ابراز داشت که استفاده از روش‌های چند معیاره AHP و TOPSIS می‌تواند پاسخ مناسبی برای بررسی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی ارائه نماید. در این میان معیارهای در نظر گرفته شده می‌تواند عامل ایجاد تفاوت در نتایج نهایی برای مناطق مختلف باشد. این تحقیق با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده و پاسخگویی بسیار دقیق آن کارایی بالایی برای استفاده از آن در انجام سایر مطالعه‌های آب زیرزمینی (علل خصوص سازمان آب و برق خوزستان) در محدوده دشت دزفول-اندیشک دارد.

## سپاسگزاری

از تمامی عزیزانی که در به نتیجه رسیدن این تحقیق بنده را یاری نمودند سپاسگزارم. خاطر نشان می‌گردد اطلاعات این مقاله از رساله دکتری اینجانب بهزاد زاهدی در تابستان ۱۴۰۰ با موضوع به‌کارگیری روش‌های GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره برای ارزیابی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی به‌منظور یافتن مکان‌های مناسب حفر چاه و تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی: شمال خوزستان) استخراج گردید.

## نتیجه‌گیری

به‌منظور مقایسه این دو روش مساحت‌هایی را که هر کدام از آن‌ها در دسته‌های عالی، خوب، متوسط و ضعیف در برمی‌گیرند محاسبه گردید و در جدول (۶) قرار داده شد. همان‌طور که در نقشه‌های نهایی AHP و TOPSIS مشاهده می‌شود شمال و مرکز محدوده در حوالی اندیشمک و دوکوهه طبق معیارهای فنی به خصوص ضخامت آبرفت و جنس آبرفت که بیشترین امتیاز را در بین سایر عوامل دارند بهترین محل برای دسترسی به هدف مورد نظر بوده و هر چه به سمت جنوب‌غرب یعنی شوش و جنوب و جنوب‌شرق یعنی اطراف شرکت‌های کشت و صنعت کارون و شهید بهشتی برویم از مکان مناسب برای دستیابی به هدف فاصله گرفته می‌شود. باتوجه به نتایج بدست آمده فاصله از رودخانه و آبرفتی بودن منطقه بیشترین تأثیر را در مکان‌یابی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی دارند.

به‌طور کلی باتوجه به معیارهای در نظر گرفته شده برای هدف مورد نظر روش TOPSIS با اختلاف ناچیزی پاسخ مناسب‌تری در مقایسه با روش AHP داد و این می‌تواند به در نظر گرفتن هر دو حالت بهترین و بدترین پاسخ یا فاصله از ایده‌آل مربوط باشد. بر اساس روش AHP  $935/62$  کیلومترمربع یعنی چیزی حدود  $40/36$  درصد مساحت محدوده در دسته عالی تا خوب و بر اساس روش TOPSIS  $1130/5$  یعنی  $48/78$  درصد مساحت

### References

- 1- Abijith, D., Saravanan, S., Singh, L., Jacinth, J., Saranya, T., K.S.S. and Parthasarathy, B., 2020. GIS-based multi-criteria analysis for identification of potential groundwater recharge zones - a case study from Ponnaniyar watershed, Tamil Nadu, India, *Hydro Research*, 3(4), 1-14
- 2- Abrams, William, Eman Ghoneim, Roger Shew, Todd LaMaskin, Khalid Al-Bloushi, Saber Hussein, Mostafa AbuBakr, Esam Al-Mulla, Meshgan Al-Awar, and Farouk El-Baz. "Delineation of groundwater potential (GWP) in the northern United Arab Emirates and Oman using geospatial technologies in conjunction with Simple Additive Weight (SAW), Analytical Hierarchy Process (AHP), and Probabilistic Frequency Ratio (PFR) techniques." *Journal of Arid Environments* 157 (2018): 77-96. from <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.005>.
- 3- Amiri, M.P., 2010. Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 37, 6218-6224.
- 4- Chan, F.T.S. and Kumar, N., 2017. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35, 417-431.
- 5- Chezgi, J., Pourghasemi, H.R., Naghibi, S.A., Moradi, H.R. and Kheirkhah Zarkesh, M., 2016. Assessment of a spatial multi-criteria evaluation to site selection underground dams in the Alborz Province, Iran. *Geocarto International* 31 (6), 628-646. (In Persian)
- 6- Chowdhury, A., Jha, M.K., Chowdary, V.M. and Mal, B.C., 2009. Integrated remote sensing and GIS-based approach for assessing groundwater potential in West Medinipur district, West Bengal, India. *International Journal of Remote Sensing*, 30(1), pp.231-250., from <https://doi.org/10.1007/s10708-019-09981>.
- 7- Chowdhury, A., Jha, M.K. and Chowdary, V.M., 2010. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. *Environmental Earth Sciences*, 59, pp.1209-1222., from <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0110-9>.
- 8- Deepa, S., Venkateswaran, S., Ayyandurai, R., Kannan, R. and Vijay Prabhu, M., 2016. Groundwater recharge potential zones mapping in upper Manimuktha Sub basin Vellar river Tamil Nadu India using GIS and remote sensing techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, pp.1-13.
- 9- Fashae, O.A., Tijani, M.N., Talabi, A.O. and Adedeji, O.I., 2014. Delineation of groundwater potential zones in the crystalline basement terrain of SW-Nigeria: an integrated GIS and remote sensing approach. *Applied Water Science*, 4, pp.19-38., from <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0127-9>.
- 10- Ghahari, GH. and Pakparvar, M., 2007. Effect of floodwater spreading and consumption on groundwater resources in Gareh Bygone plain. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 14 (3), 368-390. (In Persian)
- 11- Harinarayanan, P., Gopalakrishna, G. and Balasubramanian, A., 2000. Remote sensing data for groundwater development and management in Kerala Pura watersheds of Cauvery Basin, Karnataka, India. *Indian Mineral*, 34, 11-17.
- 11- Hwang, C.L. and Yoon, K., 1981. Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- 12- Kaliraj, S., Chandrasekar, N. and Magesh, N., 2014. Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique. *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (4), 1385-1401.
- 13- Machiwal, D., Jha, M.K. and Mal, B.C., 2011. Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing, GIS and MCDM techniques. *Water resources management*, 25, pp.1359-1386., from <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9749-y>.

- 14-Muralidhar, M., Raju, K., Raju, K. and Prasad, J., 2000. Remote sensing applications for the evaluation of water resources in rainfed area, Warangal district, Andhra Pradesh, *Indian Mineral*, 34, 33–40
- 15-Nirmala, R., Shankara, M. and Nagaraju, D., 2011. Artificial Groundwater Recharge Studies in Sathyamangalam and Melur Villages of Kulathur Taluk, Pudukottai District, Chennai, Using GIS Techniques. *Desalination*, 1(7), 1592- 1608.
- 16-Saaty, T. L. and Vargas, L. G., 2001. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*, Kluwer Academic Publisher, Boston, 333.
- 17-Saaty, T. L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process, *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- 18-Navane, V.S. and Sahoo, S.N., 2021. Identification of groundwater recharge sites in Latur district of Maharashtra in India based on remote sensing, GIS and multi-criteria decision tools. *Water and Environment Journal*, 35(2), pp.544-559..
- 19-Sargaonkar, A., Rathi. B. and Baile. A., 2011. Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan, India. *Environmental Earth Sciences*, 62, 1099–1108
- 20-Senanayake.,I.P., Dissanayake, D.M.D.O.K., Mayadunna, B.B. and Weerasekera, W.L., 2016. An approach to delineate groundwater recharge potential sites in Ambalantota, Sri Lanka using GIS techniques. *Geoscience Frontiers*, 7(1):115-124.
- 21-Snyder, Sh., 2019. *Water In Crisis - Spotlight India*, from <https://thewaterproject.org/water-crisis/water-in-crisis-india>
- 22-Venkatesan, G., Pitchaikani, S. and Saravanan, S., 2019. Assessment of groundwater vulnerability using GIS and DRASTIC for upper Palar River basin, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*, 94, pp.387-394.
- 23- Zarie, A., Zarie, S., Nekoie esfahani, A., Kakapur, V. and Kaneani, B. 2019. Locating suitable lands for artificial feeding of underground water tables using regional data and satellite images in Yazd province. *Environmental Science Studies*, 4th period, 1st issue, 1130-1141. (In Persian).

**EXTENDED ABSTRACT**

**Title Experimental Investigation of Discharge and Flow Energy  
Dissipation of Elliptical Lopac Gate in Free Flow Condition**

M. Neisi<sup>1</sup>, S. M. Sajjadi<sup>2\*</sup> and M. Shafaei Bejestan<sup>3</sup>

1- Graduate student, Department of Water Structures, Water Since Faculty of Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2\*- Corresponding Author, Assistant Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. ([sadjadi@scu.ac.ir](mailto:sadjadi@scu.ac.ir))

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

**ARTICLE INFO**

*Article history:*

Received: 3 June 2019

Revised: 31 January 2020

Accepted: 3 February 2020

*Keywords:*

Hydraulic flow , Irrigation  
Networks, Efficiency , Coefficient  
Discharge , Regulation and Control  
Structures.

**TO CITE THIS ARTICLE :**

Neisi, M., Sajjadi, S. M., Shafai Bejestan, M. (2023). 'Title Experimental Investigation of Discharge and Flow Energy Dissipation of Elliptical Lopac Gate in Free Flow Condition', Irrigation Sciences and Engineering, 46(2), pp. 91-101. doi: 10.22055/jise.2020.29708.1849.

**Introduction**

Management of irrigation networks has always been one of the most important issues in the agricultural sector, and the use of modern valves and structures for controlling and adjusting the water flow is very important in irrigation channels. Water level control structures are used in irrigation canals to implement delivery methods (Naghaei and Monem 2013).

Gates are one of the most used water structures in distribution canals that are used to transport and deliver water to consumer or to control the flow rate or water level. Determining the relationship governor on these structures can improve the performance of open canals and therefore prevent water loss. Lopac gate as a water level adjustment structure has recently attracted attentions and its performance in applied and practical areas of irrigation channels in different countries is accepted. The gate can be opened along the flow direction and can regulate upstream water level for various discharges by adjusting the gate opening angle (Oad and Kinzli 2006). So far little studies have been done on these types of gates. Some studies have examined hydraulic conditions of the flow passing through rectangular Lopac gate and presented the discharge equation as well as its coefficient in free flow and submerged conditions. In the present study, an experimental investigation has been conducted on new type of Lopac gate called elliptical lopac gates. This type of gate, which is a combination of rectangular Lopac gates and elliptical sharp edges have good function in passage of rubbish, foliage of trees and sediments along with the flow. We constructed and installed an elliptical Lopac gate as well as a rectangular Lopac gate at the laboratory scale to control and compare performance of both types of gates. The test were conducted for 5 opening degrees and for 5 discharge. Then, discharge equations of the elliptical Lopac gate in free flow condition with the help of buckingham pi theorem were presented with appropriate precision of Mean Absolute Percentage Error (MAPE = 4.44%). Also, changes in the energy flow dissipation crossing of Elliptical Lopac gate and Rectangular Lopac gate were studied and compared.

## Methodology

First, after examining all the methods of testing and flumes and channels in the Hydraulic Laboratory of the Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, a rectangular flume with a glass wall and a metal floor with a length of 10.5 meters and a width of 0.8 meter, a height of 0.6 meter was selected for tests. In order to obtain the opening angles, a pair of PVC picket were cut at the desired angle were used. . In free flow conditions, five different discharge (40.6, 58.2, 73, 84.8 and 93.8 l/s) were tested for 5 different opening angles (20, 22.5, 30, 37.5 and 45 degrees). The flow discharge was measured by an ultrasonic flow meter with accuracy of  $\pm 1$  l/s. In each experiment, for a given discharge and the angle of opening, the depth of water upstream of the elliptical lopac gate was taken and in the number of 7 axis along the length and number of 5 points in width. After dimensional analysis of the effective quantities on the discharge and energy flow dissipation of elliptical lopac gate, the effective dimensionless parameters were obtained. These quantities include Froude number, Reynolds number, Flume width to the upstream water depth ratio  $B / y$ , and Opening ratio  $b_g / B$ . the amount of energy flow dissipation to the Upstream energy flow of the Elliptical Lopac gate. The Reynolds number expresses the effect of viscosity forces. . According to the tests in the range of turbulent flow, the impact of the viscosity force is negligible. In the following, we first got a dimensionless relationship for discharge by using a regression on the results of the experiments in the free flow condition. Subsequently, we determined energy flow dissipation crossing on the Elliptical Lopac gate and Rectangular lopac gate and compared their results.

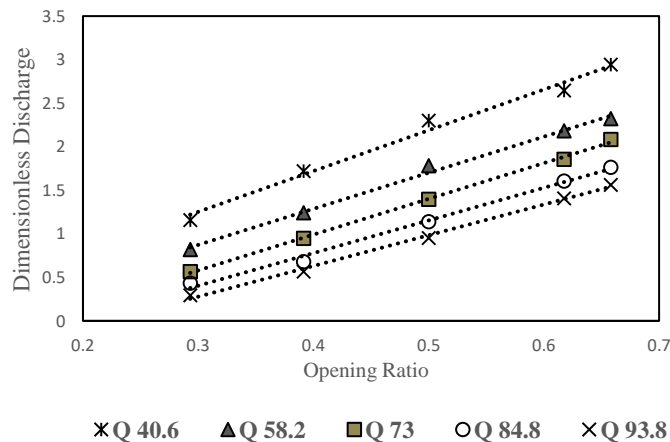


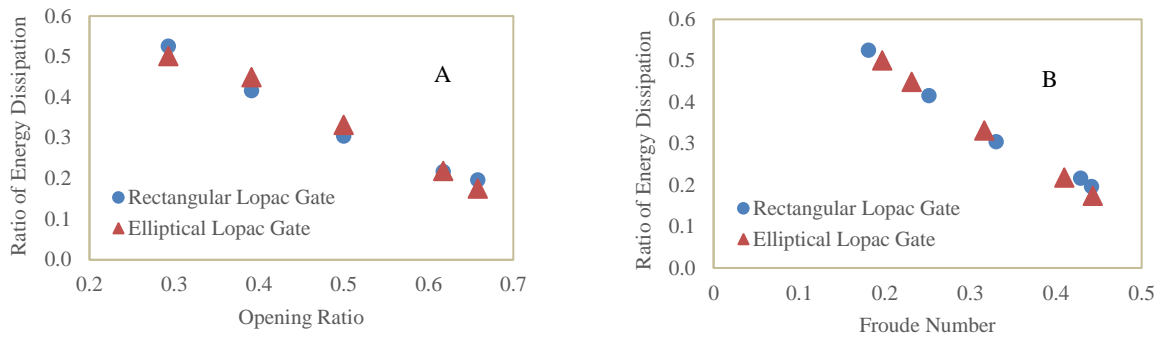
Fig. 1- Variation of dimensionless discharge versus opening ratio

## Results and Discuspn

The discharge relationship in free flow conditions for elliptical lopac gate is shown by dimensionless equation (1).

$$\frac{Q}{y_u^{5/2} \sqrt{g}} = \left[ -1.724 + \left( \frac{b_g}{B} \right)^{1.483} + \left( \frac{B}{y_u} \right)^{0.725} \right] \quad (1)$$

This discharge relationship a function of the gate opening ratio and its value increases with increasing gate opening. Figure (1) shows dimensionless discharge versus opening ratio. The observations showed that the most effective dimensionless parameter on the discharge relationship is the opening ratio.



**Fig. 2- Ratio of Energy Dissipation versus A) Opening Ratio B) Froude Number For Discharge 84.8(L/s)**

**Table 1- Accuracy of discharge relationship**

Lopac Gate	MAPE	RMSE	$R^2$	RE
Eq.1	4.44%	0.005	0.973	$\pm 10\%$

This relation as shown in Table (1) provides similar accuracy as the main equation with Root Mean Square Error of 0.005, Mean Absolute Percentage Error of 4.44%, and Relative Error of  $\pm 10\%$ . Therefore in terms of practical applications, this equation is recommended.

Also, as seen by decreasing the gate opening angle in both types of gate, energy flow dissipation increases. As can be seen in Figure (2), these increases are approximately equal for both Elliptical Lopac gate and Rectangular Lopac gate, and as the Froude number increases, the amount of energy flow dissipation decreases.

## Conclusions

Depending on the selected angles, it is expected that the effect of the ellipticity of the Elliptical Lopac gate on the energy flow dissipation, rather than the rectangular Lopac gate, is more pronounced in the smaller openings angle.

## Acknowledgments

This article has been prepared from the results of the MSc. thesis of the first author and with the support of the university's research unit through the second author's Grant (SCU.WH401.343) by which the authors thank and appreciate the university's vice chancellor for research. We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support. In addition, the spiritual support of the scientific center "Improvement and maintenance of irrigation and drainage networks" is thanked and appreciated.

## References

- 1- Naghaei, R. and Monem, M.J. 2013b. Introducing various hydraulic and operation conditions of Lopac gate in irrigation canals. In *1st National Conf. on Irrigation and Agricultural Water Productivity, Iranian Association of Irrigation and Drainage, Tehran, Iran*. (In Persian).
- 2- Oad, R. and Kinzli, K., 2006. Employed in middle rio grand vally to help deliver water efficiently. Available from: <http://www.as2i.net/products/control-gates>.





## بررسی آزمایشگاهی دبی و افت انرژی جریان عبوری از دریچه سالونی - بیضوی در شرایط جریان آزاد

مصطفی نیسی<sup>۱</sup>، سید محسن سجادی<sup>۲\*</sup> و محمود شفاعی بجستان<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران  
m.sadjadi@scu.ac.ir

۳- استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۱۱

دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۳

### چکیده

دریچه سالونی به عنوان سازه‌ای نوین دارای مزایایی از جمله روگذر بودن و عبور رسوبات و شاخ و برگ درختان همراه با جریان می‌باشد که به منظور تنظیم سطح آب در شبکه‌های آبیاری استفاده می‌گردد. در مطالعه حاضر بررسی آزمایشگاهی روی نوع جدیدی از این دریچه، به نام دریچه سالونی - بیضوی در شرایط جریان آزاد انجام گردید. آزمایش‌ها در فلومی به طول ده متر و عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۶ متر با دبی‌های ۰/۶، ۰/۸، ۱/۰، ۱/۲، ۱/۴، ۱/۶، ۱/۸، ۲/۰، ۲/۲، ۲/۴، ۲/۶، ۳/۰، ۳/۲، ۳/۴، ۳/۶، ۴/۰ و ۴/۲ متر مکعب در ثانیه در پنج زاویه ۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ درجه انجام گردید. نتایج نشان داد که دبی جریان رابطه مستقیمی با نسبت بازشدگی دریچه و نسبت عرض فلوم به عمق جریان در بالادست دریچه دارد. در ادامه رابطه بدون بعدی به منظور تخمین دبی جریان عبوری از دریچه با دقت بالایی ( $MAPE = 4.44\%$ ) پیشنهاد گردید. همچنین تغییرات انرژی جریان عبوری از دریچه سالونی - بیضوی در شرایط جریان آزاد تابعی از نسبت بازشدگی و عدد فرود می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** هیدرولیک جریان، شبکه‌های آبیاری، راندمان، ضریب دبی، سازه‌های تنظیم و کنترل جریان.

### مقدمه

مدیریت و حفاظت از منابع آب نقش در بهینه‌سازی مصرف آب نقش به‌سزایی دارد و در این راستا اندازه‌گیری دبی جریان نقش اصلی را ایفا می‌کند. در طی سالیان متمادی پژوهشگران علوم آب تلاش کرده‌اند که با ساخت و نصب سازه‌های اندازه‌گیری در کانال‌ها، دبی جریان را با دقت مناسبی اندازه‌گیری کنند. نتیجه این تلاش‌ها به طراحی سازه‌های متنوعی از قبیل انواع سرریزها، دریچه‌ها و فلوم‌ها منجر شده است (Mahmoodian Shooshtari, 2010). از میان انواع دریچه، می‌توان به دریچه‌های سالونی - مستطیلی اشاره کرد. دریچه سالونی - مستطیلی در دهه ۱۹۸۰ توسط پیتزلانگمن به منظور مدیریت نوسانات سطح آب در کانال‌های آبیاری ابداع شد و از کاربردهای موفقیت‌آمیز آن استفاده در پروژه میدل‌ریوگران (Middle Rio Grand)، در نیومکزیکو در سال ۲۰۰۶ گزارش شده است (Langeman et al., 2006). دریچه سالونی - مستطیلی که به عنوان سازه نوین کنترل عمق جریان یا آب‌بند مطرح است، به صورت دو لنگه‌ی در به دیواره‌ی مستطیلی در امتداد کانال لولا می‌شود. دریچه در امتداد جریان باز شده و با تغییر بازشدگی، امکان تنظیم ارتفاع آب برای دبی‌های متفاوت، در بالادست دریچه فراهم می‌شود (Oad and Kinzli, 2006).

Anouymous (2013) برای کانال کوچک و متوسط، یک

نمونه از دریچه سالونی - مستطیلی را با یک سیستم محرک هیدرولیکی ترکیب نمود و روابطی را در شرایط جریان آزاد و مستغرق ارائه نمود. در این روابط حد استغراق (نسبت عمق آب پایین دست دریچه به عمق آب بالادست)  $(\frac{Z_2}{Y_1})$  سازه را ۰/۳ معرفی کردند. کلیه پارامترها در این روابط برحسب فوت و فوت مکعب بر ثانیه می‌باشند.

Naghaei و Monem (2013a) رابطه دبی - اشل را برای دریچه‌های سالونی - مستطیلی با عرض‌های سه، چهار، پنج، شش و هشت فوت و به ترتیب بازشدگی ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۷ فوت و نسبت‌های استغراق ۰/۴، ۰/۷، ۰/۹ و ۰/۹۵ درصد ارائه کردند. در نمودارهای موجود، نسبت عرض بازشدگی به عرض دریچه، برای دریچه‌های مختلف، ثابت و برابر با ۰/۹ می‌باشد.

Naghaei و Monem (2013b) در تحقیقی دیگر ضمن معرفی دریچه سالونی - مستطیلی، با توجه به وضعیت استقرار دریچه، در حالت‌های کاملاً باز، نیمه‌باز، کاملاً بسته و همچنین با توجه به وجود و یا عدم وجود فشرده‌گی جانبی، ۱۸ وضعیت مختلف هیدرولیکی و بهره‌برداری برای این سازه در نظر گرفتند.

Yousefvand و Monem (2014) دریچه سالونی -

مستطیلی را معرفی و رابطه‌ای برای تخمین دبی عبوری از دریچه



معادله‌های گزارش شده توسط برخی از محققین مختلف برای تخمین دبی و ضریب دبی در شرایط جریان آزاد و مستغرق آورده شده است. در این روابط دبی جریان  $Q$ ، عرض کانال  $B_g$ ، عمق بالادست دریچه  $y_1$ ، عمق پایین دست دریچه  $y_2$ ، عرض بازشدگی دریچه  $b_g$  و ضریب دبی دریچه سالونی - مستطیلی  $C_d$  می باشد. از آنجایی که تاکنون مطالعه‌ای روی این نوع از دریچه سالونی - بیضوی صورت نگرفته است، لذا در این تحقیق ضمن معرفی دریچه سالونی - بیضوی، به منظور تخمین دبی عبوری از دریچه، رابطه پیشنهادی بدون بعد دبی دریچه سالونی - بیضوی ارائه گردید. همچنین میزان افت انرژی جریان هنگام عبور از دریچه سالونی - بیضوی ارزیابی و با نوع مستطیلی آن مقایسه گردید.

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌های تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز روی یک فلوم آزمایشگاهی با دیواره‌ای از جنس شیشه‌ای و کف فلزی به طول ۱۰/۵۰ متر، عرض ۰/۸ متر و عمق ۰/۶ متر انجام شد. در این تحقیق دبی‌های ۰/۶، ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲، ۰/۱، ۰/۰۵، ۰/۰۳، ۰/۰۲، ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه در پنج زاویه ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه مورد بررسی قرار گرفتند. دریچه سالونی بیضوی از ورق گالوانیزه به ضخامت دو میلی‌متر و به عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و شعاع ۳۵ سانتی‌متر تهیه شد که توسط چسب در فاصله ۴/۱۰ متر از ابتدای فلوم ثابت و محکم گردیدند. همچنین به منظور مقایسه نتایج و روابط حاصل با نمونه مستطیلی آن، دریچه سالونی مستطیلی از جنس گالوانیزه و به ارتفاع ۰/۴۵ متر و عرض ۰/۴ متر و ضخامت دو میلی‌متر تهیه و نصب گردید. ابعاد دریچه سالونی بیضوی در شکل (۱-ا) نشان داده شده است. دبی جریان با استفاده از دبی‌سنج آلتوراسونیک (Ultrasonic) (شکل ۱-ب) با دقت  $\pm 1$  لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری گردید. تراز سطح آب در هفت محور در طول، همان‌گونه که در شکل (۲) نشان داده شده توسط عمق‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر، برداشت شد.

سالونی - مستطیلی هم‌عرض کانال در شرایط جریان آزاد را ارائه نمودند.

همچنین Yousefvand (2015) روابط دبی و ضریب دبی را برای دریچه سالونی - مستطیلی برای حالت‌های بدون فشرده‌گی و با فشرده‌گی تدریجی و ناگهانی در شرایط آزاد و مستغرق ارائه داد. Yousefvand et al., (2015) در تحقیقی دیگر در شرایط جریان مستغرق به ارزیابی آزمایشگاهی و تحلیلی ضریب دبی دریچه سالونی - مستطیلی پرداختند. در این تحقیق مشخص گردید که ضریب دبی تابع میزان بازشدگی و استغراق نسبی دریچه است.

Monem و Naghaei (2016) در مطالعه‌ای دیگر به بررسی شرایط مختلف هیدرولیکی و بهره‌برداری دریچه سالونی - مستطیلی و توسعه مدل ریاضی سازه در انطباق با مدل هیدرودینامیک ICSS پرداختند. مدل توسعه داده شده توسط داده‌های آزمایشگاهی مورد صحت‌سنجی قرار گرفت که حداکثر خطای عمق، ۶ درصد برآورد شد.

Babaei Faghih Mahaleh et al., (2018) تأثیر مشخصات هندسی و شرایط هیدرولیکی بر عملکرد سازه تنظیم دبی دریچه سالونی - مستطیلی - پارشال فلوم را بررسی نمودند. در این تحقیق مشخص گردید که به‌طور کلی بازشدگی‌های ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد دریچه تأثیر معنی‌داری بر عمق‌های بالادست دریچه، چاهک اول پارشال فلوم و مقدار افت نسبی انرژی ندارد. Yousefvand et al., (2018) در تحقیقی دیگر، معادله‌های جریان و ضریب دبی دریچه سالونی - مستطیلی را در شرایط مستغرق با کمک معادله ممنتوم ارائه نمودند. در این تحقیق مشخص گردید ضریب دبی تا زاویه ۵۲/۵ درجه روند صعودی داشته و پس از آن کاهش می‌یابد.

سرریز لبه تیز بیضوی به عنوان نوع جدیدی از سرریزها توسط Cox et al., (2014) معرفی و روابط دبی و ضرایب دبی را به روش آزمایشگاهی و تحلیلی ارائه شد. Cox et al., (2015) همچنین تأثیر اشغال و شاخ و برگ درختان بر دبی جریان عبوری از سرریز لبه تیز بیضوی را مورد بررسی قرار دادند. در جدول (۱)

### جدول ۱- خلاصه‌ای از تحقیقات در این زمینه

Table 1-Summary of relevant researches

Flow Conditions	Predicted Discharge Coefficient	Predicted Discharge Equation	Source
(Submerge)	$C_d = 0.86 - 0.89 \times \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 + \left(\frac{0.285}{y_2 y_1}\right)$	$Q = 4.012 \times C_d \times b_g \times \sqrt{(y_1^2 - y_2^2)} \times \left(\frac{1}{y_2} - \frac{1}{y_1}\right)^{-1}$	Aqua system
(Free)		$Q = 4.339 \times b_g \times y_1^{1.5}$	2013 Q[cfs]
(Submerge)	$C_d = 1.726 + 0.053 \times \left(\frac{b_g}{B_g}\right)^2 - 1.4 \times \left(\frac{y_2}{y_1}\right)$	$Q = 2.215 \times C_d \times b_g \times \sqrt{(y_1^2 - y_2^2)} \times \left(\frac{1}{y_2} - \frac{1}{y_1}\right)^{-1}$	Yousefvand 2015
(Free)		$Q = 2.271 \times b_g \times y_1^{1.5}$	$Q(m^3/s)$

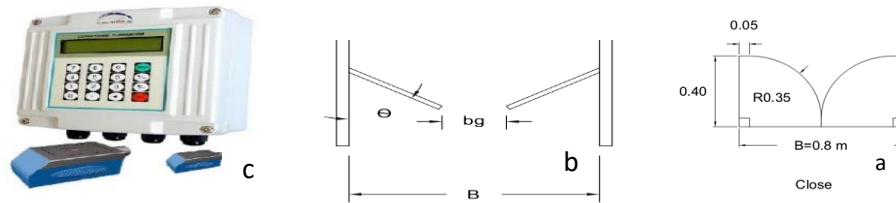


Fig. 1-Dimensions and characteristics of a) Elliptical lopac Gate ,b) Plan ,c) Flow meter  
 شکل ۱- ابعاد و مشخصات (a) دریچه سالونی بیضی (b) پلان دریچه (c) دستگاه دبی سنج

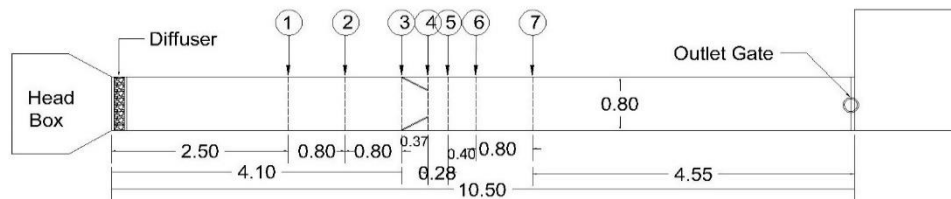


Fig. 2- Plan-view sketch of the test flume setup

شکل ۲- پلان نقشه فلوم آزمایشگاهی

جدول ۲- محدوده پارامترهای بدون بعد مؤثر

Table 2- Range of effective dimensionless parameters

Parameter	$F_r$	$\frac{B}{y_u}$	$\frac{b_g}{B}$
Range	0.179-0.472	2.34-7.06	0.293-0.658

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f_3\left(\frac{b_g}{B}, \frac{B}{y_u}, F_r, R_{eu}\right) \quad (4)$$

که در این روابط، نسبت بدون بعد دبی  $\frac{Q}{\sqrt{g y_u y_u^2}}$  میزان افت انرژی ناشی از دریچه به انرژی بالادست دریچه  $\frac{\Delta E}{E_1}$ ، عدد فرود  $F_r$ ، عدد رینولدز  $R_{eu}$ ، نسبت عرض فلوم به عمق آب بالادست  $\frac{B}{y_u}$  می‌باشند. از طرفی می‌توان نشان داد که:

$$\frac{b_g}{y_u} \times \frac{1}{B} = \frac{b_g}{B} \quad (5)$$

نسبت عرض بازشدگی به عرض فلوم (نسبت بازشدگی)  $\frac{b_g}{B}$  می‌باشد. عدد رینولدز برابر است با نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجت و همچنین عدد فرود نسبت نیروی اینرسی به نیروی ثقل می‌باشد. به دلیل تلاطم جریان و قرارگیری عدد رینولدز در محدوده  $(10^4 \times \frac{3}{36} - 10^4 \times \frac{7}{81})$ ، و اثر ناچیز کمیت لزجت بر جریان، عدد رینولدز از روابط بالا حذف و در نهایت به روابط (۶) و (۷) به دست می‌آید.

$$\frac{Q}{\sqrt{g y_u y_u^2}} = f_2\left(\frac{b_g}{B}, \frac{B}{y_u}\right) \quad (6)$$

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f_3\left(\frac{b_g}{B}, \frac{B}{y_u}, F_r\right) \quad (7)$$

### آنالیز ابعادی

پارامترهای مؤثر بر دبی عبوری از دریچه به صورت رابطه (۱) بیان می‌گردد.

$$f_1(Q, B, b_g, y_u, y_d, \rho, g, \mu) = 0 \quad (1)$$

همچنین پارامترهای مؤثر بر افت انرژی به صورت رابطه (۲) ارائه می‌شود:

$$f_2(Q, B, E_1, E_2, \Delta E, b_g, y_u, y_d, \rho, g, \mu) = 0 \quad (2)$$

در معادله‌های فوق دبی جریان  $Q$ ، عرض فلوم  $B$ ، انرژی بالادست دریچه  $E_1$ ، انرژی پایین دست دریچه  $E_2$ ، افت انرژی  $\Delta E$ ، عرض بازشدگی دریچه  $b_g$ ، عمق آب در بالادست دریچه  $y_u$ ، عمق آب در پایین دست دریچه  $y_d$ ، جرم مخصوص  $\rho$ ، نیروی ثقل  $g$ ، ویسکوزیته دینامیکی سیال  $\mu$  می‌باشد. در ادامه با کمک نظریه باکینگهام و در نظر گرفتن  $\rho$ ،  $g$  و  $y_u$  به عنوان متغیرهای تکراری، رابطه بدون بعد (۳) برای دبی و رابطه (۴) برای افت انرژی به دست می‌آید.

$$\frac{Q}{\sqrt{g y_u y_u^2}} = f_2\left(\frac{b_g}{B}, \frac{B}{y_u}, R_{eu}\right) \quad (3)$$

این رابطه نشان می‌دهد که دبی عبوری به مقدار زیادی تابع میزان بازشدگی دریاچه سالونی - بیضوی می‌باشد. تغییرات نسبت بدون بعد دبی پیشنهادی در مقابل میزان بازشدگی در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود برای یک دبی ثابت، با افزایش میزان بازشدگی نسبت بدون بعد دبی افزایش می‌یابد. همچنین تغییرات میزان بازشدگی نسبت به تغییرات میزان دبی، تاثیر بیشتری بر روی پارامتر بدون بعد دبی می‌گذارد. همان‌گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، رابطه پیشنهادی بدون بعد دبی، دارای همبستگی بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. بازه خطای نسبی در شکل (۵) نشان دهنده حداکثر خطای  $\pm 10\%$  درصد رابطه پیشنهادی می‌باشد. جذر میانگین مربعات خطا RMSE و میانگین خطای نسبی MAPE و خطای نسبی RE در جدول (۳) نشان داده شده است که بیانگر دقت بالای رابطه پیشنهادی می‌باشد.

در ادامه و در جدول (۲) دامنه تغییرات کمیت‌های بدون بعد برای دریاچه سالونی - بیضوی نشان داده شده است.

### نتایج و بحث

#### رابطه دبی بدون بعد $Q^*$

به منظور ارائه رابطه‌ای مستقل از ابعاد دریاچه و فوم، با کمک کمیت‌های بدون بعد مؤثر رابطه (۶) و با انجام رگرسیون چندگانه غیرخطی رابطه (۸) به عنوان معادله پیشنهادی دبی برای دریاچه سالونی - بیضوی به دست آمد:

$$\frac{Q^*}{y_u^{5/2}\sqrt{g}} = [-1.724 + \left(\frac{b_g}{B}\right)^{1.483} + \left(\frac{B}{y_u}\right)^{0.725}] \quad (8)$$

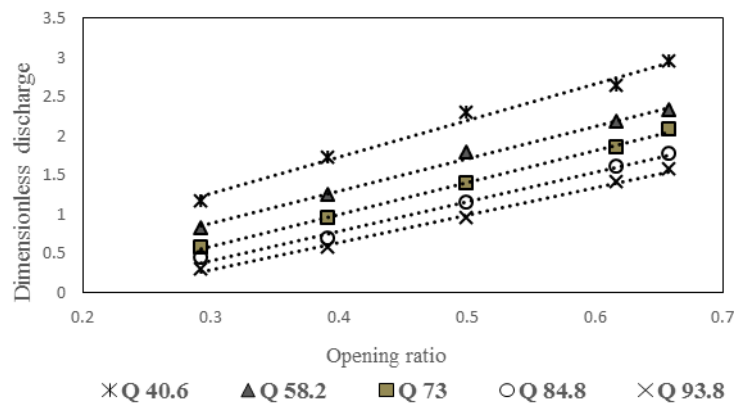


Fig. 3- Variation of dimensionless discharge versus opening ratio

شکل ۳- تغییرات نسبت بدون بعد دبی در مقابل تغییرات بازشدگی

جدول ۳- شاخص‌های آماری به دست آمده به منظور کنترل رابطه پیشنهادی

Table 3- The statistical indices obtained to control predicted equation

Index	RE (%)	MAPE (%)	RMSE	R <sup>2</sup>
Value	$\pm 10\%$	4.44 %	0.005	0.973

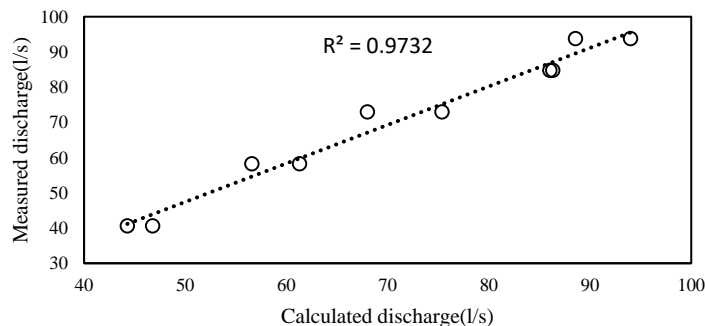
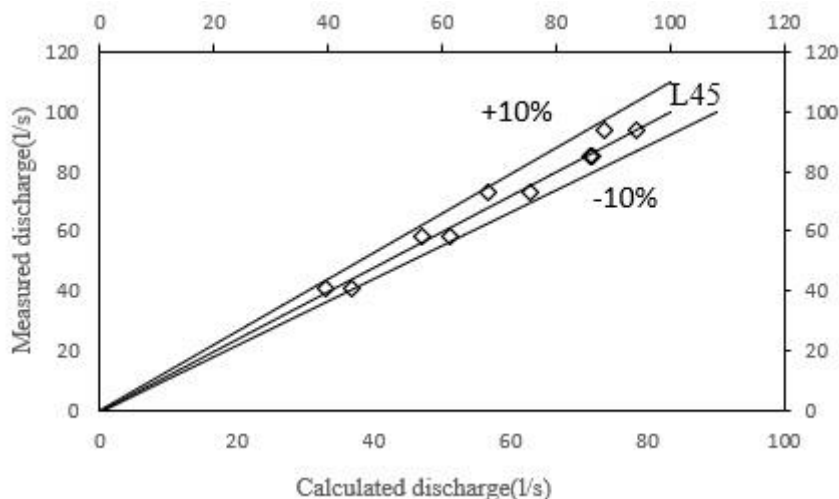


Fig.4 - Predicted discharge versus measured discharge

شکل ۴- دبی پیشنهادی در مقابل دبی اندازه‌گیری شده



**Fig.5 – Range of errors for elliptical Lopac Gate**  
 شکل ۵- محدوده خطای نسبی برای دریچه سالونی - بیضوی

بر ثانیه در شکل (۶) نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، با کاهش میزان بازشدگی در هر دو نوع دریچه میزان افت انرژی افزایش می یابد. به طوری که در دبی ۷۳ لیتر بر ثانیه، با کاهش بازشدگی از ۰/۶۵۸ به ۰/۲۹۳، میزان افت برای دریچه سالونی - مستطیلی ۷۴/۴۴ درصد و برای دریچه سالونی - بیضوی ۷۵/۱۵ درصد افزایش می یابد. تغییرات میزان افت انرژی جریان عبوری در مقابل تغییرات فرود بالادست دریچه (محور ۲)  $F_{r2}$  برای هر دو نوع دریچه سالونی بیضوی و مستطیلی در شکل (۷) نشان داده شده است. این تغییرات برای هر دو دریچه تقریباً برابر و با افزایش عدد فرود، میزان افت انرژی روندی کاهشی پیدا می کند. به عنوان مثال در دبی ۴۰/۶ لیتر بر ثانیه، با افزایش عدد فرود از ۰/۱۹۲ به ۰/۴۸۱ برای دریچه سالونی - مستطیلی افت جریان ۷۰/۳۱ درصد و برای دریچه سالونی - بیضوی با افزایش عدد فرود از ۰/۱۷۹ به ۰/۴۲۵ به میزان ۶۲/۸۵ درصد کاهش می یابد.

**بررسی افت انرژی ناشی از دریچه سالونی - بیضوی**

در هنگام عبور جریان از دریچه، قسمتی از انرژی جریان مستهلک و صرف عبور از تنگ شدگی کانال می گردد. میزان انرژی در هر نقطه از کانال و تغییرات آن به کمک روابط (۹) و (۱۰) قابل محاسبه می باشد.

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \tag{۹}$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 \tag{۱۰}$$

در این تحقیق اختلاف انرژی بین محورهای دو در بالادست دریچه و محور پنج در پایین دست دریچه (شکل ۲) محاسبه گردید. تغییرات انرژی جریان، ناشی از دریچه سالونی - بیضوی و سالونی - مستطیلی، در مقابل بازشدگی برای دبی های ۴۰/۶ تا ۸۴/۸ لیتر

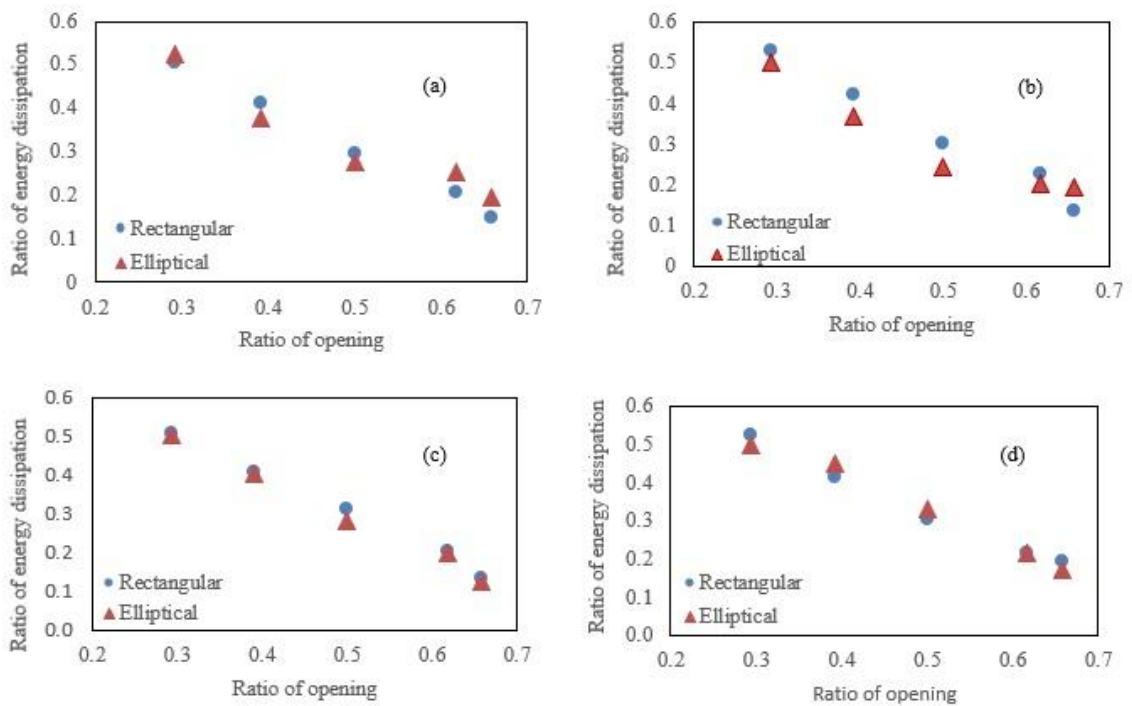


Fig.6 – Variation of energy dissipation versus ratio of opening for Elliptical and rectangular lopac gate for discharge (a) 40.6 (b) 58.2 (c) 73 (d) 84.8 (lit/s)

شکل ۶ – تغییرات نسبت افت انرژی در برابر میزان بازشدگی برای دریچه سالونی بیضوی و مستطیلی (a) دبی ۴۰/۶ ، (b) دبی ۵۸/۲ ، (c) دبی ۷۳ و (d) دبی ۸۴/۸ لیتر بر ثانیه

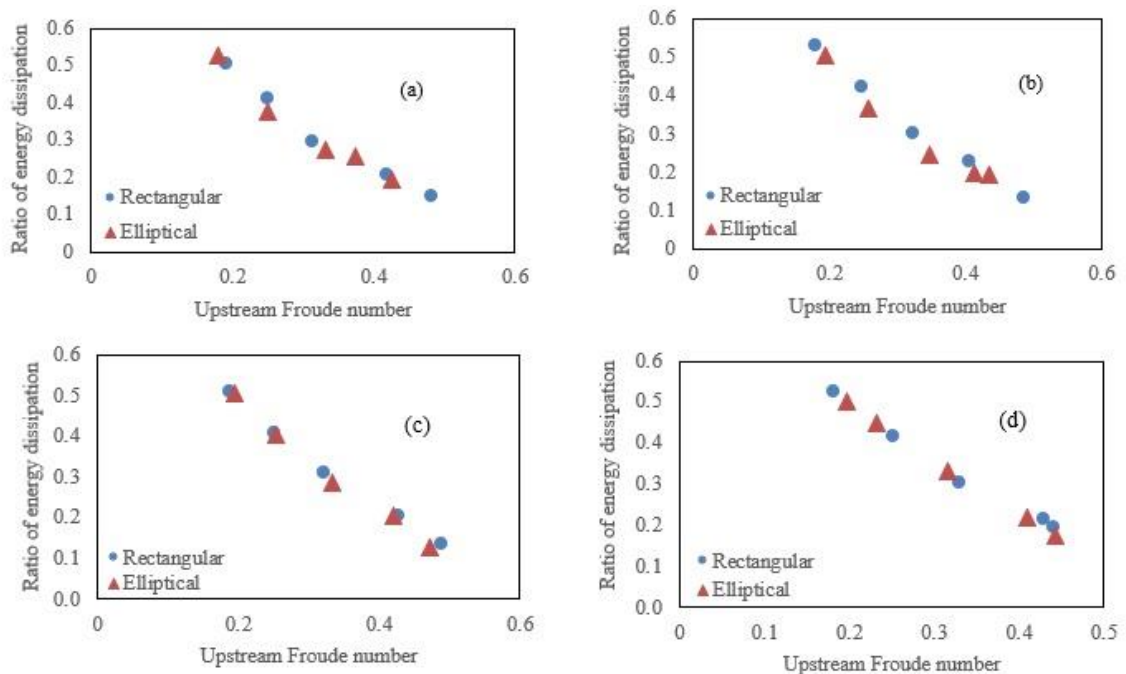


Fig.7 – Variation of energy dissipation versus upstream Froude number for Elliptical and rectangular lopac gate for discharge (a) 40.6 (b) 58.2 (c) 73 (d) 84.8 (lit/s)

شکل ۷ – تغییرات نسبت افت انرژی در برابر فرود بالادست برای دریچه سالونی بیضوی و مستطیلی (الف) دبی ۴۰/۶ ، (ب) دبی ۵۸/۲ ، (ج) دبی ۷۳ و (د) دبی ۸۴/۸ لیتر بر ثانیه

### نتیجه گیری

همان گونه که از نتایج به دست آمد، مهمترین پارامتر بدون بعد در این نوع دریچه در شرایط جریان آزاد، نسبت بازشدگی دریچه  $\frac{bg}{B}$  (نسبت عرض بازشدگی به عرض دریچه) و یا به عبارت دیگر زاویه بازشدگی دریچه می باشد. به عنوان مثال در دو دبی  $40/6$  و  $84/8$  لیتر بر ثانیه، با افزایش نسبت بازشدگی از  $0/293$  به  $0/658$ ، نسبت بدون بعد دبی  $(\frac{Q}{\sqrt{gy_u y_u^2}})$  به ترتیب به میزان  $60$  درصد و  $75$  درصد افزایش یافت. با افزایش میزان بازشدگی، عدد فرود افزایش و میزان افت جریان عبوری کاهش می یابد. به عنوان مثال برای دو دبی  $40/6$  و  $84/8$  لیتر بر ثانیه، با افزایش نسبت بازشدگی از  $0/293$  به  $0/658$ ، عدد فرود به ترتیب  $57$  درصد و  $55$  درصد افزایش و میزان افت  $33$  درصد و  $32$  درصد

کاهش را نشان می دهند. با توجه به زاویه های انتخاب شده، انتظار می رود که تأثیر قسمت بیضی دریچه سالونی - بیضوی بر روی افت جریان، نسبت به دریچه سالونی - مستطیلی، در میزان بازشدگی های کوچکتر محسوس تر باشد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله از نتایج پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول و با حمایت واحد پژوهشی دانشگاه از طریق پژوهانه نویسنده دوم به شماره (SCU.WH401.343) تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می کنند ضمناً از حمایت معنوی قطب علمی "بهسازی و نگهداری شبکه های آبیاری و زهکشی" تشکر و قدردانی می گردد.

### References

- 1-Anouymous, 2013. Leaders in water management and control. Available from: <http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopac-gate>.
- 2- Aqua Systems 2000 Incorporation (AS21). 2013 Leaders in Water Management and Control, Available from :<http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopac-gate> [10september2013]
- 3- Babaei Faghieh Mahaleh, R., Smaielie Varakei, M. and Shafiei Sabet, B., 2018. Investigation of the effect of geometry characteristics and hydraulic conditions on the discharge control structure as lopac gate – Parshal flume. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(4), pp.711-727. (In Persian).
- 4- Cox, A.L., Kullberg, E.G., MacKenzie, K.A. and Thornton, C.I., 2014. Stage-discharge rating equation for an elliptical sharp-crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(6), 04014018.
- 5- Cox, A.L., Saadat, S., MacKenzie, K.A. and Thornton, C.I., 2015. Effect of urban debris on hydraulic efficiency of an elliptical sharp-crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141(6), 06014006.
- 6- Langeman, P., Craig, K., Elser, P. and Allen, L., 2006. Irrigation gate system. *US patent*, 7, p.114..
- 7- Mahmoodian Shoostari, M., 2010. *Principles of flow in open channel*. Chamran University of Ahvaz.
- 8- Naghaei, R. and Monem, M.J., 2013a. Definition of lopac gate for control of water level in irrigation canals and presentation of hydraulic equation. In *4th National Irrigation and Drainage Management Conference, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran*. (In Persian).
- 9- Naghaei, R. and Monem, M.J., 2013b. Introducing various hydraulic and operation conditions of Lopac gate in irrigation canals. In *1st National Conf. on Irrigation and Agricultural Water Productivity, Iranian Association of Irrigation and Drainage, Tehran, Iran*. (In Persian).
- 10- Naghaei, R. and Monem, M.J., 2016. Development of a mathematical model of Lopac gates in accordance with the ICSS hydrodynamic model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(10), p.04016043.
- 11- Oad, R. and Kinzli, K., 2006. Employed in middle rio grand vally to help deliver water efficiently. Available from: <http://www.as2i.net/products/control-gates>.
- 12- Yousefvand, F., 2015. Experimental investigation on the effect of hydraulic and operating conditions on the performance of lopac gates. MSc. Thesis, *Tarbiat Modares University of Tehran, Iran*. (In Persian).

- 
- 13- Yousefvand, F and Monem, M.J., 2014. Definition of lopac gate and presentation of hyroulic equation in free flow conditions. In *13th Irrigation Hydraulic Conference, Tabriz University, Tabriz, Iran*. (In Persian).
  - 14- Yousefvand, F., Monem, M.J. and Kavian pour, M.R., 2015. Analitical and Experimental evaluation of discharge coefficient of lopac gates in submerge condition. *Iranian Journal of irrigation and drainage*, 5(9), pp.811-819. (In Persian).
  - 15- Yousefvand, F., Monem, M.J. and Kavian pour, M.R., 2018. Estimate of flow equation and discharge coefficient of lopac gates in submerge condition. *Iranian Water Researches Journal*, 12(2),pp.51-58 (In Persian).





**EXTENDED ABSTRACT**

**Investigation of applied water, physical and economic productivity of water in fig orchards**

A. Ghadami Firouzabadi<sup>1\*</sup>, F. Abbasi<sup>2</sup>, M. Jovzi<sup>3</sup>, B. Aboulpor<sup>4</sup>, N. Kohi<sup>5</sup>, A. Eslami<sup>6</sup>, P. Varjavand<sup>7</sup> and A. Naseri<sup>8</sup>

1\*- Corresponding author, Associate Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran. ([a.ghadami@areeo.ac.ir](mailto:a.ghadami@areeo.ac.ir)).

2- Professor of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

3- Assistant Professor, soil and water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.

4- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Fars, Iran.

5- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kerman, Iran.

6- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Fars, Iran.

7- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Ahvaz Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran.

8- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.

**ARTICLE INFO**

*Article history:*

Received: 6 April 2022

Revised: 19 October 2022

Accepted: 22 October 2022

*Keywords:*

Productivity, Penman-Monteith, Economic Analysis, Water Requirement.

**TO CITE THIS ARTICLE :**

Ghadami Firouzabadi, A., Abbasi, F., Jovzi, M., Aboulpor, B., Kohi, N., Eslami, A., Varjavand, P., Naseri, A. (2023). 'Investigation of applied water, physical and economic productivity of water in fig orchards', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(2), pp. 103-118. doi: 10.22055/jise.2022.40502.2023.

**Introduction**

Figs are one of the main horticultural products in Iran due to their high nutritional value, high yield and economic value, and resistance to adverse climatic conditions. About one million tons of figs are produced annually in the world, Iran is the fifth largest producer of this product in the world (FAO, 2018). In addition to the above, the agricultural sector in Iran, like many countries, is the main consumer of water from renewable water sources. But there are not exact information on the volume of irrigation applied water and water productivity of this product in Iran. Therefore, this study was conducted with the aim of measurement of applied water at field scale and evaluation of water productivity of figs orchards at selected provinces in Iran.

## Methodology

To measure the amount of applied irrigation water in fig orchards, 100 orchards in Fars, Lorestan, Khuzestan, Kerman and Kermanshah provinces were selected as hubs of this product. The volume of irrigation water provided by gardeners were measured. These provinces covered about 70 percent of the irrigated figs cultivated areas. In each province, 1-3 cities with the highest area of fig cultivation were selected for evaluation. The number of fig orchards studied in each province has been selected according to the area of fig orchards in that province. The measurements were conducted in different irrigation methods, different salinity of irrigation water and soil, various soils and different fig varieties during the growing season of 2019-2020 without interfering with the gardener's irrigation program. The measured values were compared with the net irrigation water requirement estimated by the Penman-Monteith method and also with the national water document values. Crop yield was determined at the end of the growing season and water productivity was calculated as the ratio of yield to total water (irrigation applied water and effective rainfall). Also, gross economic productivity of water (benefit per cost) and net economic productivity of water (net benefit per cost) were determined. Analysis of variance was used to investigate the possible difference between applied water and water productivity among the selected province.

## Findings

The results showed that the average of applied water and water productivity among major fig producing provinces were significant at 1% probability level. The applied irrigation water varied from 7706 to 13471 m<sup>3</sup>/ha and its average weight was 10428 m<sup>3</sup>/ha. The amount of applied water in orchards with drip irrigation method was about 23.6% less than orchards with surface irrigation method. The yield of figs varied from 4170 to 14911 kg/ha and its average was 11594 kg/ha. The range of water productivity in the studied province was from 0.3 to 1.58 and its average was 1.16 kg/m<sup>3</sup>. The difference in water productivity between drip and surface irrigation systems was significant at the level of 1% probability. The average of water productivity in drip and surface irrigation methods was 1.58 and 0.99 kg/m<sup>3</sup>, respectively. Drip irrigation compared to surface irrigation system increased crop yield by 11.9% and water productivity by 60%. The net and gross economical water productivity was 50.9 and 111.20 thousand Rials/m<sup>3</sup>, respectively. The average net irrigation water requirement in the study areas estimated by the Penman-Monteith method using meteorological data for the last 10 years as well as the national water document were 749 and 696 mm, respectively. The average of application irrigation efficiency in major fig production areas was 65.6 percent. The total volume of irrigation water for fig production in Iran was estimated at 95 million cubic meters.

## Conclusions

Due to the fact that a large percentage of Iran orchards have surface irrigation methods, holding training classes on the use of flow reduction methods, the use of hydroflume pipes and the use of mulch for reducing water loss and increasing productivity are recommended. Also in some fig orchards, Lorestan, Fars and Kerman provinces are facing deficit irrigation and water stress, training and using scientific and accurate deficit irrigation methods can improve water productivity without significant reduction in yield. Changing Basin irrigation method to furrow irrigation caused reducing evaporation, reducing weed growth and it also prevents touch of water with the tree trunk and reduces fungal diseases. The use of drip irrigation compared to surface irrigation system, which increases crop yield by 11.9% and water productivity by 60%, is also recommended in fig orchards.

## Acknowledgement

The authors would like to thank Deputy Minister of Water and Soil, Ministry of Agriculture-Jahad and Agricultural Engineering Research Institute for supporting this research.

**References**

- 1- FAO. 2018. Available at <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>



© 2023 Shahid Chamran University of Ahvaz, 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/>).

## بررسی حجم آب کاربردی، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در باغات انجیر کشور

علی قدمی فیروزآبادی<sup>۱</sup>، فریبرز عباسی<sup>۲</sup>، مهدی جوزی<sup>۳</sup>، بهروز ابوالپور<sup>۴</sup>، نادر کوهی چله کران<sup>۵</sup>، امیر اسلامی<sup>۶</sup>، پیمان ورجاوند<sup>۷</sup> و ابوالفضل ناصری<sup>۸</sup>

<sup>۱</sup>- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهش مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. a.ghadami@areeo.ac.ir

<sup>۲</sup>- استاد پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

<sup>۳</sup>- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.

<sup>۴</sup>- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، فارس، ایران.

<sup>۵</sup>- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

<sup>۶</sup>- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، فارس، ایران.

<sup>۷</sup>- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

<sup>۸</sup>- دانشیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

### چکیده

انجیر به دلیل ارزش غذایی، عملکرد و ارزش اقتصادی بالا و مقاومت به شرایط نامناسب اقلیمی از محصولات عمده باغی کشور است. در رابطه با حجم آب کاربردی و بهره‌وری آب این محصول در کشور، مطالعه جامعی صورت نگرفته است. لذا این پژوهش، باهدف تعیین حجم آبیاری و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب انجیر، تحت مدیریت بهره‌برداران در قطب‌های تولید این محصول اجرا شد. بدین منظور تعداد ۱۰۰ باغ در استان‌های لرستان، کرمانشاه، فارس، کرمان و خوزستان در طول فصل زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ مورد ارزیابی قرار گرفتند. حجم آب آبیاری در مناطق مورد مطالعه از ۷۷۰۶ تا ۱۳۴۷۱ مترمکعب بر هکتار متغیر و میانگین آن ۱۰۴۲۸ مترمکعب بر هکتار شد. روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش آبیاری سطحی به میزان ۲۳/۶ درصد حجم آب کاربردی را کاهش داده است. بهره‌وری آب در مناطق تولید انجیر از ۰/۳ تا ۱/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و متوسط آن ۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود. میزان بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای و سطحی به ترتیب ۱/۵۸ و ۰/۹۹ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. میانگین بهره‌وری خالص و ناخالص اقتصادی آب در مناطق مورد مطالعه به ترتیب ۵۰/۹ و ۱۱۱/۲ هزار ریال به ازای هر مترمکعب آب بود. میانگین نیاز خالص آبیاری در مناطق مورد مطالعه به روش پنمن مانیتث و سند ملی به ترتیب ۷۴۹ و ۶۹۶ میلی‌متر تعیین شد. استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای بجای سامانه آبیاری سطحی که باعث کاهش ۲۳/۶ درصدی در آب مصرفی و افزایش ۶۰ درصدی در بهره‌وری آب می‌شود، توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: بهره‌وری، پنمن - مانیتث، تحلیل اقتصادی، نیاز آبی.

### مقدمه

احساس گردد. یکی از موثرترین راه‌کارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی توجه جدی به بهره‌وری آب و ارتقای آن با اعمال روش‌ها و سیاست‌های مناسب می‌باشد. از این‌رو بهره‌وری آب کشاورزی یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه جدی مجامع علمی مرتبط با آبیاری و کشاورزی قرار گرفته است. بهره‌وری آب کشاورزی شاخص مناسبی برای ارزیابی مدیریت کشاورزی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده Karimi و

### اهمیت بهره‌وری آب و انجیر

گرچه کمبود آب در سالیان گذشته در کل کشور یک مسئله مهم بوده است، اما در سال‌های اخیر به واسطه خشک‌سالی‌های اتفاق افتاده، این مسئله به مهم‌ترین مشکل کشور تبدیل شده است که در استان‌های مختلف کشور به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. کمبود آب باعث می‌گردد که نیاز به مدیریت بهتر آب و بهینه‌سازی مصرف آب در سطح مزرعه و باغات بیش از پیش

از تشت کلاس A را برای تأمین نیاز آبی انجیر توصیه نمودند. Tapia et al. (2003) نیاز آبی شش رقم انجیر سه ساله را با استفاده از داده‌های طشت تبخیر کلاس A در ایستگاه تحقیقات کشاورزی لاس کارداس در شیلی برآورد نمودند. تیمارهای آبیاری طرح عبارت بودند از تیمار دیم، T25 (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه)، T50 (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و T100 (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و بارندگی در منطقه مورد مطالعه ۳۷ میلی‌متر بود. نتایج نشان داد که هیچ تفاوتی بین تیمار T50 و T100 از نظر عملکرد مشاهده نشد. آن‌ها نیاز آبی را برای آبیاری درختان ۳ ساله، ۲۲۰ میلی‌متر در سال (۲۲۰۰ مترمکعب در هکتار) گزارش نمودند. El-shazly et al. (2014) در طی دو فصل رشد ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری (۱۰۰، ۷۵، و ۵۰ درصد نیاز آبی) روی برخی پارامترهای رشد سبزینه‌ای چهار رقم انجیر سلطانی (Sultani)، ادیسی سفید (White Adissi)، کنادریا (Conadria) و کادوتا (Kadota) تحقیقاتی را انجام دادند. ارقام انجیر در خاک شنی لومی و تحت سیستم آبیاری قطره‌ای رشد یافتند. نتایج نشان داد که پارامترهای رشد سبزینه‌ای مانند نرخ رشد، ارتفاع گیاه، قطر ساقه و جوانه، سبزی برگ و وزن خشک و مقدار سطح برگ در رقم سلطانی بیشترین اختلاف معنی‌دار را در مقایسه با سایر ارقام با سه تیمار آبیاری در هر دو فصل داشت. درصد آب آزاد برگ رقم سلطانی به‌طور معنی‌داری بالاتر از سه رقم دیگر بود، در حالی که رقم کادوتا کمترین میزان درصد آب نسبی برگ را در مقایسه با سایر ارقام در هر دو فصل داشت. علاوه بر این، بالاترین درصد کلروفیل کل برگ در ارقام ادیسی سفید و کنادریا بود.

Leonel و Tecchio (2010) طی پژوهش دو ساله در سائو پائولوی برزیل بر روی درختان انجیر (رقم روکسو د والینوس) Roxo de Valinhos میزان آب آبیاری و عملکرد را به‌ترتیب در سال اول ۶۹۵۰ مترمکعب در هکتار و ۵۱۳۰ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم ۷۷۳۰ مترمکعب در هکتار و ۵۸۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند. Andrade et al. (2014) در ریو دو ژانیروی برزیل نیاز آبی و عملکرد درختان سه‌ساله انجیر تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری قطره‌ای را بررسی کردند. تیمارهای آبیاری شامل دور آبیاری دو روز (T1)، چهار روزه (T2) و عدم آبیاری (T3) در دو بافت خاک شنی لومی و لوم رس شنی بود، نتایج نشان داد که میزان رشد انجیر تحت تأثیر بافت خاک و رژیم آبیاری نبوده است. میانگین آب آبیاری در تیمارهای فوق به‌ترتیب ۸۱۶۴، ۵۷۴۹ و ۲۶۹۸ مترمکعب در هکتار حاصل شد. میانگین عملکرد در تیمارهای ذکرشده به‌ترتیب ۸۵۵۴، ۷۴۳۰ و ۶۶۱۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. این در حالی بود که بین تیمارهای T1 و T2 تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. میانگین ضریب گیاهی (Kc) برای تیمار T1 و T2 به‌ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۵۱ به‌دست آمد و میانگین این ضریب برای دو تیمار ۰/۶۰ گزارش گردید. Jafari و Rahemi (2017) در مطالعه‌ای با عنوان اثر پایه‌های رویشی و بذری انجیر

Jolaini (2017) و تعیین آن در مزارع و باغات یکی از ملزومات بهینه‌سازی مصرف آب و بالا بردن راندمان کاربرد آب در سطح مزارع و باغ‌ها است (Zilberma., 1996., Parker and Johnson et al 2016).

سالانه در جهان حدود یک‌میلیون تن انجیر تولید می‌شود که ترکیه با ۳۰۶۴۹۹ تن تولید سالانه، رتبه اول و بعد از آن کشورهای مصر، مراکش و الجزایر رتبه‌های دوم و چهارم را به خود اختصاص داده‌اند. ایران با تولید ۵۹۳۳۹ در سال ۲۰۱۸ رتبه پنجم تولید انجیر جهان را به خود اختصاص داده است (FAO, 2018). هرچند بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی ایران در سال ۱۳۹۸ میزان تولید کل انجیر ایران (دیم و آبی) ۹۶۲۷۴ تن است که به‌مراتب بیشتر از میزان ارائه‌شده در سایت فائو است. مناطق عمده تولید انجیر در ایران استان‌های فارس، لرستان، خوزستان، کرمانشاه و کرمان می‌باشد، که حدود ۷۰ درصد سطح زیرکشت و بیش از ۷۰ درصد تولید انجیر آبی کشور را به خود اختصاص داده‌اند (Ahmadi et al., 2020). از این بین سه استان لرستان، کرمانشاه و فارس به‌ترتیب ۱۸۳۹۲، ۸۷۱۳ و ۷۱۵۰ تن حدود ۶۳ درصد کل تولید انجیر آبی کشور را به خود اختصاص داده‌اند. لازم به ذکر است که سطح باغات بارور آبی و دیم انجیر در کشور به‌ترتیب ۷۳۲۸ و ۴۱۳۲۳ هکتار می‌باشد (Ahmadi et al., 2020). به‌عبارتی باغات بارور آبی تنها ۱۵ درصد سطح کل باغات بارور را به خود اختصاص داده‌اند و با این سطح محدود، میزان تولید در این باغات ۵۶/۵ درصد کل تولید انجیر کشور است.

### مروری بر مطالعه‌های گذشته

علی‌رغم اهمیت آبیاری مناسب، برای دستیابی به عملکرد کمی و کیفی بهتر، مطالعه‌های محدودی در رابطه با مدیریت آبیاری و میزان آب‌داده شده توسط کشاورزان در باغات انجیر در ایران انجام شده است. علاوه بر این، مطالعه‌های انجام شده در مورد میزان نیاز آبی انجیر در سایر کشورهای خارجی نیز نادر است. نیاز آبی انجیر در ایران، از ۴۸۰۰ مترمکعب در هکتار در کردستان تا ۱۱۰۸۰ مترمکعب در هکتار در کهنوج (استان کرمان) متغیر است

(Farshi et al., 1997). Amini et al. (2015)، طی پژوهشی بر روی نیاز خالص آبیاری محصولات باغی استان کردستان نیاز آبیاری خالص انجیر را در شهرستان مریوان ۵۴۹ میلی‌متر گزارش نمودند. Mousavi و Tatar (2017) با بررسی مدیریت آبیاری درختان میوه، نیاز آبی سالانه درختان انجیر را در سیستم آبیاری قطره‌ای ۴۵۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار بیان داشتند. Hernandez et al. (1994) تأثیر سطوح مختلف آبیاری در درختان انجیر در منطقه ایله سلتیوا، ایالت سائوپائولو برزیل را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که اثر سطوح کاربردی آب آبیاری بر عملکرد میوه‌های رسیده، عملکرد کل، طول شاخه و طول و قطر میوه معنی‌دار است. آن‌ها به‌کارگیری ۷۵ درصد تبخیر

جانبی (شاهد)، شدید شاخه جانبی، متوسط سر برداری زمستانه و متوسط سبز بود. این پژوهش طی سه سال انجام شد که در سال اول، ۵۵۰ لیتر و در سال دوم و سوم، ۷۵۰ لیتر برای هر درخت برای آبیاری تکمیلی استفاده شد. میزان بارش در سال‌های آبی تحقیق (۸۸-۸۹ تا ۹۰-۹۱) به ترتیب برابر با ۱۷۴، ۲۲۷ و ۲۴۱ میلی‌متر بود. نتایج نشان داد میانگین محصول درختان در سال اول، دوم و سوم به ترتیب ۴/۰۸، ۶/۸۶ و ۷/۹۶ کیلوگرم به ازای هر درخت بود. کاربرد آبیاری تکمیلی به خصوص در ماه‌های اسفند و اردیبهشت با هم موجب افزایش عملکرد میوه گردید. انواع مختلف هرس باعث افزایش عملکرد شد، که این افزایش عملکرد به‌جز در تیمار هرس متوسط سبز در بقیه تیمارها نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود. هرس شدید شاخه جانبی و سپس متوسط شاخه جانبی (شاهد)، دارای میوه‌های با کیفیت بهتر از سایرین (از نظر رنگ میوه) بودند. اثر تیمار آبیاری مرداد، از نظر رنگ میوه، رضایت‌بخش‌تر از سایر تیمارهای آبیاری بود ولی تأثیر مثبتی بر عملکرد نداشت. بنابراین در مجموع بر اساس نتایج این تحقیق برای حفظ عملکرد مناسب درختان در دوره‌های خشک‌سالی، دو نوبت آبیاری تکمیلی با مقادیر ۷۵۰ لیتر، در ماه‌های اسفند و اردیبهشت به همراه هرس شدید شاخه جانبی به باغداران منطقه توصیه شد. (Abdollahipour et al. 2019)

پژوهشی تأثیر زمان و مقادیر مختلف آبیاری تکمیلی در فواصل مختلف از تنه درخت بر رطوبت خاک، محصول و درآمد باغداران انجیر در منطقه استهبان روی انجیر خوراکی دیم رقم سبز بررسی نمودند. آن‌ها بیان داشتند که آبیاری نزدیک تنه درخت و بیرون سایه‌انداز درخت در مقایسه با آبیاری در سایه‌انداز، محصول بیشتری تولید می‌کند. در نهایت نتیجه‌گیری نمودند که آبیاری تکمیلی، با میزان ۱۰۰۰ لیتر برای هر درخت در مرداد در خارج از سایه‌انداز، می‌تواند در شرایط خشک‌سالی به‌طور هم‌زمان افزایش درآمد باغداران و نیز استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی منطقه را تأمین کند. در پژوهش Khozaie و Sepaskhah (2018) تحلیل اقتصادی آبیاری تکمیلی انجیر دیم استهبان در شرایط محدودیت زمین و با دو فرض احداث آبگیر برای استفاده از رواناب حاصل از بارندگی و یا عدم احداث آن صورت گرفت. نتایج نشان داد که در شرایط احداث آبگیر نسبت به شرایط بدون احداث آن، مقدار بهینه آب کاربردی کمتر و میزان عملکرد انجیر و همچنین سود خالص حاصله بیشتر است. با احتساب قیمت آب ۲۰۰۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب در شرایط محدودیت زمین در بارش‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر مقدار آبیاری تکمیلی مورد نیاز به ترتیب ۳۵۹، ۲۵۹ و ۱۵۹ میلی‌متر و در بارش‌های بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر در سال، نیاز به آبیاری تکمیلی درختان انجیر نیست. با توجه به نیاز کمتر به آبیاری تکمیلی درختان انجیر و کسب سود خالص بیشتر در شرایط احداث آبگیر نسبت به شرایط عدم احداث آن، احداث آبگیر برای استفاده از رواناب حاصل از بارندگی علی‌رغم هزینه‌های احداث آن توصیه می‌گردد. Parhizkari و Badie

بر جذب عنصرهای غذایی پیوندک رقم سبز در شرایط تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که پایه‌های بذری نسبت به روشی پتانسیل بهتری در جذب و انتقال ماده‌های غذایی به پیوندک در شرایط تنش خشکی دارند. (Gholami et al. 2012) در یک بررسی مقدماتی با تعیین اثر تنش آبی بر چهار رقم انجیر دهدز، سبز، سیاه و شاه انجیر رقم‌های موردنظر را به دو دسته مقاوم و حساس طبقه‌بندی نمودند. رقم‌های دهدز و سبز از رقم‌های سیاه و شاه انجیر تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی داشتند و رقم شاه انجیر حساس بود. در پژوهشی Sajedi et al. (2017) اثر تنش خشکی روی برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شش رقم انجیر (سبز، سیاه، سیاه درشت، شاه‌انجیر، برانجیر ویل و برانجیر پوزدمبالی) طی دو سال بررسی نمودند. در این آزمایش، سه سطح تنش خشکی شامل ظرفیت زراعی به‌عنوان شاهد و ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به-ترتیب به‌عنوان تنش متوسط و تنش شدید اجرا شد. محتوی رطوبت نسبی آب برگ، نشت الکترولیت‌ها، میزان کلروفیل، پروتئین، پروتئین و کربوهیدرات‌ها، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و غلظت پتاسیم و سدیم نیز اندازه‌گیری گردیدند. با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ریشه و ساقه کاهش یافت و بیشترین آن در تنش شدید مشاهده شد که با شاهد و تنش متوسط اختلاف معنی‌دار داشت. بر اساس نتایج به‌دست آمده ارقام سیاه و برانجیر ویل با داشتن برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مشابه، از نظر تحمل به خشکی تقریباً معادل یکدیگر ارزیابی شدند. Rostami و Rahemi (2013) در بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی انجیر به تنش خشکی، دوره‌های حاصل از تلاقی والد پدری خرمایی با انجیرهای خوراکی رقم‌های سبز و شاه‌انجیر و برانجیر رقم‌های پوزدمبالی و شاه‌انجیری با انجیر خوراکی رقم سیاه را متحمل معرفی نمودند. (Vishaki و Joe Afshan 2018)

در مطالعه‌ای به بررسی مقاومت ارقام مختلف انجیر به شوری به این نتیجه رسید که ارقام برگ پنجه‌ای نسبت به ارقام برگ ساده تحمل بیشتری نسبت به شوری دارند. در مطالعه‌ای Al Desouki et al. (2009) در مصر بیان داشتند که انجام آبیاری تکمیلی باعث افزایش رشد و عملکرد انجیر می‌گردد. Bagheri و Sepaskhah (2014) در آنالیز تأثیر بارندگی ماهانه، فصلی و سالانه روی عملکرد انجیر دیم در استهبان بیان داشتند که بارندگی زمستانه خصوصاً بارندگی اسفندماه بیشترین تأثیر بر عملکرد انجیر دارد. بنابراین آبیاری تکمیلی در اسفندماه در سال‌های با بارندگی کم را توصیه نمودند. (Abdollahipour et al. 2015) اثر آبیاری تکمیلی و هرس بر عملکرد و کیفیت میوه درختان باغات انجیر دیم استهبان در شرایط خشک‌سالی را موردتحقیق قرار دادند. تیمارهای آبیاری تکمیلی شامل آبیاری در سه‌زمان اسفند، اردیبهشت، مرداد و مجموع ماه‌های اسفند و اردیبهشت و تیمار شاهد (دیم) بودند. تیمارهای هرس شامل هرس متوسط شاخه

انجام پژوهش‌هایی برای روشن‌تر شدن میزان نیازآبی، حجم‌آب‌آبیاری و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب باغات انجیر در مناطق مختلف تولید این محصول در کشور ضروری به‌نظر می‌رسد که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین از تفاوت‌ها و نوآوری‌های این مطالعه تعیین نیازآبی این محصول بر اساس داده‌های اقلیمی به روز (به روز کردن سند ملی آب) و ارزیابی اقتصادی تولید این محصول، در مناطق عمده تولید آن در کشور است.

### مواد و روش‌ها

سطح کل باغ‌های بارور و غیربارور انجیر در سال زراعی ۱۳۹۸ به‌ترتیب ۴۸۶۵۱ و ۱۱۵۹۸ هکتار است که میزان تولید انجیر آبی ۴۱۸۸۴ تن است (Ahmadi et al., 2020). در پروژه حاضر ابتدا استان‌هایی که دارای بیشترین سطح زیر کشت انجیر در کشور هستند (استان‌های فارس، لرستان، خوزستان، کرمان و کرمانشاه) به‌عنوان مناطق اجرای پروژه انتخاب شدند. استان‌های فوق بیش از ۶۷ درصد سطح باغات آبی انجیر و بیش از ۷۲ درصد تولید انجیر آبی کشور را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۱). استان فارس با داشتن ۲۷/۳ درصد کل سطح باغات انجیر آبی کشور ۱۳/۱ درصد میزان تولید انجیر آبی کشور را دارا است و بعد از آن، استان لرستان با سطح ۱۷/۵ درصدی باغات بارور آبی کشور، میزان ۳۳/۸ درصد تولید این محصول در کشور را به خود اختصاص داده است. بعد از استان لرستان، استان‌های کرمان، کرمانشاه و خوزستان به‌ترتیب با سطح ۸/۴، ۸/۲ و ۵/۸ درصدی باغات آبی کشور، میزان تولید ۴/۷، ۱۶، و ۴/۵ درصد کل تولید آبی کشور را دارا می‌باشند.

در جدول (۲) شهرستان‌های مورد مطالعه در هر استان و تعداد باغ‌های انتخاب‌شده در هر استان ارائه شده‌اند. در هر استان یک تا سه شهرستان با بیشترین سطح زیرکشت انجیر برای ارزیابی انتخاب شد. تعداد باغات انجیر مورد مطالعه در هر استان متناسب با سطح باغات انجیر آبی آن استان انتخاب شده است. در مجموع، حجم آب آبیاری در ۱۰۰ باغ انجیر در استان‌های لرستان (پلدختر و معمولان)، فارس (فیروزآباد، جهرم و استهبان)، خوزستان (ایذه)، کرمان (ارزوئیه، گلباف)، کرمانشاه (دالاهو) در یک فصل زراعی (۹۹-۱۳۹۸) اندازه‌گیری شد.

Barzin (2017) ارزش اقتصادی آب در منطقه تاکستان را ۱۶۳۸ ریال بر مترمکعب برآورد نمودند که خیلی بیشتر از نرخ آب بهای پرداختی توسط کشاورزان بود و پیشنهاد گردید که نرخ آب‌بها با توجه به ارزش آب تعیین شود. Zare و Shahrokhnia (2020) در پژوهشی در باغات انجیر استهبان نشان دادند که با افزایش تعداد دفعات آبیاری تا آبیاری کامل، میزان محصول از ۱/۳ به ۸/۹ کیلوگرم بر هر درخت افزایش نشان داد ولی بهره‌وری مصرف آب آبیاری کاهش و از مقدار نامعلوم زیاد در تیمار دیم، به ۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار بدون تنش رسید. میزان سود به‌دست آمده با انجام یک‌مرتبه آبیاری در دو سال موردبررسی به‌ترتیب حدود ۵۳۰۰۰۰ و ۹۹۰۰۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب آب بود که با افزایش تعداد دفعات آبیاری این سود کاهش یافت. نسبت درآمد به هزینه نیز در سال‌های مورد بررسی از ۱/۱ و ۱/۴۶ در شرایط دیم به ۲/۲۱ و ۲/۸۹ در شرایط اعمال یک‌مرتبه آبیاری رسید. بنابراین با انجام یک نوبت آبیاری در اوایل مردادماه می‌توان علاوه بر حفظ درختان انجیر دیم استهبان از خطر خشکیدگی، به سود اقتصادی قابل‌توجهی دست یافت و از آبیاری بی‌رویه نیز جلوگیری نمود. Botti et al. (2003) اثر شرایط آب و هوایی مختلف روی عملکرد میوه تازه انجیر، کیفیت و نوع گیاه در سه رقم انجیر سه‌ساله‌ی کادوتا، کندی (Kennedy) و لارگا دی بوردوس

(Larga de Burdeos) در سه مزرعه در مرکز شمال شیلی در طی سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که اختلاف وزن میوه ارقام کادوتا و کندی، ۱۰ برابر بیشتر از رقم دیگر است. بنابراین تأثیر پارامترهای آب و هوایی روی رقم لارگا نسبت به سایر رقم‌ها کمتر بود. همچنین مشخص شد با تغییر محل کاشت از سریلوی به لاس کارداس وزن میوه رقم کادوتا از ۷۱/۳ درصد به ۸۵/۴ درصد افزایش داشت. (1981) Pereira بیان داشت که انجیر در خاک‌های با بافت مختلف به‌خوبی رشد می‌کند و مناسب‌ترین خاک برای رشد آن، خاک رس‌ماسه‌ای و غنی از مواد آلی و اسیدیته شش تا ۶/۸ است.

با توجه به شرایط حاکم بر منابع آبی کشور و برای غلبه بر کمبود آب، مدیریت کارا و افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به بررسی منابع صورت‌گرفته تاکنون پژوهش‌های جامعی که نشان‌دهنده‌ی مقدار نیازآبی، حجم‌آب‌آبیاری و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب باغات انجیر در مناطق انجیرخیز کشور باشد، انجام نشده است. بنابراین،

جدول ۱- سطح زیر کشت، تولید و میانگین عملکرد در قطب‌های تولیدکننده انجیر آبی در کشور\*

Table 1- Cultivation area, production and average fig yield in irrigated production hubs in Iran

No	Province	Area (ha)	Percentage of Area	Production(Ton)	Percentage of production	Yield (kg/ha)
1	Fars	2510	27.3	7150	13.1	4498
2	Lorestan	1610	17.5	18392	33.8	12845
3	Khozestan	536	5.8	2455	4.5	5257
4	Kerman	769	8.4	2536	4.7	3848
5	Kermanshah	752	8.2	8713	16	12548
Sum of selected provinces		6177	67.3	39246	72.2	-
Total		9184	100	54390	-	7422

\* Ahmadi et al. (2020)

جدول ۲- شهرستان‌ها و تعداد باغ‌های انتخابی هر استان

Table 2- Cities and number of selected gardens in each province

Province	Town	No. of selected Garden(Main)	Percentage from total data
Fars	Firouzabad, Jahrom and Estahban	21	21
Lorestan	Mamulan, Poldokhtar	35	35
Khozestan	Izeh	6	6
Kerman	Arzuiyeh, Golbaf	17	17
Kermanshah	Dalahu	21	21
Sum		100	100

برای بررسی کفایت نمونه‌های اندازه‌گیری شده، از رابطه زیر استفاده شد (Sarmad et al, 2001).

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{(\bar{x} - \mu)^2} \quad (1)$$

که در آن،  $n$  = تعداد اندازه‌گیری‌های لازم برای تحلیل واریانس عملکرد و حجم آب آبیاری انجیر در سطح کشور،  $z$  = سطح اعتماد (برای سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار آن ۱/۹۶ در نظر گرفته خواهد شد)،  $\sigma^2$  = واریانس جمعیت،  $\mu$  میانگین جمعیت و  $\bar{x}$  میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده است. پس از برداشت محصول و تعیین عملکرد انجیر، مقادیر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل (آبیاری + بارندگی مؤثر) با داشتن میزان حجم آب آبیاری و میزان بارندگی مؤثر، در باغات منتخب هر منطقه تعیین شد. با توجه به نوسانات تولید در سال‌های مختلف به دلیل آفات و یا وجود عواملی نظیر سرمازدگی، سیل (لرستان) در برخی سال‌ها، میانگین عملکرد دوساله محصول برای محاسبه بهره‌وری آب لحاظ شد. میزان بهره‌وری آب آبیاری و بارش مؤثر ده‌ساله  $WP_{(ir+Pe)}$  در هر یک از مناطق مورد مطالعه با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه و مقایسه شد.

میزان آب داده‌شده توسط باغداران برای تولید محصول انجیر در طول یک سال، بدون ارائه توصیه‌های فنی و یا کارشناسی به باغداران و بدون دخالت در برنامه‌ریزی آبیاری، اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان آب آبیاری، ابتدا مقدار دبی خروجی از منبع آبی انتخاب‌شده (کانال، چاه، قنات و یا چشمه) با وسیله مناسب (نظیر فلوم، کنتور، دبی سنج التراسونیک) مشخص شد. پس از تعیین میزان دبی آب ورودی به باغ، با کمک برنامه آبیاری ارائه شده توسط باغدار (زمان آبیاری، دور آبیاری، تعداد دفعات آبیاری در طول دوره رشد)، میزان حجم آب آبیاری برای هر کدام از باغات منتخب محاسبه شد. نیاز آبی گیاه مرجع به روش پنمن مانیتث با استفاده از پارامترهای هواشناسی ۱۰ سال اخیر برای مناطق مورد مطالعه با استفاده از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی هر منطقه و با استفاده از نرم‌افزار ETtoCalculator تعیین شد. نیاز آبی گیاه مرجع با اعمال ضریب گیاهی (Allen et al., 1998) به نیاز آبی خالص گیاه تبدیل شد. پس از محاسبه نیاز آبی گیاه، میزان بارش مؤثر به روش SCS (1972) SCS، محاسبه و سپس نیاز خالص آبیاری محاسبه شد. مقادیر نیاز خالص آبیاری با مقادیر سند ملی آب برای مناطق مورد مطالعه مقایسه شدند. در این پژوهش برای محاسبه راندمان کاربرد آب، از نسبت نیاز خالص آبیاری به حجم آب داده شده توسط بهره‌برداران برای هر یک از باغ‌های مورد مطالعه استفاده شد.



استفاده گردید. تحلیل حجم آب آبیاری در باغات مورد مطالعه نشان داد که تفاوت آب آبیاری در استان‌های یاد شده در سطح احتمال کم‌تر از یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). میانگین حجم آب آبیاری انجیر در استان‌های کشور در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردید. بر مبنای میانگین آب آبیاری، می‌توان استان‌های کشور را به سه خوشه تقسیم نمود. به‌طور میانگین، حداقل و حداکثر آب آبیاری انجیر از استان‌های کرمانشاه و کرمان به عمل آمد (جدول ۵). در خوشه اول آب آبیاری در استان کرمانشاه (۷۷۰۶ مترمکعب در هکتار) و فارس (۸۸۲۸ مترمکعب در هکتار)، در خوشه دوم آب آبیاری در استان خوزستان (۱۱۸۲۲ مترمکعب در هکتار)، و در خوشه سوم آب آبیاری در استان‌های لرستان (۱۲۰۰۶ مترمکعب در هکتار)، و کرمان (۱۳۴۷۱ مترمکعب در هکتار) قرار داشت (جدول ۵). در رابطه با حجم آب آبیاری در باغات انجیر کشور که تحت مدیریت باغدار باشد، هیچ‌گونه گزارشی ارائه نشده است. Leonel و Tecchio (2010) طی پژوهش دوساله در سائو پائولوی برزیل بر روی درختان انجیر رقم Roxo de Valinhos) میزان آب آبیاری کامل را به‌ترتیب در سال اول و دوم پژوهش به‌ترتیب ۶۹۵۰ و ۵۸۲۰ مترمکعب در هکتار گزارش نمودند. Irineup et al. (2014) در ریو دو ژانیروی برزیل میانگین آب آبیاری، تیمارهای آبیاری شامل دور آبیاری دو و چهار روزه را به‌ترتیب ۸۱۶۴، ۵۷۴۹ مترمکعب در هکتار گزارش نمود. که با نتایج این پژوهش متفاوت است که با توجه به تفاوت اقلیمی، نوع رقم، نوع خاک، نوع مدیریت و .... امری منطقی است.

#### نیاز آبیاری انجیر در مناطق مورد مطالعه

در شکل (۱) نیاز خالص آبیاری که از داده‌های هواشناسی ۱۰ سال اخیر به روش فائو پنمن-مانتیت برآورد شده است با نیاز آبی ذکر شده در سند ملی آب (NETWAT)، در مناطق مورد مطالعه مقایسه شده است. نتایج دو روش در اغلب استان‌ها مشابه و یا دارای اختلاف اندکی بود. ولی در استان‌های فارس و کرمان این تفاوت بیشتر مشاهده شد. متوسط نیاز آبی خالص سند ملی و محاسباتی به روش فائو پنمن-مانتیت با استفاده از داده‌های هواشناسی ۱۰ سال اخیر برای استهبان فارس به‌ترتیب ۷۴۹ و ۱۳۵۴ میلی‌متر بود. بنابراین نیاز آبیاری محاسباتی در این استان حدود ۸۱ درصد نسبت به نیاز ذکر شده در سند ملی آب افزایش داشته است. در استان کرمان متوسط نیاز آبی خالص سند ملی و محاسباتی به روش فائو پنمن-مانتیت با استفاده از داده‌های هواشناسی ۱۰ سال اخیر به‌ترتیب ۸۹۱ و ۱۱۵۹ میلی‌متر است که تفاوت آن حدود ۲۶۸ میلی‌متر است. نیاز خالص آب آبیاری انجیر در ارزوئیه بافت، ۵۳۵ میلی‌متر تعیین نمودند که با میزان تعیین شده با استفاده از روش پنمن-مانتیت با استفاده از داده‌های هواشناسی ۱۰ سال اخیر ۶۲۴ میلی‌متر تفاوت دارد. نیاز آبی انجیر در کل کشور از ۴۸۰۰ مترمکعب در هکتار در

$$WP_{(ir+Pe)} = \frac{Y}{Vw+Pe} \quad (2)$$

$WP_{(ir+pe)}$ : بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارندگی مؤثر انجیر (کیلوگرم بر مترمکعب)

$Y$ : میانگین عملکرد دو ساله انجیر (کیلوگرم بر هکتار)

$Vw$ : میزان حجم آب کاربردی (مترمکعب بر هکتار)

$Pe$ : میزان حجم بارندگی مؤثر (مترمکعب بر هکتار)

مقادیر عملکرد تولیدی، قیمت محصول و هزینه‌ها بوسیله اطلاعات حاصل از کشاورزان اخذ و برای محاسبه ارزش خالص و ناخالص محصول استفاده شد و در نهایت با مشخص شدن موارد فوق میزان شاخص‌های سود ناخالص و خالص به ازای هر واحد حجم آب با استفاده از روابط (۳) و (۴) تعیین شد.

میزان شاخص سود ناخالص یا درآمد به ازای هر واحد حجم آب (Benefit Per Drop) از رابطه‌ی (۳) محاسبه شد.

$$BPD = \frac{TR}{TW} \quad (3)$$

که در آن،  $TR$ : کل درآمد حاصل از محصول (حاصل ضرب قیمت محصول در عملکرد آن) و  $TW$  حجم آب مصرف شده در هکتار است. بنابراین  $BPD$  بهره‌وری آب برحسب ریال بر مترمکعب است. میزان سود خالص به ازای هر واحد حجم آب (Net Benefit Per Drop) نیز با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$NBPD = \frac{NB}{TW} \quad (4)$$

که در آن،  $NB$ : سود خالص محصول (حاصل از کل درآمد محصول منهای کل هزینه‌ها) و  $TW_c$  حجم آب مصرف شده در هکتار است. بنابراین  $NBPD$  بهره‌وری آب برحسب ریال بر مترمکعب است.

#### نتایج و بحث

کفایت تعداد اندازه‌گیری‌ها برای حجم آب آبیاری و عملکرد انجیر از رابطه ذکر شده در روش تحقیق رابطه (۱) به‌دست آمد. در جدول (۳) خلاصه شاخص‌های آماری اندازه‌گیری‌ها شامل میانگین حسابی عملکرد و آب آبیاری، انحراف معیار و تعداد داده‌های لازم و اندازه‌گیری شده برای حجم آب آبیاری و عملکرد انجیر ارائه شده است. در این پژوهش، تعداد اندازه‌گیری‌های آب آبیاری و عملکرد در باغات انجیر ۱۰۰ بود.

برای بررسی تغییرات حجم آب آبیاری انجیر در استان‌های لرستان، کرمانشاه، خوزستان، فارس و کرمان از تحلیل واریانس

به اینکه، نیاز آبی تابعی از پارامترهای اقلیمی است و سال انجام پژوهش حاضر با سال انجام تحقیق ذکر شده تفاوت زیادی دارد لذا نتایج با هم هم‌خوانی ندارند.

کردستان تا ۱۱۰۸۰ مترمکعب در هکتار در کهنوج (استان کرمان) متغیر گزارش شده است (Farshi et al., 1997). Dolatshahi et al. (2019) نیاز آبی سالانه درختان انجیر را در سیستم آبیاری قطره‌ای ۴۵۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار بیان داشتند. که با توجه

جدول ۳- میانگین، انحراف معیار و کفایت اندازه‌گیری‌ها در باغات انجیر

Table 3- Mean, standard deviation and adequacy of measurements in Fig orchards

Statistical index	Applied water(m <sup>3</sup> /ha)	Fig yield(kg/ha)
Average	10662	11294
Standard deviation	3742	5269
Number of measurements needed	96	96
Number of performed measurement	100	100

جدول ۴- تحلیل واریانس حجم آب آبیاری در تولید انجیر آبی در استان‌های منتخب کشور

Table 4- Analysis of variance of irrigated water in fig production in selected provinces

Source of variations	Sum of squares	Degrees of freedom	Average of squares	F value	P value
Between provinces	4.58*10 <sup>9</sup>	4	1.15*10 <sup>8</sup>	11.8	Less than 1%
In each province	9.14*10 <sup>9</sup>	94	9.72*10 <sup>7</sup>		
Selected provinces	1.37*10 <sup>9</sup>	98			

جدول ۵- میانگین حجم آب آبیاری باغ‌های انجیر آبی در استان‌های منتخب

Table 5- Average volume of applied water of figs in selected provinces

Row	Cluster	Province	Applied water(m <sup>3</sup> /ha)	* Comparative rank
1	1	Kermanshah	7706	a
2		Fars	8828	ab
3	2	Khozestan	11822	bc
4	3	Lorestan	12006	c
5		Kerman	13471	c

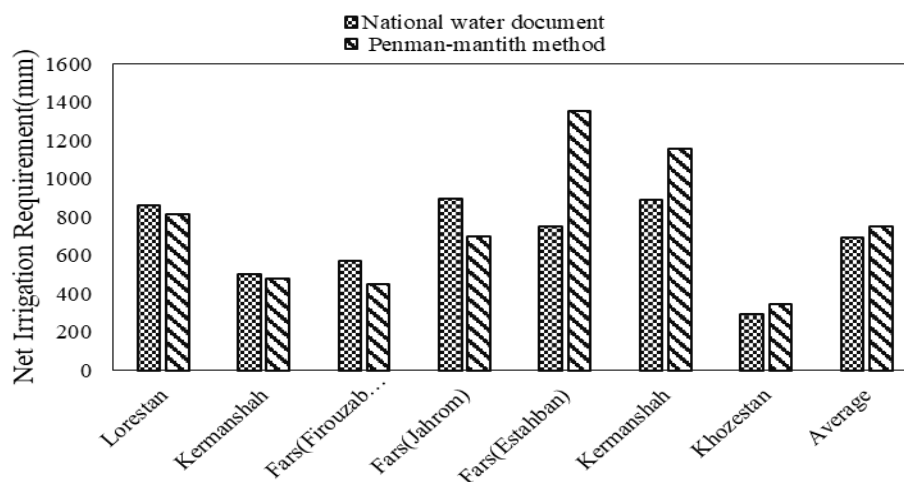


Fig. 1- Comparison of net irrigation water requirement estimated by the Penman-Montith method and national water document

شکل ۱- مقایسه نیاز خالص آبیاری برآورد شده به روش پنمن-مانتیث و سند ملی آب

باغات انجیر در مناطق مورد مطالعه نشان داد که در استان‌های لرستان، کرمانشاه، فارس (چهرم) و کرمان کم آبیاری صورت گرفته است (شکل ۲). میزان کم آبیاری صورت گرفته در استان‌های لرستان، کرمانشاه، چهرم فارس و کرمان به ترتیب به میزان ۱۴، ۶ و ۱۲ درصد تعیین شد. میانگین وزنی عمق آب کاربردی در باغات مورد مطالعه نشان می‌دهد که در مجموع، حدود ۱۰ درصد کم آبیاری انجام شده است (شکل ۲).

### تحلیل تغییرات بهره‌وری آب

تحلیل واریانس بهره‌وری آب آبیاری و بارش مؤثر در تولید انجیر در استان‌های لرستان، کرمانشاه، خوزستان، فارس و کرمان در جدول (۶) ارائه شده است. نتایج نشان داد که تفاوت بهره‌وری آب آبیاری و بارش مؤثر در استان‌های یادشده بسیار معنی‌دار بود (جدول ۶). در سطح احتمال پنج درصد، میانگین بهره‌وری آب آبیاری و بارش مؤثر درازمدت در تولید انجیر در استان‌های کشور مقایسه گردید. میانگین این شاخص در سطح کشور ۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. حداقل و حداکثر بهره‌وری آب آبیاری و بارش مؤثر درازمدت در تولید انجیر در استان‌های کرمان و فارس به دست آمد (جدول ۷). بر مبنای میانگین بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش مؤثر، می‌توان استان‌های کشور را به سه خوشه تقسیم نمود. در خوشه اول بهره‌وری آب در استان کرمان (۰/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و خوزستان (۰/۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب)، در خوشه دوم بهره‌وری آب استان لرستان (۱/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و در خوشه سوم بهره‌وری آب استان‌های کرمانشاه و فارس به ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب قرار داشت (جدول ۷). همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود یکی از دلایل اصلی این امر تفاوت زیاد میزان بارش مؤثر (در طول فصل رشد) این مناطق است. به طوری که استان‌های خوزستان و لرستان بیشترین بارندگی مؤثر در فصل رشد محصول انجیر را داشته‌اند و استان‌های کرمانشاه، کرمان و فارس در رتبه‌های بعدی هستند (جدول ۷).

یکی از دلایل اصلی تفاوت نیاز آبی سند ملی و داده‌های محاسباتی با روش فائو پنمن-مانتیت، تغییرات اقلیمی، بارندگی مؤثر و افزایش درجه حرارت هوا در چند ده اخیر است (Abbasi et al., 2021). افزایش درجه حرارت در سنوات گذشته علاوه بر تأثیر بر نیاز آبی گیاه موجب تغییر مراحل فنولوژیکی گیاهان (به‌ویژه طول دوره‌ی رشد) نیز شده است. به‌عنوان مثال در استان لرستان (پلدختر) و کرمانشاه افزایش دما باعث زودرسی محصول و در نتیجه کوتاه شدن طول دوره رشد شده است و موجب تغییر در مقادیر تبخیر و تعرق و همچنین نیاز آبی شده است که یکی از دلایل اصلی اختلاف در مقادیر سند ملی و داده‌های محاسباتی با روش فائو پنمن-مانتیت است. در پژوهشی Ghadami Firouzabadi et al. (2021) نیاز آبی محاسباتی به روش پنمن مانتیت دو محصول انگور و گردو، در شهرستان ملایر همدان را بیشتر از میزان ذکر شده در سند ملی آب بیان داشتند. در استان خوزستان با توجه به این که آبیاری به‌صورت قطره‌ای یا در برخی مناطق آبیاری به‌صورت تشتکی و با استفاده از تانکر صورت می‌گرفت. لذا اعمال ضریب تعدیل مربوط به سطح سایه‌انداز درخت باعث کاهش نیاز آبی محاسباتی و نیاز آبی ذکر شده در سند ملی آب شده است.

در مجموع، میانگین وزنی مقادیر نیاز خالص آبی همه استان‌های مورد مطالعه در سند ملی و روش محاسباتی (پنمن مانتیت) به ترتیب ۶۹۶ و ۷۴۹ میلی‌متر تعیین شد. بنابراین متوسط میزان نیاز آبی برآورد شده حدود ۵۳ میلی‌متر بیشتر از میزان نیاز آبی ذکر شده در سند ملی آب است. Amini et al. (2015)، نیاز خالص آبیاری انجیر در شهرستان مریوان استان کردستان را ۵۴۹ میلی‌متر گزارش نمودند که از مقادیر ارائه شده توسط Farshi et al. (1997)، ۳۷۸ میلی‌متر بیشتر است. در این پژوهش، همچنین نیاز ناخالص آبیاری، با استفاده از میانگین مقادیر نیاز خالص آبیاری سند ملی و محاسباتی به روش پنمن مانتیت با اعمال راندمان پتانسیل ۶۰ و ۹۰ درصد به ترتیب در آبیاری سطحی و قطره‌ای (Abbasi et al., 2017) محاسبه شد. مقایسه نیاز ناخالص آبیاری با مقادیر آب داده شده به

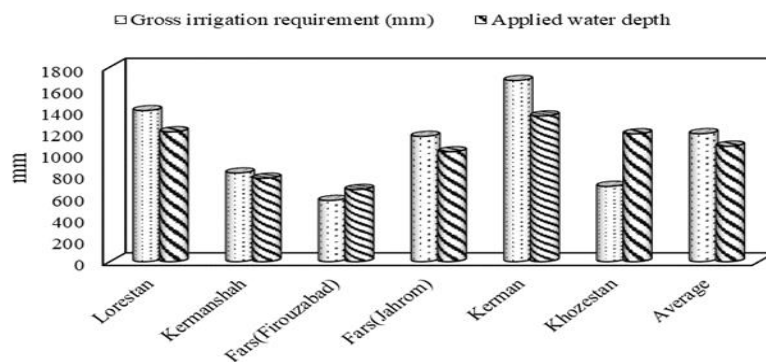


Fig. 2- Comparison of Gross irrigation requirement and applied water depth

شکل ۲- مقایسه نیاز ناخالص آبیاری و عمق آب داده شده در مناطق مورد مطالعه

جدول ۶- تحلیل واریانس بهره‌وری آب در تولید انجیر در استان‌های منتخب کشور

Table 6- Analysis of variance of water productivity in selected provinces

Source of variations	Sum of squares	Degrees of freedom	Average of squares	F value	P value
Between provinces	17.3	4	4.3	24.4	Less than 1%
In each province	16	90	0.2		
Selected provinces	33.3	94			

جدول ۷- مقایسه بهره‌وری آب در تولید انجیر در استان‌های منتخب کشور

Table 7- Comparison of fig water productivity in the studied provinces

Row	Cluster	Province	Effective rainfall (mm)	Water productivity (kg/m <sup>3</sup> )	Comparative rank
1	1	Kerman	72.2	0.3	a
2		Khozestan	140	0.33	a
3	2	Lorestan	134	1.17	b
4	3	Kermanshah	102	1.21	bc
5		Fars	30.8	1.58	c

جدول ۸- بهره‌وری ناخالص اقتصادی آب (BPD) (هزار ریال بر مترمکعب)

Table 8- Gross economic productivity of water (BPD) (thousand Rials per cubic meter)

Province	Min (BPD)	Max (BPD)	Average
Fars	92.07	420.42	246.31
Kermanshah	60.27	264.40	131.17
Lorestan	32.62	195.36	89.96
Khozestan	31.34	76.20	50.39
Kerman	26.05	59.06	38.12
Average	48.47	203.09	111.2

خالص اقتصادی آب کل مناطق مورد مطالعه ۵۰/۹ هزار ریال بر مترمکعب تعیین شد که در این بین استان‌های لرستان، خوزستان، کرمانشاه و کرمان از میانگین کل، بهره‌وری خالص اقتصادی کمتری داشته و استان فارس بهره‌وری خالص اقتصادی بیشتری نسبت به میانگین کل داشته‌اند.

#### مقایسه آب آبیاری و بهره‌وری آب در روش‌های مختلف آبیاری

تأثیر روش آبیاری بر حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب در استان‌های مختلف در جدول (۱۰) ارائه و مقایسه شده است. حجم آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای از ۸۶۷۴ در استان فارس (منبع آبی چاه) تا ۱۰۹۸۰ مترمکعب در استان کرمان (قنات) متغیر و در روش آبیاری سطحی از ۷۳۹۱ مترمکعب در استان کرمانشاه (رودخانه) تا ۱۷۲۴۸ مترمکعب در استان خوزستان متغیر بود. علت اصلی این تفاوت‌ها در مدیریت آبیاری و دسترسی بهره‌برداران به آب آبیاری است. میانگین وزنی حجم آب آبیاری در مناطق منتخب در دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی به ترتیب ۸۵۵۳ و ۱۱۱۹۹ مترمکعب بر هکتار و میانگین کل آب آبیاری انجیر در همه استان‌ها ۱۰۴۲۸ مترمکعب در هکتار برآورد شد شکل (۳) که از نظر آماری نیز تفاوت آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. روش آبیاری

#### بهره‌وری ناخالص اقتصادی آب (BPD)

این شاخص نشان‌دهنده این موضوع است که هر مترمکعب آب چند هزار ریال درآمد ناخالص ایجاد نموده است. مقادیر بهره‌وری ناخالص اقتصادی آب در مناطق مورد مطالعه در جدول (۸) ارائه شده است. کمترین بهره‌وری ناخالص ایجاد شده به ازای هر مترمکعب آب آبیاری در برخی باغات منتخب استان کرمان (۲۶/۰۵ هزار ریال بر مترمکعب) رخ داده است. بیشترین بهره‌وری ناخالص اقتصادی آب در استان فارس (۴۲۰/۴۲ هزار ریال بر مترمکعب) ثبت گردیده است. به‌طور میانگین در بین کل باغات منتخب، هر مترمکعب آب آبیاری ۱۱۱/۲۰ هزار ریال درآمد ناخالص ایجاد نموده است که در این بین استان‌های لرستان، خوزستان و کرمان بهره‌وری ناخالص اقتصادی کمتری از میانگین بهره‌وری ناخالص کشوری (۱۱۱/۲ هزار ریال بر متر مکعب) داشتند و دو استان کرمانشاه و فارس بهره‌وری ناخالص اقتصادی بیشتری از میانگین کل بهره‌وری ناخالص داشتند.

#### بهره‌وری خالص اقتصادی آب (NBPD)

میزان بهره‌وری خالص اقتصادی آب در مناطق مورد مطالعه در جدول (۹) نشان داده شده است. حداقل و حداکثر بهره‌وری خالص به ترتیب مربوط به دو استان لرستان با ۱۸/۲۶- و استان فارس با ۲۳۹/۶ هزار ریال بر مترمکعب ثبت شد. به‌طور میانگین، بهره‌وری

کرمان به ترتیب  $1/61$  و  $0/4$  کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد که دلیل اصلی آن میانگین عملکرد بالای محصول انجیر در سامانه آبیاری قطره‌ای در استان فارس ( $13422$  کیلوگرم در هکتار) نسبت به استان کرمان با عملکرد ( $4400$  کیلوگرم در هکتار) بود.

قطره‌ای نسبت به روش آبیاری سطحی به میزان  $23/6$  درصد حجم آب آبیاری را کاهش داده است. با توجه به سطح زیر کشت انجیر در کشور و میانگین حجم آب مصرفی در هکتار، حجم کل آب آبیاری برای تولید انجیر در کشور حدود  $95$  میلیون مترمکعب برآورد شد. شاخص بهره‌وری آب آبیاری در روش قطره‌ای در دو استان فارس و

جدول ۹- بهره‌وری خالص اقتصادی آب (NBPD) (هزار ریال بر مترمکعب)

Table 9- Net economic productivity of water (NBPD) (thousand Rials per cubic meter)

Province	Min	Max	Average
Fars	33.48	239.62	127.5
Lorestan	-18.26	150.4	43.8
Khozestan	24.1	87.2	45
Kermanshah	-6	85.8	22.4
Kerman	7.2	33.3	16.01
Average	8.1	119.3	50.9

جدول ۱۰- مقایسه شاخص‌های مورد مطالعه در روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای

Table 10- Comparison of Applied water and Water productivity in surface and drip irrigation methods

Province	Applied water ( $m^3/ha$ )			Water productivity ( $kg/m^3$ )		
	Drip	Surface	Total	Drip	Surface	Total
Lorestan	-	11566	11566	-	1.17	1.17
Kermanshah	-	7391	7391	-	1.22	1.22
Fars	8674	10940	8982	1.61	1.39	1.58
Kerman	10980	12946	12924	0.40	0.32	0.32
Khozestan	8899	17248	13846	-	0.3	0.3
Average	8553	11199	10428	1.6	0.99	1.16

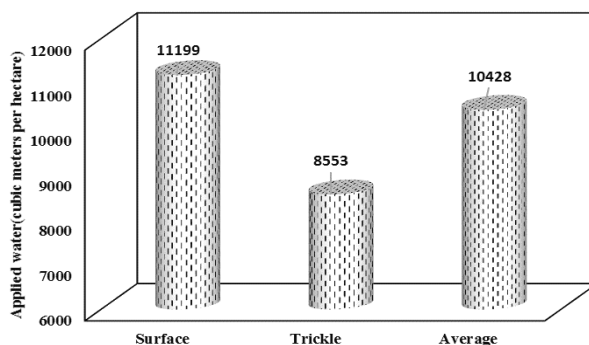


Fig. 3- Comparison Applied water volume of studied fig orchards in different irrigation methods

شکل ۳- مقایسه حجم آب کاربردی باغات انجیر مورد مطالعه در روش‌های مختلف آبیاری

مترمکعب تعیین شد، میانگین وزنی کل بهره‌وری آب و بارش در کل مناطق منتخب  $1/16$  کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد (جدول ۱۰).

### نتیجه‌گیری

میانگین حجم آب کاربردی از  $7391$  تا  $17248$  متر مکعب در هکتار در استان‌های منتخب متغیر بود، که این امر ناشی از نوع

مقادیر شاخص بهره‌وری آب در باغات انجیر دارای آبیاری سطحی از  $0/3$  تا  $1/39$  کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود. از نظر آماری تفاوت بهره‌وری آب آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. میانگین وزنی شاخص بهره‌وری آب و بارش مؤثر در استان‌های مورد مطالعه در دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی به ترتیب  $1/6$  و  $0/99$  کیلوگرم بر

از روش فائو پنمن-مانتیت برابر با ۷۴۹ میلی‌متر تعیین شد که از میانگین سند ملی آب (۶۹۶ میلی‌متر) بیشتر است که لزوم بازنگری در سند ملی آب را می‌طلبد. به‌طور خلاصه نتایج این پروژه اعداد و ارقام مفیدی در خصوص حجم آب کاربردی، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی آب محصول انجیر در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران آب کشور قرار می‌دهد.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله، نگارندگان این مقاله، از معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی و مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به پاس فراهم آوردن امکان انجام این تحقیق قدردانی می‌نمایند.

سیستم آبیاری، مدیریت آبیاری و دسترسی به میزان آب بود. استفاده از روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش آبیاری سطحی باعث کاهش حدود ۲۳/۶ درصدی در مصرف آب کاربردی شده بود. میانگین وزنی کل بهره‌وری آب از ۰/۳ تا ۱/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و میانگین وزنی آن، ۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. شاخص بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای و سطحی به ترتیب ۱/۶ و ۰/۹۹ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. بنابراین بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای حدود ۶۰ درصد بیشتر از آبیاری سطحی تعیین شد. میانگین بهره‌وری ناخالص و خالص اقتصادی آب در استان‌های منتخب به ترتیب معادل ۱۱۱/۲ و ۵۰/۹ هزار ریال به ازای هر مترمکعب آب تعیین شد. میانگین وزنی نیاز خالص آبیاری برآورد شده

### References

- 1- Abbasi, F., Joleini M., Khorramian, M., Dehghanian, S. E., Moghbli Dameneh, E., Nowroozi, M., Uossef Gomrokchi, A., Taheri, M., Zare-Mehrani, E., Kiani, A., Salamati, N., Mousavi Fazl, H., Ghadami-FirouzAbadi, A., Bayat, P. and Nasser, A., 2021. The role of modern irrigation systems on tomato applied irrigation water management in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 22(82), pp. 43-64. (In Persian).
- 2- Abbasi, F., Sohrab, F. and Abbasi, N., 2017. Evaluation of irrigation efficiencies in iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research* 17(67), pp.113-128. (In Persian).
- 3- Abdollahipour, M., Kamgar Haghighi, A. A., Sepaskhah, A., Honar, T., Dalir, N., Jafari, M., Shabani. A. and Gholkar, Gh., 2015. The effect of supplementary irrigation and pruning on fruit yield and fruit quality of Estahban rainfed fig orchards in dry and annual conditions. *Supplementary Irrigation Management Workshop for Rainfed Gardens (Figs and Hair) Shiraz University. Department of Water Engineering*. (In Persian).
- 4- Abdollahipour, M., Kamgar Haghighi, A. A., Sepaskhah, A., Zand Parsa, Sh. and Honar, T. 2019. The effect of supplementary irrigation on soil moisture, yield and income of gardeners in drought conditions in rainfed fig orchards. *Irrigation Sciences and Engineering* 42(4), pp. 61-74. (In Persian).
- 5- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., HoseinPour, R. and AbdShah, H., 2020. *Agricultural Statistics of 2017-2018*. Ministry of Jihad for Agriculture, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Office. Volume 3, Garden Products. 166p (in Persian).
- 6- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- 7- Al Desouki, M. A., Abd El Rhman, I. E. and Sahar, A. F., 2009. Effect of some anti transparent and supplemental irrigation on growth, yield and fruit quality of Sultai fig (*Ficus carica*) grown in the Egyptian western coastal zone under rain fed conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5(6), pp.899-908.
- 8- Amini, A., Heydari, R. and Faghieh, H., 2015. The climate zoning role on net irrigation requirement determination of orchards in Kurdistan province, Iran. *Agroecology Journal*, 10(1), pp.1-13 (in Persian).

- 9- Andrade, I.P.D.S., Carvalho, D.F.D., Almeida, W.S.D., Silva, J.B.G. and da Silva, L.D., 2014. Water requirement and yield of fig trees under different drip irrigation management. *Engenharia Agrícola*, 34, pp.17-27.
- 10- Bagheri, E. and Sepaskhah, A.R., 2014. Rain-fed figs yield as affected by rainfall distribution. *Theoretical and Applied Climatology*, 117, 433-439.
- 11- Botti, C., Franck, N., Prat, L., Ionnidis, D. and Morales, B., 2003. The Effect of climatic conditions on fresh fig fruit yield, quality and type of crop. *Acta Horticulturae*, 605, pp.37-43.
- 12- Dolatshahi, A., Esfandiari, Kh., Jalali, R., Saeidnia, A., Arab, J. And Tayeb Hashemi, S. M., 2019. *Guidelines for Orchard Establishment on Slopes*. Office of Deputy for Strategic Supervision. Bureau of Technical Execution Systems. Agriculture Planning & Economic Research Institute (APERI). Jihad-e-Agriculture Ministry. 208p. (In Persian).
- 13- El-Shazly, S.M., Mustafa N.S., and El-Berry I.M., 2014. Evaluation of some fig cultivars grown under water stress conditions in newly reclaimed soils. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 21(8), pp.1167-1179.
- 14- FAO. 2018. Available at <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- 15- Farshi, A., Shariati, M.R., Jarollahi, R.M., Ghaemi, R., Shahabifar, M. and Tavallaei, M.M., 1997. *An estimate of the water requirements of main field crops and orchards in Iran*, Orchards Vol. 2. Agricultural Education Publication: Karaj, Iran, 629p. (in Persian).
- 16- Ghadami Firouzabadi, A., Seyedan, S.M. and Zareabyaneh, H., 2021. Determination and evaluation of applied water and physical and economical productivity of water in vineyards and walnut orchards of Malayer region of Hamadan. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(6), pp.1908-1919.
- 17- Gholami, M., Rahemi, M. and Rastegar, S., 2012. Use of rapid screening methods for detecting drought tolerant cultivars of fig (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae*, 143, pp.7-14.
- 18- Hernandez., F.B.T., Suzuki, M.A., Buzetti, S. and Correa., L.S., 1994. Response of the fig tree (*Ficus carica* L.) under irrigation and nitrogen levels at the Ilha Solteira (SP) region. *Scientia Agricola, Piracicaba*, 51(1), pp. 99-104.
- 19- Andrade, I.P.D.S., Carvalho, D.F.D., Almeida, W.S.D., Silva, J.B.G. and da Silva, L.D., 2014. Water requirement and yield of fig trees under different drip irrigation management. *Engenharia Agrícola*, 34, pp.17-27.
- 20- Jafari, M. and Rahemi, M., 2017. Effect of Vegetative and Seedling Fig Rootstocks on Nutrient Uptake of Scion cv. Sabz under Drought Stress Conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology* 17(4), pp.400-414. (In Persian).
- 21- Joe Afshan Vishaki, S., 2018. World Agricultural Heritage Systems (GIAHS). *Report of the Research Institute for Planning, Agricultural Economics and Rural Development*. (In Persian).
- 22- Johnson, L.F., Cahn, M., Martin, F., Melton, F., Benzen, S., Farrara, B. and Post, K., 2016. Evapotranspiration-based irrigation scheduling of head lettuce and broccoli. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 51(7), pp. 935-940.
- 23- Karimi, M. and Jolaini, M., 2017. Evaluation of Agricultural Water Productivity Indices in Major Field Crops in Mashhad Plain. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1), pp. 133-138. (In Persian).

- 24- Khozaie, M. and Sepaskhah, A. R., 2018. Economic analysis of the optimal level of supplemental irrigation for rain-fed figs. *Iran Agricultural Research*, 37(2), pp.17-26. (In Persian).
- 25- Leonel, S. and Tecchio, M.A., 2010. Pruning times and use of irrigation on fig tree 'Roxo de Valinhos' in the Botucatu region, SP. *Bragantia, Campinas*, 69(3), pp.571-580.
- 26- Mousavi, S., A. and Tatar, M., 2017. *Irrigation management of fruit trees*. Technical Journal. Deputy of Agriculture Education and Extension. No: 52712. 62p. (In Persian).
- 27- Parhizkari, A. and Badie Barzin, H., 2017. Determination of the Economic Value of Water and Simulating Farmers' Behavior in Takestan Region in Response to Reducing the Agricultural. *Water Resources 31(1)*, pp.105-118. (In Persian).
- 28- Parker, D.D. and Zilberman, D., 1996. The use of information services: The case of CIMIS. *Agribusiness*, 12(3), pp. 209-218.
- 29- Pereira, F.M., 1981. *Cultura da figueira*. Piracicaba: Livroceres. 73p.
- 30- Rostami, A.A. and Rahemi, M., 2013. Responses of Capri fig genotypes to water stress and recovery. *Journal of Biological & Environmental Sciences*, pp.131-139.
- 31- Sajedi. M., Esna-Ashari, M., Jafari, M. and Aslmoshtaghi, E., 2017. Physiological, Morphological and Biochemical Characteristics of Four Edible Fig and two Capri Fig Cultivars in Response to Drought Stress. *Journal of Plant Production*, 40(3), pp. 101-112. (In Persian).
- 32- Sarmad, Z., Bazargan, A. and Hejazi, E., 2001. *Research Methods in Behavioral Sciences*. Agah Publishing, Tehran, 405p (in Persian).
- 33- Shahrokhnia, M. A, and Zare, H., 2020. Determination of Water Productivity and Economic Productivity of Irrigation in Rain-Fed Fig Orchards in Estahban. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(3), pp. 317-335. (In Persian).
- 34- Tapia, R., Botti, C., Carrasco, O., Prat, L. and Franck, N., 2003. Effect of four irrigation rates on growth of six fig tree varieties. *Acta Horticulture*, 605, pp.113-118.



In The Name of God

# Irrigation Sciences and Engineering

(Scientific)

Vol. 46 (2)

Summer 2023

## Board of Editors

AkhondAli, A. M.	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Ghomeshi, M	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Heydarpour, M.	Professor	Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology
Kashefipour, S. M.	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Liaghat, A. M.	Professor	Faculty of Agriculture, University of Tehran
Hosseinzadeh Dalir, A.	Professor	Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
Naseri, A. A.	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Zand Parsa, Sh.	Professor	Faculty of Agriculture, Shiraz University of Technology
Pagliara, Stefano.	Professor	Department of Civil Engineering, University of Pisa, Italy
Sai Hin, L.	Associate Professor	Department Of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, Malaysia
Ahmadian, R.	Professor	Department of Civil Engineering, School of Engineering, Cardiff University, UK
Ritzema, H.	Associate Professor	Water Resources Management Group, Environmental Sciences Group, Wageningen University & Research, Netherland

Published by: Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Sciences Engineering, Ahvaz, Iran.

Director: BoromandNasab, S.

Editor-in-Chief: Kashefipour, S.M.

Editorial Manager: Yazdani, N

Type Setting: Yazdani, N.

E-mail: [JISE.Water@Scu.ac.ir](mailto:JISE.Water@Scu.ac.ir)  
[JISE.Water@yahoo.com](mailto:JISE.Water@yahoo.com)

Publication license of the Ministry of Culture and Islamic Guidance No. 10362/124 on 29/12/1998 and license of the Journal Review Office of the Ministry of Science, Research and Technology No. 11/3/1264 on 21/10/2009 for the Journal of Irrigation Sciences and Engineering.

Contents

Title	Authors	Page
<b>Evaluating the effect of formation of flow pattern on the outflow hydrograph in the HEC-HMS simulator (Case study: Roudzard basin)</b>	B. Moteshaffeh, A. M. Akhond Ali, M. R. Sharifi and H. Zarei	<b>1</b>
<b>Development of Daily Rainfall Simulation Model by Using Markove Chain and Preserve Spatial Correlation (Case Study: Khozestan Province)</b>	N. Shahraki, S. Marofi, MS. Ghazanfari Moghadam	<b>15</b>
<b>Numerical and Experimental Study of Transient Flow Properties in Viscoelastic Pipe Network Using Inverse Analysis</b>	P. Chahardah-Cheriki Gholizadeh , M. Fathi-Moghadam and S. Haghighipour	<b>31</b>
<b>Modeling of Greenhouse Gas Emissions in Sugarcane Cultivation and Industry in Khuzestan Province</b>	N. Moradimajd, Gh. A. Fallahghalhari and M. Chaternour	<b>45</b>
<b>Evaluating the Application of Automatic Flow Control Valves to Increase the Water Uniformity Distribution in the Drip Irrigation System in Sloping Lands and Modeling by EPANET Software (Case Study: Barajin Park, Qazvin)</b>	M. Fallah Morsali, H. Ramezani Etedali, M. Bijankhan and A. Mahdavi Mazdeh	<b>59</b>
<b>Identification of Possible Groundwater Recharge Areas by Multi-criteria Analysis based on GIS (Case: Dezful – Andimeshk Plain)</b>	B. Zahedi, H. Islam, M. H. Pormohammadi, E. Derikvand and M. Solimani Babarsad	<b>75</b>
<b>Title Experimental Investigation of Discharge and Flow Energy Dissipation of Elliptical Lopac Gate in Free Flow Condition</b>	M. Neisi, S. M. Sajjadi and M. Shafaei Bejestan	<b>91</b>
<b>Investigation of applied water, physical and economic productivity of water in fig orchards</b>	A. Ghadami Firouzabadi, F. Abbasi, M. Jovzi, B. Aboulpor, N. Kohi, A. Eslami, P. Varjavand and A. Nasser	<b>103</b>