



## Laboratory investigation of the relationship between trench dimensions and infiltration capacity in unsaturated environment

Mojtaba Hasanpour<sup>1</sup> , Hossein Khozaymehnezhad<sup>2</sup>  , Abolfazl Akbarpour<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: [mbohlool69@yahoo.com](mailto:mbohlool69@yahoo.com)

<sup>2</sup> *Corresponding Author*, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: [Hkhozaymeh@birjand.ac.ir](mailto:Hkhozaymeh@birjand.ac.ir)

<sup>3</sup> Department of Civil Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: [akbarpour@birjand.ac.ir](mailto:akbarpour@birjand.ac.ir)

### ABSTRACT

Artificial recharge can play an important role in strengthening and sustaining underground water. It is important to choose the right method for artificial recharge according to the conditions. The present study focused on investigating the effect of conduit dimensions on the level of infiltration capacity in an unsaturated environment. For this purpose, a physical model was created. Initially, water with a flow rate of 2.2 liters per minute entered the conduit at a depth of 10 centimeters, a width of 8 centimeters, and a length of 80 centimeters. Then the depth of the conduit was kept constant, and the width of the conduit was varied to 0.5, 0.75, 1.25, and 1.5 times. Subsequently, the width of the conduit was kept constant, and the depth of the conduit was varied to 0.5, 0.75, 1.25, and 1.5 times. The output flow rate from the model was measured at all mentioned stages. The results indicated that changes in the output flow rate from the model due to variations in the depth of the conduit compared to variations in the width of the conduit are more significant. Additionally, the results showed that the trends of changes in the volume of the conduit and the infiltration area of the conduit compared to the trends of changes in the output flow rate from the model are greater. The trends of changes in the volume of the conduit compared to the trends of changes in the output flow rate from the model for changes in the depth of the conduit and the trends of changes in the output flow rate from the model for changes in the width of the conduit are 7 and 25 times, respectively. The trend of changes in the infiltration area of the conduit for changes in the depth of the conduit compared to the trend of changes in the output flow rate from the model was calculated to be 5 times. Furthermore, the trend of changes in the infiltration area of the conduit for changes in the width of the conduit compared to the trend of changes in the output flow rate from the model was found to be 7 times.

**Keywords:** artificial recharge, outflow, trench width, trench depth, permeable pipe

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 31 May 2024 Revised: 06 August 2024 Accepted: 07 September 2024 ePublished: 21 December 2024

### 1. Introduction

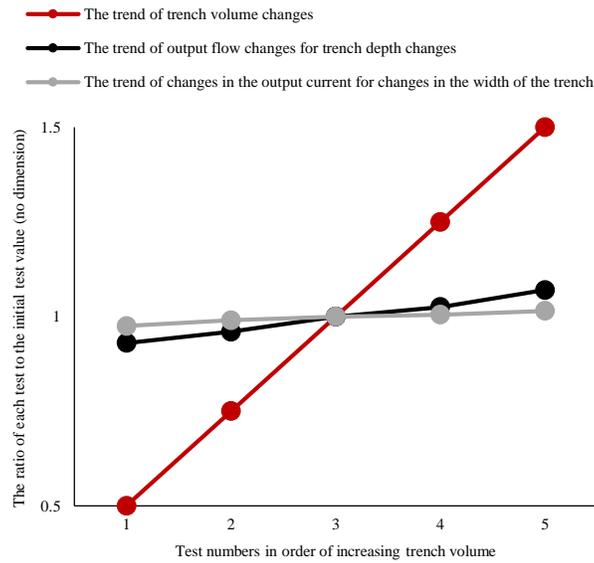
The urgent and increasing human need for water resources around the world, especially in arid and semi-arid regions, has focused more attention on researching new methods of storing and reusing groundwater and surface water (Karim, 2018). In order to design a suitable artificial recharge method, sufficient information about the distribution of water flow in the soil is required. On the other hand, researching water flow distribution in porous media without modeling field conditions is time-consuming and costly. The purpose of this research is to investigate the effect of trench dimensions on infiltration capacity in unsaturated environment and to introduce artificial recharge method suitable for desert areas

### 2. Materials and Methods

In order to achieve the goals of this research, the physical model was built in the hydraulic laboratory of Birjand University. In the conducted tests, the depth and width of the trench (separately) were variable and other fixed factors were considered. Considering that the purpose of this research is to investigate the effect of trench dimensions on the amount of infiltration capacity in an unsaturated environment. Therefore, in the first stage, water with a flow rate of 2.2 liters per minute entered the trench with a depth of 10 cm, a width of 8 cm and a length of 80 cm (the length of the trench was constant in all the experiments) and the volume of water exiting from the measurement model became. In the next step, keeping the depth of the trench constant, the width of the trench was 0.5, 0.75, 1.25, and 1.5 times, and the volume of water coming out of the model was measured for different widths. Also, considering the width of the trench as fixed, the depth of the trench was changed with the mentioned ratios. After the water reached the stagnation level, the output water volume was measured at 5-minute intervals for 60 minutes for all the inlet flow rates of the model. Then, after 60 minutes, the output water volume ( $V_{out}$ ) from the model was measured for another 30 minutes. Then the inlet flow was stopped and the output flow rate from the model was measured at 5 minute intervals for another 120 minutes.

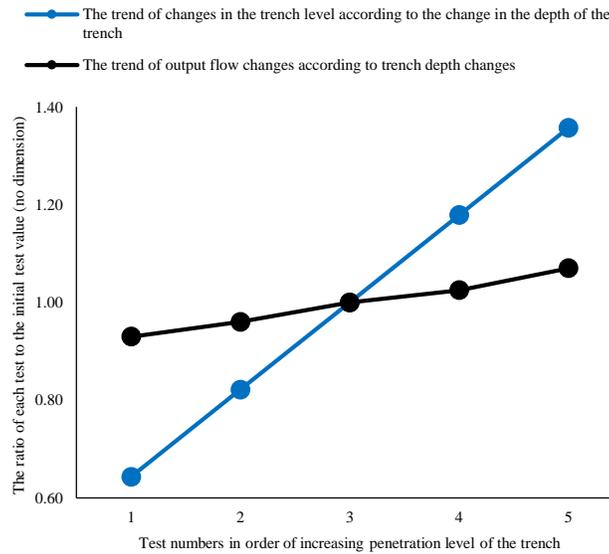
### 3. Results and Discussion

The amount of  $Q_{out}$  is directly affected by the changes in depth and width of the trench. In equal volumes, in cases where the ratio of depth to width is greater, the value of  $Q_{out}$  is greater. In Figure 1, the trend of changes in the volume of the trench with the trend of changes in the flow output from the model according to the changes in the depth of the trench and also the changes in the width of the trench are examined. The results have shown that the slope of changes in the volume of the trench is not proportional to the slope of the output flow and shows a higher value. The slope of changes in trench volume is 20%, while the slope of changes in output flow is 2.8%, and the slope of changes in output flow is 0.8%. This shows that depth changes are more effective than trench width changes in increasing the amount of infiltration.

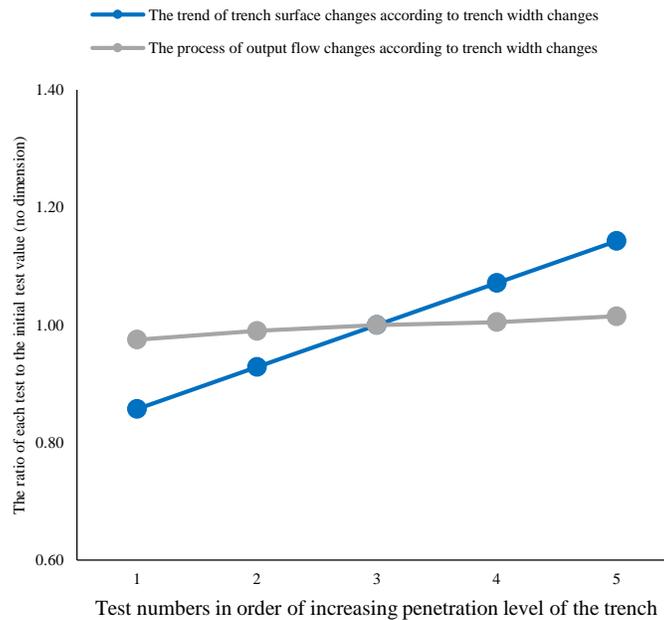


**Figure 1. Examining the changes in the volume of the trench and the changes in the output current according to the changes in the depth and width of the trench**

Also, the effects of the infiltration level on the output flow rate from the tank were investigated. Investigations show that the trend of changes in the trench level changes with a greater slope than the trend of the output flow rate from the model. The slope of the trench surface change trend was calculated as 14.29% for the trench depth change, while the slope of the model output flow rate change for the trench depth change is 2.8%. also . The slope of the trench surface changes was calculated as 5.7% per trench width change, while the slope of the model output flow rate changes was 0.8% per trench width changes (Figures 2 and 3).



**Figure 2. Examining the trend of changes in the infiltration level of the trench and the trend of the output flow changes according to the changes in the depth of the trench**



**Figure 3. Examining the trend of changes in the infiltration level of the trench and the trend of the output flow changes according to the changes in the width of the trench**

#### 4. Conclusions

The results showed that in the conditions where the width of the trench was considered constant and its depth was considered variable, compared to the conditions where the depth of the trench was considered constant and its width was considered variable; The changes in the output current from the model are greater. For example, in the case where the width of the trench was considered fixed, for every 1.5 times the depth of the trench, the output water volume increased by 7%. 1.5 doubling of the width of the trench, the volume of the outflow water increased by 1.3 percent. Also, the results showed that the trend of changes in the volume of the trench and the infiltration level of the trench is more than the trend of the changes in the flow rate of the model. The trend of changes in trench volume is 7 times and 25 times the ratio of changes in flow rate output from the model per change in depth of the trench and the trend of changes in flow rate output from the model per change in width of the trench, respectively. The trend of changes in the infiltration level of the trench was calculated by the change of the depth of the trench, the ratio of the trend of the output flow rate changes was calculated 5 times from the model. Also, the change trend of the infiltration level of the trench for the change of the trench width, the ratio of the change trend of the output flow rate was obtained from the model 7 times.

#### 5. References

Karim, I. (2018). Artificial Recharge of Groundwater by Injection Wells (Case Study). *Int. J. Sci. Eng. Technol.*, 6(1), 6193-6196. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119639>

#### 6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

**Cite this article:** Hasanpour, M., Khozaymehnezhad, H., & Akbarpour, A. (2024). Laboratory investigation of the relationship between trench dimensions and infiltration capacity in unsaturated environment, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(4), 1-18. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10800.1129>



## بررسی آزمایشگاهی رابطه بین ابعاد ترانشه و ظرفیت نفوذ در محیط غیر اشباع

مجتبی حسن پور<sup>۱</sup> ID، حسین خزیمه نژاد<sup>۲</sup> ID، ابوالفضل اکبرپور<sup>۳</sup> ID

<sup>۱</sup> گروه علوم ومهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: mbohool69@yahoo.com

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، گروه علوم ومهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: hkhozeymeh@birjand.ac.ir

<sup>۳</sup> گروه عمران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: akbarpour@birjand.ac.ir

### چکیده

تغذیه مصنوعی می تواند نقش مهمی در تقویت و پایداری آب زیرزمینی داشته باشد. انتخاب روش مناسب برای تغذیه مصنوعی با توجه به شرایط، حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر ابعاد ترانشه بر میزان ظرفیت نفوذ در محیط غیراشباع پرداخته شد. بدین منظور یک مدل فیزیکی ساخته شد. ابتدا آب با دبی ۲/۲ لیتر در دقیقه از لوله تراوا وارد ترانشه به عمق ۱۰ سانتی متر، عرض ۸ سانتی متر و طول ۸۰ سانتی متر شد. سپس عمق ترانشه ثابت در نظر گرفته شد و عرض ترانشه ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شد. در ادامه عرض ترانشه ثابت در نظر گرفته شد و عمق ترانشه ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شد. در همه مراحل ذکر شده دبی خروجی از مدل اندازه گیری شد. نتایج نشان داد تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییرات عمق ترانشه نسبت به تغییرات عرض ترانشه، میزان بیشتری است. همچنین نتایج نشان داد روند تغییرات حجم ترانشه و سطح نفوذ ترانشه نسبت به روند تغییرات دبی خروجی از مدل بیشتر است. روند تغییرات حجم ترانشه نسبت روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییر عمق ترانشه و روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییر عرض ترانشه به ترتیب ۷ و ۲۵ برابر محاسبه شد. روند تغییرات سطح نفوذ ترانشه به ازای تغییر عمق ترانشه نسبت روند تغییرات دبی خروجی از مدل ۵ برابر است. همچنین روند تغییرات سطح نفوذ ترانشه به ازای تغییر عرض ترانشه نسبت روند تغییرات دبی خروجی از مدل ۷ برابر بدست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** تغذیه مصنوعی، جریان خروجی، عرض ترانشه، عمق ترانشه، لوله تراوا

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۱ خرداد ۱۴۰۳ اصلاح: ۱۶ مرداد ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۷ شهریور ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ دی ۱۴۰۳

**استناد:** حسن پور، م، خزیمه نژاد، ح، و اکبرپور، ا. (۱۴۰۳). بررسی آزمایشگاهی رابطه بین ابعاد ترانشه و ظرفیت نفوذ در محیط غیر اشباع، فناوری های پیشرفته در

بهره وری آب، (۴) ۱۸-۱. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10800.1129>



### مقدمه

استفاده از منابع آب به دلیل نیازهای بشر و از طرفی برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به علت در دسترس بودن آن رو به افزایش است. این مسئله باعث مشکلاتی از جمله کاهش سطح آب زیرزمینی، کاهش کیفیت آب، تداخل آب شور و شیرین، فرونشست زمین و به دنبال آن موجب از بین رفتن آبخوان شده است. لذا جهت کم کردن اثرات عوارضی که بیان شد که همان حفظ کمیت و کیفیت آب زیرزمینی است طرح‌های تغذیه مصنوعی اجرا می‌گردد. مشکلات تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در مناطق کویری حادث است و دلایل آن از قبیل کم بودن نزولات جوی و به دنبال آن منابع آب محدودتر جهت استفاده در طرح‌های تغذیه مصنوعی است. از طرفی اجرای روش‌های تغذیه سطحی در مناطق کویری مشکلات عدیده‌ای را به وجود آورده است. از جمله این مشکلات، آورد رسوب بالا در ایجاد سیلاب‌های احتمالی به علت پوشش ضعیف گیاهی است که خود باعث گرفتگی منافذ خاک شده و به دنبال آن سبب کاهش عمر طرح اجراشده تغذیه مصنوعی می‌گردد. از طرفی تبخیر بالا در این مناطق خود یکی از موارد هدررفت همین منابع آبی است. لذا در این پژوهش ضمن ارائه روشی از تغذیه مصنوعی که متناسب با شرایط مناطق کویری است، به دنبال بررسی عملکرد روش تغذیه مصنوعی ارائه شده نیز است.

### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نیاز فوری و فزاینده انسان به منابع آبی در سراسر جهان، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پژوهش در مورد روش‌های جدید برای ذخیره و استفاده مجدد از آب‌های زیرزمینی و سطحی را بیش‌ازپیش مورد توجه قرار داده است (کریم<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، منابع آب سطحی به‌طور کلی کم و بسیار غیرقابل‌اعتماد هستند، بنابراین آب زیرزمینی منبع اصلی آب در این مناطق است (اسکلون و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶). در مناطق خشک و نیمه خشک، آب آسیب پذیرترین منبع در برابر تغییرات اقلیمی است. در واقع، تکنیک‌های مختلفی مانند تغذیه مصنوعی برای احیای سفره‌های آب زیرزمینی و اطمینان از پایداری آبخوان به کار گرفته می‌شود (مولای الحسن و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹). چندین کشور که به این یافته حساس هستند، قبلاً تکنیک‌های پیشرفته‌ای مانند تغذیه مصنوعی را برای افزایش پتانسیل آب‌های زیرزمینی اتخاذ کرده‌اند. این تکنیک از منابع غیرمتعارفی استفاده می‌کند که به مدیریت بهینه آب کمک می‌کند: آب سیلابی (المنصوری و المزواری<sup>۴</sup>، ۲۰۱۵)، فاضلاب تصفیه شده، آب نمک زدایی شده دریا را می‌توان به عنوان منابع آب در نظر گرفت و آبخوان را دوباره شارژ کرده و سطح آب را بالا برد (دیتی و برسیلون<sup>۵</sup>، ۲۰۰۹، روگون<sup>۶</sup>، ۲۰۰۰، و پاین<sup>۷</sup>، ۲۰۰۵). گرفتگی یکی از محدودیت‌های این تکنیک است که شامل فرآیندهای فیزیکی پیچیده شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی است (تیان و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۶). تغذیه مصنوعی در مناطق عمده کشور مراکش برای افزایش پتانسیل سفره‌های زیرزمینی در معرض کاهش بیش از حد اعمال می‌شود (سببار<sup>۹</sup>، ۲۰۱۳). مدیریت تغذیه مصنوعی آبخوان (MAR) یک راه حل نوآورانه بالقوه برای رسیدگی به مسائل مربوط به منابع آب زیرزمینی ارائه می‌دهد و آب سطحی اضافی را قادر می‌سازد تا در زیر زمین برای برداشت بعدی ذخیره شود. با توجه به خواص هیدروژئولوژیکی مطلوب آن، آبخوان شن و ماسه پلیوسن (Crag) در سافولک انگلستان، برای یک طرح نمایشی MAR، با هدف تامین آب اضافی برای آبیاری تابستانی انتخاب شد (هیسکوک و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۲۴). بسته به نوع منبع آب، تغذیه مصنوعی با روش‌های سطحی (حوضچه‌ها، شیارها و بندها) یا در زیرزمین (چاه‌های جذبی، زهکش‌های شعاعی و غیره) انجام می‌شود. معمولاً روش‌های سطحی گران‌تر هستند (فورمن<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۴). شبیه‌سازی جریان در محیط متخلخل، کاربردهای متعدد و متنوعی در طراحی سدهای پاره‌سنگی، فیلترهای شنی، بهره‌برداری مؤثر از منابع آب زیرزمینی و غیره دارد. ظرف

<sup>۱</sup> Karim

<sup>۲</sup> Scanlon et al

<sup>۳</sup> Moulay Lhassan et al

<sup>۴</sup> El Mansouri and El Mezouary

<sup>۵</sup> Detay and Bersillon

<sup>۶</sup> Rognon

<sup>۷</sup> Pyne

<sup>۸</sup> Tian et al

<sup>۹</sup> Sebbar

<sup>۱۰</sup> Hiscock et al

<sup>۱۱</sup> Foreman

صدها سال گذشته، تلاش‌های متعددی به منظور شبیه‌سازی جریان در محیط متخلخل با بهره‌گیری از قوانین داری و غیر داری صورت پذیرفته است (افضلی و همکاران، ۱۳۸۸). در تحلیل آب‌های زیرزمینی اغلب فرض می‌شود که نفوذپذیری افقی بزرگ‌تر از نفوذپذیری قائم می‌باشد (به‌خصوص برای رس‌ها). میزان ناهمسانی نفوذپذیری را با پارامتر بدون بعد  $\Gamma_k$  نشان می‌دهند که برابر است با میزان نفوذپذیری افقی به میزان نفوذپذیری قائم ( $\Gamma_k = k_H/k_V$ ). مقادیر زیادی از میزان  $\Gamma_k$  برای رس‌ها و سنگ‌ها در دسترس می‌باشد؛ در مقابل نتایج معتبر اندکی برای مصالح غیر چسبنده وجود دارد زیرا دستگاه‌های اندازه‌گیری نفوذپذیری برای مصالح دانه‌ای اندک می‌باشند (باگارلو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). برای طراحی یک روش مناسب تغذیه مصنوعی نیاز به اطلاعات کافی از نحوه توزیع جریان آب در خاک و همچنین نیازمند حصول اطلاعات مربوط به الگوی توزیع آب در خاک می‌باشد. این نوع اطلاعات در انتخاب شدت جریان ورودی به خاک و به حداکثر رساندن میزان نفوذ تأثیرگذار است. نفوذپذیری خاک به دو عامل کلی بستگی دارد، یک عامل مشخصات خود خاک شامل فضای خالی خاک، زبری سطح ذرات جامد، درجه اشباع و عامل دیگر مشخصات سیالی (آب) است که از آن عبور می‌کند (پیشرو و همکاران، ۱۳۹۶).

موکرچی<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) در پژوهشی با عنوان مروری بر تغذیه آب زیرزمینی در هند بیان می‌دارد هدف اصلی تغذیه آب زیرزمینی حفظ و یا تقویت منابع آب زیرزمینی است که شامل حفاظت یا کنترل آب‌های سیلاب، کنترل نفوذ آب‌های شور، ذخیره آب برای کاهش هزینه‌های پمپاژ و لوله‌کشی، تنظیم موقتی آب‌های زیرزمینی و بهبود کیفیت آبخوان با مخلوط کردن با آب‌های زیرزمینی است. در چنین مناطقی نیاز به تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با روش‌هایی مانند پخش آب، شارژ مجدد از طریق چاله‌ها، چاه‌ها و موارد دیگر وجود دارد. انتخاب یک روش خاص بستگی به شرایط توپوگرافی، زمین‌شناسی، کمیت و کیفیت آب موجود برای تغذیه مجدد، وجود فناوری، قابلیت اقتصادی و پذیرش اجتماعی این‌گونه طرح‌ها دارد.

آبلان و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) به موضوع تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، مروری بر دانش متداول روش‌های تغذیه مصنوعی پرداخته‌اند. این مطالعه به جنبه‌های هیدرولیک و هیدروژئولوژیکی مرتبط با روش‌های تغذیه مصنوعی، با انجام یک تحلیل جامع از مقالات موجود منتشرشده در دهه‌های گذشته، در مورد تعریف خود روش تغذیه، منابع آب موجود برای توسعه آن، اهداف این فن، مراحل مکانیسم هیدرونیامیکی، سیستم‌های مختلفی که معرفی شده (سیستم‌های سطحی و زیرزمینی) و موضوعات مربوط به آن (گرفتگی، آلودگی‌های قبرستانی و غیره) پرداخته است. روش‌های اصلی تغذیه مصنوعی در دو گروه عمده تقسیم‌بندی می‌شوند. ۱- روش‌های سطحی یا سیستم‌های نفوذ که در آن آب به وسیله یک سطح تماس بزرگ با زمین به لایه‌های خاک وارد می‌شود ۲- روش‌های عمیق زیرزمینی یا سیستم‌های تزریق که با آن آب معمولاً به وسیله چاه‌ها یا سوراخ‌ها و چاه‌های زهکشی شعاعی به آبخوان تزریق می‌شود.

بکویت و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۳) در پژوهشی با عنوان ناهمسانگردی و ناهمگنی مربوط به عمق هدایت هیدرولیکی در یک باتلاق (اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی) بیان نمودند در خاک‌های ناهمسانگرد، هدایت هیدرولیکی اشباع عمودی ( $k_v$ ) حجم معینی از خاک، با هدایت هیدرولیکی اشباع افقی ( $k_h$ ) همان حجم خاک متفاوت است.

پیشرو و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی آزمایشگاهی شاخص‌های مکانیک خاک بر نفوذپذیری ناهمسانگردی مصالح درشت‌دانه غیریکنواخت، با تأکید بر دانه‌بندی، فاکتور شکل و تراکم پرداختند. نتایج نشان داد با افزایش تخلخل ضرایب نفوذپذیری در هر دو حالت افقی و قائم افزایش یافته است و نفوذپذیری نیز در جهت افقی اغلب بیشتر از نفوذپذیری در جهت قائم است.

مقاله حاضر روشی نوین برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در مناطق کویری ارائه می‌دهد که با هدف غلبه بر چالش‌های روش‌های معمول و ارتقای کارایی و پایداری آنها طراحی شده است. این روش با استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده به عنوان منبع آب، مشکل کمبود منابع آب محدود این مناطق را جبران نماید. همچنین به افزایش کیفیت آبخوان در قسمت‌هایی که کیفیت آن بسیار کاهش یافته است به صورت متمرکز در آن منطقه کمک نماید. همچنین با اجرای زیرزمینی و بهینه‌سازی ابعاد ترانشه، راندمان تغذیه افزایش می‌یابد. آزمایش‌های انجام‌شده در مدل‌های آزمایشگاهی نشان‌دهنده کارایی و پتانسیل بالای این روش است. با این حال، انجام مطالعات میدانی و بررسی دقیق‌تر پارامترهای موثر بر عملکرد آن در شرایط

<sup>۱</sup> Bagarello et al

<sup>۲</sup> Mukherjee

<sup>۳</sup> Abellán et al

<sup>۴</sup> Beckwith et al

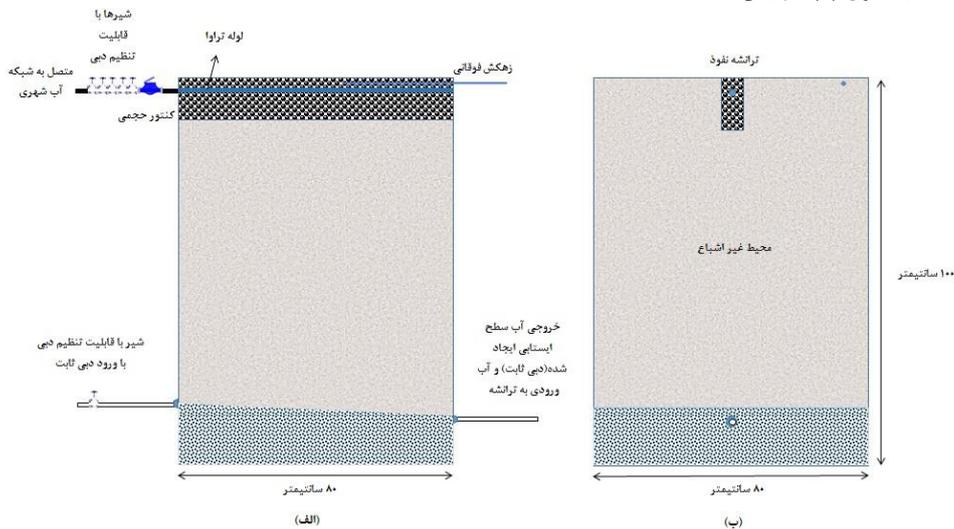
واقعی ضروری است. در مجموع، این روش می‌تواند راه‌حلی امیدوارکننده برای مدیریت پایدار منابع آب محدود در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار آید.

### روش پژوهش

برای رسیدن به اهداف پژوهش حاضر یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بیرجند ساخته شد. مدل ارائه‌شده الگو گرفته از قنات و لوله‌های زهکشی است. این روش، مکانیزمی عکس قنات دارد به طوری که در قنات آب موجود در لایه‌های خاک از ارتفاع بالاتر به گالری قنات زهکش می‌شود، در صورتیکه در این روش از طریق لوله تراوا، آب، وارد لایه‌های خاک زیر ناحیه لوله شده و تغذیه مصنوعی صورت می‌پذیرد. در آزمایش‌های انجام شده دبی ورودی برای هر یک از بافت‌های مورد استفاده در آزمایشات اولیه تعیین شد. عرض ترانشه نفوذ و ارتفاع لوله سرریز تا کف ترانشه (عمق ترانشه)، متغیر و سایر عوامل ثابت در نظر گرفته شد.

### مدل آزمایشگاهی

برای این منظور مدل با استفاده از شیشه ۱۰ میلی‌متر و در ابعاد  $100 \times 80 \times 80$  سانتیمتر ساخته شد که در شکل (۱) نشان داده شده است. ابتدا خاک به صورت لایه‌های ۵ سانتی متری در محفظه مدل قرار گرفت. ماسه شسته متوسط خوب دانه‌بندی شده با  $D_{50}$  برابر با  $0.74$  میلی‌متر به عنوان محیط غیر اشباع مجزا در مدل، مورد استفاده قرار گرفت. سایر خصوصیات دانه بندی خاک مورد استفاده در جدول (۱) گزارش شده است.



شکل ۱. شماتیک ساده از مدل آزمایشگاهی: (الف) نمای از سمت راست، (ب) نمای از جلو

جدول ۱. نتایج آزمایش‌های خاک مورد استفاده در

مدل		
نام پارامتر	مقدار	واحد
D10	۰/۱	میلی‌متر
D30	۰/۳۷	میلی‌متر
D60	۰/۹	میلی‌متر
Cu	۹	ضریب یکنواختی
Cc	۱/۵۲	ضریب انحنای

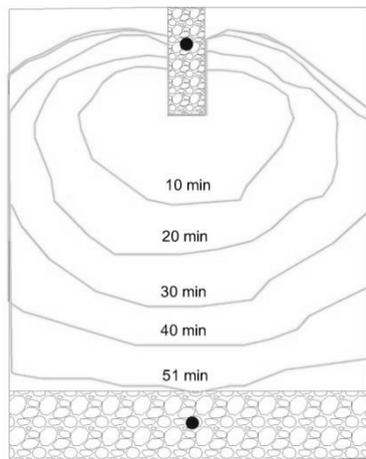
در مرحله بعد ترانشه اولیه با عرض ۸ سانتیمتر، عمق ۱۰ سانتیمتر و طول ۸۰ سانتیمتر در محیط متخلخل ایجاد و توسط مصالح با نفوذپذیری بالا (دانه‌بندی ۶ الی ۱۲ میلی‌متر) تا عمق مناسب پر شد. لوله تراوا نیز در ترانشه نصب گردید. یک زهکش نیز در بالای ترانشه جهت خارج نمودن آب اضافه نصب شد. فاصله کف ترانشه تا سطح ایستابی ۶۱ سانتی‌متر است. آب از شبکه آب

شهری با دبی ۲/۲ لیتر در دقیقه وارد لوله‌ای شد که تعداد ۶ روزنه با قطر ۲ میلی‌متر با فواصل ۱۵ سانتی‌متر بر روی آن ایجاد شده است (لوله تراوا). دبی‌سنجی توسط ۵ شیر سری که قبلاً با استفاده از روش حجمی کالیبره شده بود؛ انجام می‌شد. همچنین علاوه بر دبی‌سنجی به‌وسیله شیرهای کالیبره شده، حجم آب عبوری با استفاده از کنتور اندازه‌گیری می‌شد.

### نحوه انجام آزمایش

در آزمایش‌ها عبور جریان آب از طریق لوله تراوا و ترانشه با دبی ۲/۲ لیتر در دقیقه (مقدار دبی ورودی با توجه به نتایج بدست آمده از انجام آزمایش‌های اولیه حاصل شده است) به محیط متخلخل انجام پذیرفت. در آزمایش‌های انجام شده عمق و عرض ترانشه متغیر بوده و سایر عوامل ثابت در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی آزمایشگاهی تأثیر خصوصیات هندسی ترانشه بر میزان ظرفیت نفوذ در محیط غیراشباع است؛ لذا در مرحله اول آب با دبی ۲/۲ لیتر در دقیقه وارد ترانشه به عمق ۱۰ سانتی‌متر، عرض ۸ سانتی‌متر و طول ۸۰ سانتی‌متر (طول ترانشه در تمامی آزمایش‌ها ثابت بوده است) شده و حجم آب خروجی از مدل اندازه‌گیری شد. در مرحله بعدی با ثابت در نظر گرفتن عمق ترانشه، عرض ترانشه ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شد و حجم آب خروجی از مدل برای عرض‌های مختلف اندازه‌گیری شد. همچنین با ثابت در نظر گرفتن عرض ترانشه، عمق ترانشه با نسبت‌های مذکور تغییر نمود.

جهت بررسی چگونگی حرکت جبهه رطوبتی از ابتدا تا انتها از چگونگی گسترش جبهه رطوبتی فیلمبرداری شد. همچنین همزمان با انجام آزمایش هر ۵ دقیقه انتهای جبهه رطوبتی بر روی دیواره مدل ترسیم شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Plot Digitizer و AutoCAD خطوط مذکور پیاده‌سازی شده تا امکان تحلیل چگونگی حرکت جبهه رطوبتی فراهم گردد که در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است.



شکل ۲. ترسیم خطوط جبهه رطوبتی در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه بر روی دیواره مدل با عرض ترانشه ۸ سانتی‌متر و عمق ترانشه ۱۰ سانتی‌متر

شکل ۳. نحوه حرکت جبهه رطوبتی در مدل با دبی با عرض ترانشه ۸ سانتی‌متر و عمق ترانشه ۱۰ سانتی‌متر

پس از رسیدن آب به سطح ایستایی در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه به مدت ۶۰ دقیقه (زمان ثابتی که مدت آن با توجه به رسیدن به دبی اوج خروجی از مدل و آزمایش‌های اولیه برای کمترین دبی به‌دست آمده است) حجم آب خروجی برای کلیه دبی‌های ورودی مدل، اندازه‌گیری شد. در ادامه پس از اتمام زمان ۶۰ دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه دیگر، میزان حجم آب خروجی از مدل اندازه‌گیری شد. سپس جریان ورودی قطع و به مدت ۱۲۰ دقیقه دیگر دبی خروجی از مدل در بازه‌های ۵ دقیقه اندازه‌گیری شد. سپس حجم آب ورودی به مخزن ( $V_{in}$ ) و حجم آب خروجی بدون محاسبه دبی پایه ( $V_{out}$ ) اندازه‌گیری شد. معادله (۱) بیانگر این متغیر است.

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \quad (1)$$

$V_1$  حجم آب ورودی برای شبیه‌سازی سطح ایستایی،  $V_2$  حجم آب خروجی از مدل که شامل حجم آب ورودی برای شبیه‌سازی سطح ایستایی نیز می‌شود، است.

### یافته‌ها

پس از انجام آزمایش در هر مرحله و اندازه‌گیری پارامترهای موردنظر، اطلاعات کسب‌شده در جدول (۲) آورده شده است.

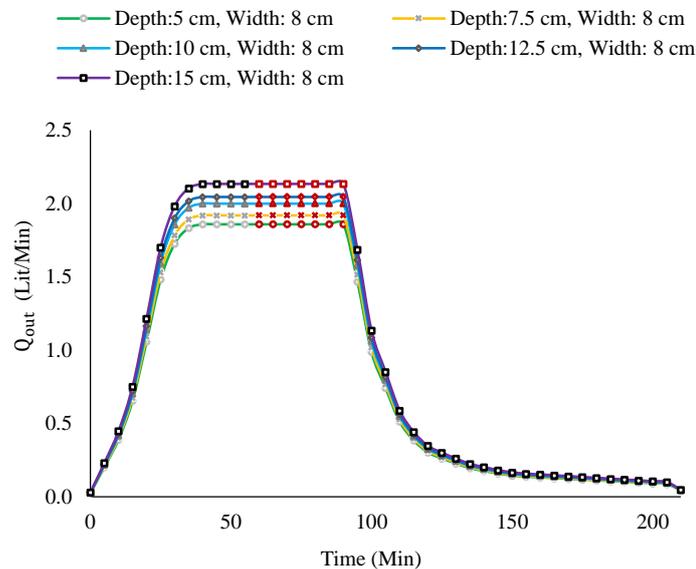
جدول ۲. اطلاعات کسب شده از آزمایشات

ردیف (۱)	عرض ترانشه (سانتی‌متر) (۲)	عمق ترانشه (سانتی‌متر) (۳)	حجم ترانشه (سانتی‌متر مکعب) (۴)	نسبت عمق به عرض ترانشه (۵)	سطح نفوذ (سانتی‌متر مربع) (۶)	حداکثر جریان خروجی از مدل بدون جریان پایه در طول دوره آزمایش (لیتر در دقیقه) (۷)	حداکثر دبی خروجی از سرریز مدل (لیتر در دقیقه) (۸)	حجم آب خروجی از مدل فیزیکی در مدت ۵ دقیقه (لیتر) (۹)
۱	۸	۱۰	۶۴۰۰	۱/۲۵	۲۲۴۰	۲/۰۰	۰/۱۸	۱۰/۰۰
۲	۸	۵	۳۲۰۰	۰/۶۳	۱۴۴۰	۱/۸۶	۰/۳۱	۹/۳۰
۳	۸	۷/۵	۴۸۰۰	۰/۹۴	۱۸۴۰	۱/۹۲	۰/۲۶	۹/۵۸
۴	۸	۱۲/۵	۸۰۰۰	۱/۵۶	۲۶۴۰	۲/۰۵	۰/۱۲	۱۰/۲۳
۵	۸	۱۵	۹۶۰۰	۱/۸۸	۳۰۴۰	۲/۱۴	۰/۰۵	۱۰/۶۸
۶	۴	۱۰	۳۲۰۰	۲/۵۰	۱۹۲۰	۱/۹۵	۰/۲۳	۹/۷۷
۷	۶	۱۰	۴۸۰۰	۱/۶۷	۲۰۸۰	۱/۹۸	۰/۲	۹/۹۰
۸	۱۰	۱۰	۸۰۰۰	۱/۰۰	۲۴۰۰	۲/۰۱	۰/۱۶	۱۰/۰۷
۹	۱۲	۱۰	۹۶۰۰	۰/۸۳	۲۵۶۰	۲/۰۳	۰/۱۳	۱۰/۱۴

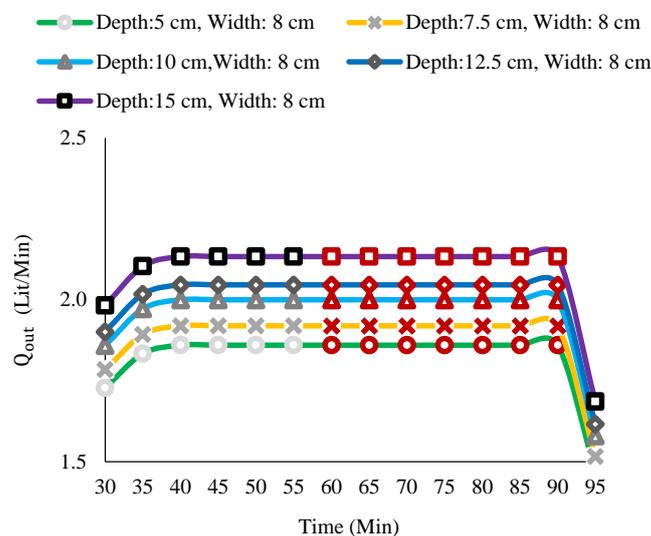
در ردیف اول (۲) مشخصات ترانشه اولیه آورده شده است. به ازای ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شدن عمق ترانشه نسبت به عمق اولیه ترانشه در عرض ترانشه ثابت ۸ سانتی‌متر (ردیف ۲ الی ۵) و همچنین به ازای ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شدن عرض ترانشه نسبت به عرض اولیه ترانشه در عمق ترانشه ثابت ۱۰ سانتی‌متر (ردیف ۶ الی ۹)، حجم‌های ترانشه محاسبه شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود حجم‌های محاسبه شده با اعمال نسبت‌های یکسان در مورد عمق و عرض با یکدیگر برابر است (ستون ۴ جدول (۲)). به‌عنوان مثال حجم محاسباتی ترانشه در ردیف ۲ و ۶ به ترتیب به ازای ۰/۵ برابر شدن عمق ترانشه با عرض ثابت ترانشه و همچنین ۰/۵ برابر شدن عرض ترانشه با عمق ثابت ترانشه ۳۲۰۰ سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

در شکل (۴) نمودارهای دبی خروجی از مدل فیزیکی ( $Q_{out}$ ) با دبی ورودی ( $Q_{in}$ ) ۲/۲ لیتر در دقیقه آمده در عمق‌های مختلف ترانشه ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ و با عرض ترانشه ثابت ۸ سانتی‌متر آمده است. شاخه صعودی نمودارهای هر کدام از عمق‌های تعیین‌شده از لحظه خروج آب از مدل تا زمانی است که  $Q_{out\ max}$  اتفاق می‌افتد. سپس در قله نمودار تا اتمام زمان ۶۰ دقیقه،  $Q_{out\ max}$  ادامه داشته و بعد از آن به مدت ۳۰ دقیقه  $Q_{out\ max}$  اندازه‌گیری شد (قسمت قرمز رنگ نمودار). بخش نزولی نمودار،

$Q_{out}$  پس از توقف  $Q_{in}$  را نشان می‌دهد که با گذشت زمان کاهش یافته است. برای مشخص شدن بیشتر اختلاف  $Q_{out}$  به ازای عمق‌های مختلف به صورت محدودتر قسمت بیشینه نمودارها آورده شده است که در شکل (۵) نشان داده شده است.



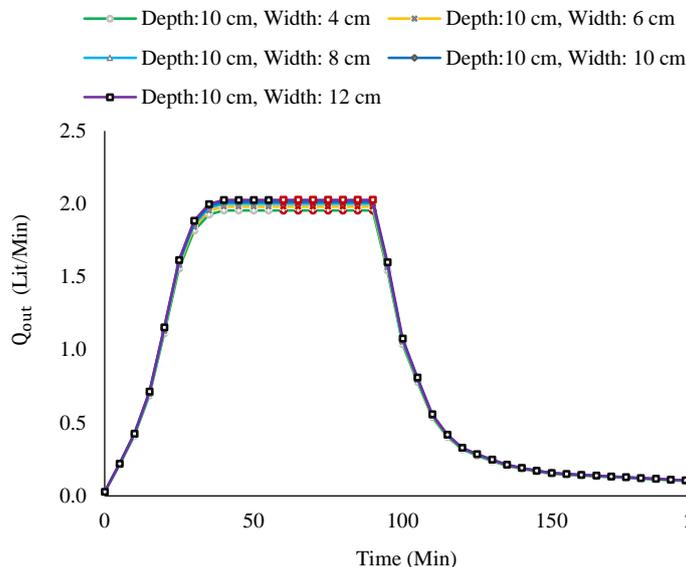
شکل ۴. نمودار  $Q_{out}$  با دبی ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه با عرض ترانشه ثابت ۸ سانتی‌متر و عمق‌های مختلف ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ سانتی‌متر



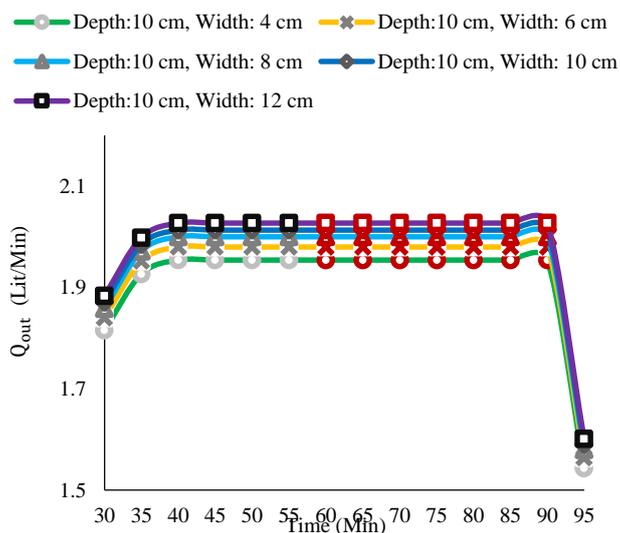
شکل ۵. نمودارهای  $Q_{out}$  در قسمت بیشینه آن‌ها با دبی ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه با عرض ترانشه ثابت ۸ سانتی‌متر و عمق‌های مختلف ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ سانتی‌متر

همچنین در شکل (۶) نمودارهای  $Q_{out}$  با دبی ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه در عرض‌های مختلف ترانشه ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ سانتی‌متر و با عمق ترانشه ثابت ۱۰ سانتی‌متر نشان داده شده است. همانند قسمت قبل نمودارهای  $Q_{out}$  به ازای عرض‌های

مختلف ترسیم گردید. برای مشخص شدن بیشتر اختلاف  $Q_{out}$  به ازای عرض‌های مختلف به صورت محدودتر قسمت بیشینه نمودارها ارائه شده است که در شکل (۷) نشان داده شده است.



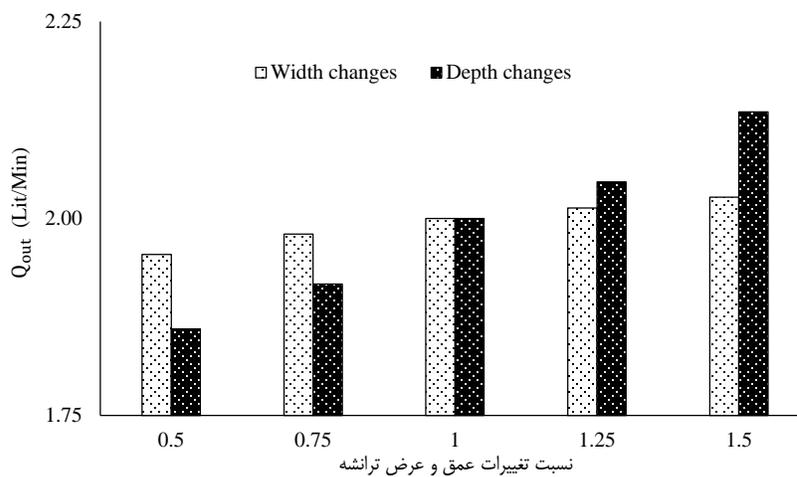
شکل ۶. نمودارهای  $Q_{out}$  با دبی ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه با عمق ترانشه ثابت ۱۰ سانتی‌متر و عرض‌های مختلف ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ سانتی‌متر



شکل ۷. نمودارهای  $Q_{out}$  در قسمت بیشینه آن‌ها با دبی ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه با عمق ترانشه ثابت ۱۰ سانتی‌متر و عرض‌های مختلف ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ سانتی‌متر

در شکل های (۵) و (۷) مشاهده می گردد با توجه به اینکه حجم ترانشه در دو حالت یکسان بوده است اما دامنه تغییرات  $Q_{out}$  با تغییر اندازه عمق نسبت به تغییر اندازه عرض ترانشه بیشتر شده است.

همانطور که در شکل (۸) مشاهده می شود، میزان  $Q_{out}$  به طور مستقیم تحت تأثیر تغییرات عمق و عرض ترانشه قرار دارد. در شکل مشاهده می شود در حجم های برابر در حالت هایی که نسبت عمق به عرض بیشتر است مقدار  $Q_{out}$  بیشتر است. در نسبت تغییرات ۰/۵ و ۰/۷۵ ابعاد ترانشه، زمانی که عمق ثابت (عمق ۱۰ سانتیمتر) و عرض ترانشه به ترتیب ۴ و ۶ سانتیمتر در نظر گرفته شده است،  $Q_{out}$  میزان بیشتری را نشان می دهد تا زمانی که در همان حجم ترانشه عرض ثابت (عرض ۸ سانتیمتر)، عمق ترانشه ۵ و ۷/۵ سانتیمتر در نظر گرفته گرفته شده است. به همین ترتیب در نسبت تغییرات ۱/۲۵ و ۱/۵ ابعاد ترانشه، زمانی که عرض ثابت (عرض ۸ سانتیمتر) و عمق ترانشه به ترتیب ۱۰ و ۱۲/۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است،  $Q_{out}$  میزان بیشتری را نشان می دهد تا زمانی که در همان حجم ترانشه عمق ثابت (عمق ۱۰ سانتیمتر)، عرض ترانشه ۱۰ و ۱۲ سانتیمتر در نظر گرفته گرفته شده است.



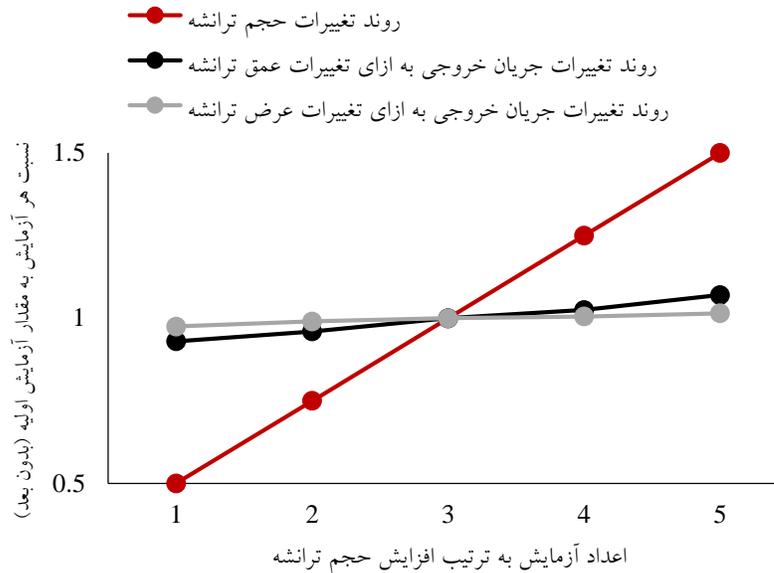
شکل ۸.  $Q_{out}$  به ازای تغییرات عمق و عرض ترانشه

در جدول (۳) برای تحلیل دقیق تر داده ها، اعداد مربوط به حداکثر دبی خروجی از ترانشه ها و حجم و سطح نفوذ ترانشه ها، بدون بعد گردید.

جدول ۳. بدون بعد کردن حداکثر دبی خروجی از ترانشه‌ها و حجم و سطح نفوذ ترانشه‌ها

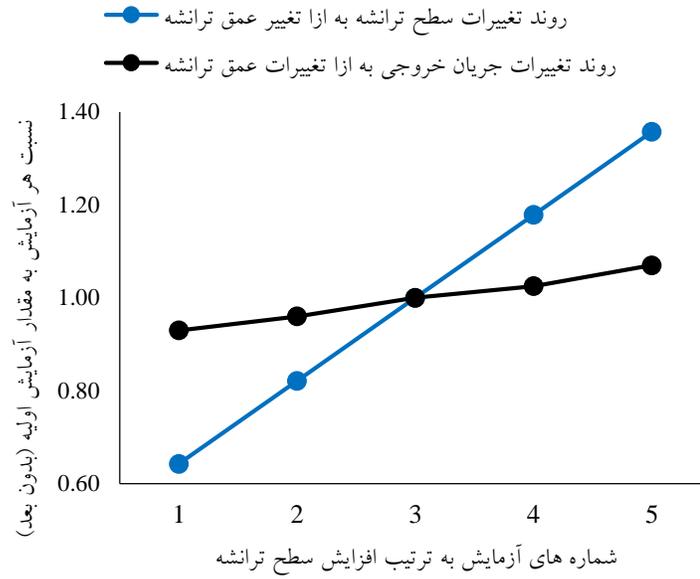
شماره آزمایش (۱)	حجم ترانشه (سانتی مترمکعب) (۲)	نسبت حجم ترانشه به ترانشه اولیه (۳)	حداکثر جریان خروجی (لیتر در دقیقه) (۴)	نسبت حداکثر جریان خروجی از ابعاد مختلف ترانشه به حداکثر خروجی از ترانشه اولیه (۵)	سطح نفوذ به ازای اعماق مختلف در عرض ترانشه ثابت (سانتی مترمربع) (۶)	نسبت ستون ۶ به سطح نفوذ ترانشه اولیه (۷)	سطح نفوذ به ازای عرض های مختلف در عمق ترانشه ثابت (سانتی مترمربع) (۸)	نسبت ستون ۸ به سطح نفوذ ترانشه اولیه (۹)
۱	۳۲۰۰	۰/۵۰	۱/۸۶	۰/۹۳	۱۴۴۰	۰/۶۴	۱۹۲۰	۰/۸۶
۲	۴۸۰۰	۰/۷۵	۱/۹۲	۰/۹۶	۱۸۴۰	۰/۸۲	۲۰۸۰	۰/۹۳
۳	۶۴۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۲۲۴۰	۱/۰۰	۲۲۴۰	۱/۰۰
۴	۸۰۰۰	۱/۲۵	۲/۰۵	۱/۰۳	۲۶۴۰	۱/۱۸	۲۴۰۰	۱/۰۷
۵	۹۶۰۰	۱/۵۰	۲/۱۴	۱/۰۷	۳۰۴۰	۱/۳۶	۲۵۶۰	۱/۱۴

در شکل (۹) روند تغییرات حجم ترانشه با روند تغییرات جریان خروجی از مدل به ازای تغییرات عمق ترانشه و همچنین تغییرات عرض ترانشه بررسی شده است. نتایج نشان داده است که شیب تغییرات حجم ترانشه نسبت به شیب تغییرات جریان خروجی متناسب نبوده و مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. شیب تغییرات حجم ترانشه ۲۰ درصد بوده در حالی شیب تغییرات جریان خروجی به ازای تغییرات عمق ترانشه ۲/۸ درصد است و شیب تغییرات جریان خروجی به ازای تغییرات عرض ترانشه ۰/۸ درصد است. این موضوع نشان دهنده این است که تغییرات عمق نسبت به تغییرات عرض ترانشه در افزایش مقدار نفوذ موثرتر است.

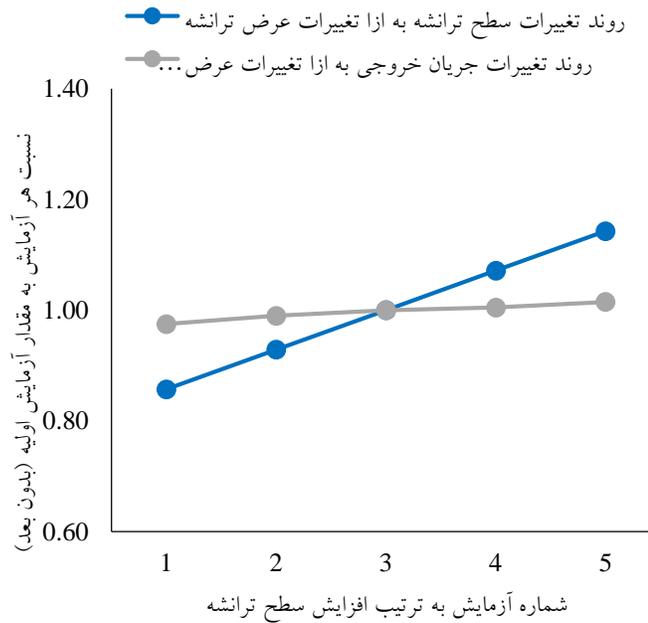


شکل ۹. بررسی روند تغییرات حجم ترانشه و روند تغییرات جریان خروجی به ازای تغییرات عمق و عرض ترانشه

همچنین تأثیرات سطح نفوذ بر میزان دبی خروجی از مخزن مورد بررسی قرار گرفت. بررسی ها نشان می دهد روند تغییرات سطح ترانشه با شیب بیشتری نسبت به روند تغییرات دبی خروجی از مدل تغییر می نماید. شیب روند تغییرات سطح ترانشه به ازای تغییر عمق ترانشه ۱۴/۲۹ درصد محاسبه شد در حالیکه شیب روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییر عمق ترانشه ۲/۸ درصد است. همچنین شیب روند تغییرات سطح ترانشه به ازای تغییر عرض ترانشه ۵/۷ درصد محاسبه شد در حالیکه شیب روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییرات عرض ترانشه ۰/۸ درصد است که در شکل های (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۰. بررسی روند تغییرات سطح نفوذ ترانشه و روند تغییرات جریان خروجی به ازای تغییرات عمق ترانشه



شکل ۱۱. بررسی روند تغییرات سطح نفوذ ترانشه و روند تغییرات جریان خروجی به ازای تغییرات عرض ترانشه

عملکرد مدل با عرض ترانشه ثابت و عمق ترانشه متغیر و همچنین عملکرد مدل با عمق ترانشه ثابت و عرض ترانشه متغیر با جریان ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه در مدت ۳۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت که به ترتیب در جداول (۴) و (۵) نتایج آنها ارائه شده است. جهت بررسی میزان عملکرد، نسبت  $V_{in}$  به  $V_{out}$  محاسبه شده است.

جدول ۴. عملکرد مدل با عرض ترانشه ثابت و عمق ترانشه متغیر با جریان ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه در مدت ۳۰ دقیقه

ردیف	عرض ترانشه (سانتی متر)	عمق ترانشه (سانتی متر)	( $V_{out}$ ) (لیتر)	( $V_{in}$ ) (لیتر)	عملکرد (درصد)
۱	۸	۵	۵۵/۸	۶۶	۸۴/۵۴
۲	۸	۷/۵	۵۷/۵۱	۶۶	۸۷/۱۳
۳	۸	۱۰	۶۰	۶۶	۹۰/۹۱
۴	۸	۱۲/۵	۶۱/۳۹	۶۶	۹۳/۰۲
۵	۸	۱۵	۶۴/۰۶	۶۶	۹۷/۰۶

جدول ۵. عملکرد مدل با عمق ترانشه ثابت و عرض ترانشه متغیر با جریان ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه در مدت ۳۰ دقیقه

ردیف	عرض ترانشه (سانتی متر)	عمق ترانشه (سانتی متر)	( $V_{out}$ ) (لیتر)	( $V_{in}$ ) (لیتر)	عملکرد (درصد)
۱	۴	۱۰	۵۸/۶۳	۶۶	۸۸/۸۴
۲	۶	۱۰	۵۹/۴۱	۶۶	۹۰/۰۱
۳	۸	۱۰	۶۰	۶۶	۹۰/۹۱
۴	۱۰	۱۰	۶۰/۴۰	۶۶	۹۱/۵۲
۵	۱۲	۱۰	۶۰/۸۱	۶۶	۹۲/۱۴

## بحث

تغذیه مصنوعی می تواند نقش مهمی در تقویت و پایداری آب زیرزمینی داشته باشد. انتخاب روش مناسب برای تغذیه مصنوعی با توجه به شرایط، حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر ابعاد ترانشه بر میزان ظرفیت نفوذ در محیط غیراشباع پرداخته شد. بدین منظور یک مدل فیزیکی ساخته شد. ابتدا آب با دبی ۲/۲ لیتر در دقیقه از لوله تراوا وارد ترانشه به عمق ۱۰ سانتی متر، عرض ۸ سانتی متر و طول ۸۰ سانتی متر شد. سپس عمق ترانشه ثابت در نظر گرفته شد و عرض ترانشه ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شد. در ادامه عرض ترانشه ثابت در نظر گرفته شد و عمق ترانشه ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شد. در همه مراحل ذکر شده دبی خروجی از مدل اندازه گیری شد.

## نتیجه گیری

نتایج نشان داد در شرایطی که عرض ترانشه ثابت و عمق آن متغیر در نظر گرفته شد در مقایسه با یعنی شرایطی که عمق ترانشه ثابت و عرض آن متغیر در نظر گرفته شده بود؛ تغییرات جریان خروجی از مدل، میزان بیشتری است. به عنوان نمونه در حالتی که عرض ترانشه ثابت در نظر گرفته شد، به ازای ۱/۵ برابر شدن عمق ترانشه حجم آب خروجی ۷ درصد افزایش یافت در صورتیکه در همان حجم ترانشه و در حالتی که عمق ترانشه ثابت در نظر گرفته شد، به ازای ۱/۵ برابر شدن عرض ترانشه حجم آب خروجی ۱/۳ درصد افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد روند تغییرات حجم ترانشه و سطح نفوذ ترانشه نسبت به روند تغییرات دبی خروجی از مدل بیشتر است. روند تغییرات حجم ترانشه نسبت به روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییر عمق ترانشه و روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییر عرض ترانشه به ترتیب ۷ و ۲۵ برابر

است. روند تغییرات سطح نفوذ ترانشه به ازای تغییر عمق ترانشه نسبت روند تغییرات دبی خروجی از مدل ۵ برابر محاسبه شد. همچنین روند تغییرات سطح نفوذ ترانشه به ازای تغییر عرض ترانشه نسبت روند تغییرات دبی خروجی از مدل ۷ برابر بدست آمد.

### منابع

افضلی، سیدحسین،، عابدینی، محمدجواد، و منجمی، پرویز. (۱۳۸۸). شبیه‌سازی جریان آب در محیط متخلخل با سطح آزاد با بهره‌گیری از مدل شبکه‌ ترکیبی ۱- آنالیز شبکه ترکیبی. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۵(۲)، ۶۲-۷۰. [https://www.iwrr.ir/article\\_15760.html](https://www.iwrr.ir/article_15760.html)

پیشرو، فاطمه، بختیاری، مرتضی، و شهینی کرمزاده، نیما. (۱۳۹۶). بررسی آزمایشگاهی شاخص‌های مکانیک خاک بر نفوذپذیری ناهمسانگرد مصالح درشت دانه غیریکنواخت: با تأکید بر دانه بندی، فاکتور شکل و تراکم. *نشریه زمین شناسی کاربردی پیشرفته*، ۷(۲)، ۵۷-۶۴. [https://aag.scu.ac.ir/article\\_13230.html](https://aag.scu.ac.ir/article_13230.html)

### References

- Abellán, A., Albaladejo-García, J.A., & Prats-Rico, D. (2017). Artificial groundwater recharge. Review of the current knowledge of the technique. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 30(1), 85-96. <http://hdl.handle.net/10045/67439>
- Afzali, S. H., Abedini, M. J., & Manjomi, P. (2010). Simulation of free surface flow in porous media using a hybrid network model: Part 1- Hybrid network analysis. *Iranian Journal of Water Resources Research*, 5(2), 70-62. [https://www.iwrr.ir/article\\_15760.html](https://www.iwrr.ir/article_15760.html) [In Persian]
- Bagarello, V., Sferlazza, S., & Sgroi, A. (2009). Testing laboratory methods to determine the anisotropy of saturated hydraulic conductivity in a sandy-loam soil. *Geoderma*, 154(1), 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.09.012>
- Beckwith, C., Baird, A., & Heathwaite, A.L. (2003). Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat. I: Laboratory measurements. *Hydrological Processes*, 17(1), 89-101. <https://doi.org/10.1002/hyp.1116>
- Detay, M., & L Bersillon, J. (2009). La réalimentation artificielle des nappes profondes: Faisabilité et conséquences. *La Houille Blanche, Revue Internationale De l'eau*, 82(4), 57-61. <https://doi.org/10.1051/lhb/1996040>
- El Mansouri, B., El Mezouary L. (2015). Enhancement of groundwater potential by aquifer artificial recharge techniques: An adaptation to climate change. *Proceedings of the Inter-National Association of Hydrological Sciences*, 366, 155-156. <https://doi.org/10.5194/piahs-366-155-2015>
- Foreman, T.L., (2014). Managed Aquifer Recharge (MAR) and Design and Construction of Hydraulic Barriers against Seawater Intrusion: The California Case. *Boletín Geológico y Minero*, 125 (2), 133-142. <http://revistas.igme.es>
- Hiscock, K.M., Balashova, N., Cooper, R.J., Bradford, P., Patrick, J., & Hullis, M. (2024). Developing managed aquifer recharge (MAR) to augment irrigation water resources in the sand and gravel (Crag) aquifer of coastal Suffolk, UK. *Journal of Environmental Management*, 35, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119639>
- Karim, I., (2018). Artificial Recharge of Groundwater by Injection Wells (Case Study). *Int. J. Sci. Eng. Technol*, 6(1), 6193-6196. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119639>
- Moulay Lhassan, S., ELBouabid, M., & Badr, B. (2019). Improvement of groundwater resources potential by artificial recharge technique: A case study of Charf El Akab aquifer in the Tangier region, Morocco. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 7(3), 224-236. <https://doi.org/10.19637/j.cnki.2305-7068.2019.03.003> shu

- Mukherjee, D., (2016). A Review on Artificial Groundwater Recharge in India. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 3(1), 57-62. <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V3I1P108>
- NAN Tian, Sh. J., & CUI Y. (2016). Column test-based features analysis of clogging in artificial recharge of groundwater in Beijing. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 4(2), 88-95. <https://doi.org/10.26599/JGSE.2016.9280011>
- Pishro, F., Bakhtiari, M., & Shahni Karamzadeh, N. (2017). Laboratory investigation of the effects of soil mechanical properties on the anisotropic permeability of coarse-grained non-uniform materials: with emphasis on gradation, shape factor, and density. *Advanced Applied Geology Journal*, 7(2), 64-57. [https://aag.scu.ac.ir/article\\_13230.html](https://aag.scu.ac.ir/article_13230.html) [In Persian]
- Pyne, R D G. (2005). Aquifer storage and recovery: A guide to groundwater recharge through wells Edition. <https://search.worldcat.org/title/aquifer-storage-recovery-a-guide-to-groundwater-recharge-through-wells/oclc/69223255>
- Rognon, P. (2000). Comment développer la recharge artificielle des nappes en régions sèches. *Sécheresse*, 11(4), 289-296. <http://geoprodig.cnrs.fr/items/show/53639>
- Scanlon, B., Keese, K., Flint, A., Flint, L., Gaye, C., Edmunds, W., & Simmers, I. (2006). Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrol. Process*, 20(15), 3335–3370. <https://doi.org/10.1002/hyp.6335>
- Sebbar, A. (2013). Etude de la variabilité et de l'évolution de la pluviométrie au Maroc (1935-2005): Réactualisation de la carte des précipitations. Thèse national, Université Hassan II Mohammedia-Casablanca, Maroc. [https://scholar.google.se/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=th&user=2Q5ckukAAAAJ&citation\\_for\\_view=2Q5ckukAAAAJ:zYLM7Y9cAGgC](https://scholar.google.se/citations?view_op=view_citation&hl=th&user=2Q5ckukAAAAJ&citation_for_view=2Q5ckukAAAAJ:zYLM7Y9cAGgC)



## Uncertainty analysis of DSSAT plant model parameters in estimating cotton yield using GLUE

Alireza Akbari<sup>1</sup> , Mohsen Pourreza Bilondi,<sup>2</sup> , Abbas Khashei-siuki<sup>3</sup> , Mahdi kalanaki<sup>4</sup> ,  
Ameneh Mianabadi<sup>5</sup> 

<sup>1</sup> Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: [alirezaakbari11374@gmail.com](mailto:alirezaakbari11374@gmail.com)

<sup>2</sup> Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: [mohsen.pourreza@birjand.ac.ir](mailto:mohsen.pourreza@birjand.ac.ir)

<sup>3</sup> Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: [abbaskhashei@birjand.ac.ir](mailto:abbaskhashei@birjand.ac.ir)

<sup>4</sup> Department of Irrigation and Drainage, Joint Cooperation Program, Imam Khomeini International University (IKIU) and Wageningen University and Research (WUR), Imam Khomeini University, Qazvin, Iran. E-mail: [kalanaki\\_mahdi@yahoo.com](mailto:kalanaki_mahdi@yahoo.com)

<sup>5</sup> Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman. Iran. E-mail: [a.mianabadi@kgut.ac.ir](mailto:a.mianabadi@kgut.ac.ir)

### ABSTRACT

Simulation models are widely used by users in different fields. One of famous category of these models is plant growth models, which significantly assist agricultural specialists in optimizing different parameters influencing plant growth. Since the calibration of model parameters may not adequately analyze and identify their actual values, the need of studies related to uncertainty analysis of model parameters beside their calibration has become an unavoidable requirement in recent decades. This research examined the uncertainty of ecotype parameters in the DSSAT plant model for cotton using the GLUE algorithm, which is based on Monte Carlo simulation. Some parameters used in this model were kept constant and set to reasonable, pre-determined values (available in the software's technical guide). Observed performance data from four irrigation treatments of this crop were utilized to obtain the posterior distribution of the parameters. A comparison of this results with a similar previous simulation conducted in the same study area (Ghorbani Baravati et al., 2023), which focused only on parameter calibration, indicates a significant and satisfactory superiority of the GLUE algorithm linked through a coded written in the MATLAB environment.

**Keywords:** uncertainty, Monte Carlo, crop model, Birjand

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 07 July 2024 Revised: 12 September 2024 Accepted: 01 October 2024 ePublished: 21 December 2024

### 1. Introduction

Crop growth simulation models are extensively used for various agricultural studies, including optimal crop selection, irrigation management, and assessing climate change impacts. Among these models, the DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) is particularly prominent for its ability to simulate growth, yield, and other dynamics for 34 different crops. The DSSAT model integrates various components such as soil, weather, crop management, and genetic factors to provide comprehensive insights into crop performance (Jones et al., 2003). Accurate parameter calibration in this model is crucial for reliable simulations. However, the inherent variability and uncertainty in parameter values pose significant challenges. Uncertainty can arise from various sources, including measurement errors, spatial and temporal variability, and model structure. Addressing these uncertainties is essential to enhance the reliability and accuracy of the model predictions. The Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE) algorithm offers a robust framework for quantifying and incorporating parameter uncertainty into model simulations (Beven & Binley, 1992). In this study, we focus on the application of the GLUE algorithm to the DSSAT model for cotton, aiming to improve the model's predictive accuracy by accounting for parameter uncertainty. We utilize observational data from different irrigation treatments to calibrate the model and evaluate the posterior probability distributions of the parameters.

### 2. Materials and Methods

The study used data from a 2009 experiment conducted at the Birjand University research farm. The DSSAT v4.5 model was employed, requiring inputs such as weather, soil properties, and crop management data. Four irrigation treatments (50%, 75%, 100%, and 125% of crop water requirement) were tested to evaluate the GLUE algorithm's performance in estimating model parameters.

### 3. Results and discussion

The results demonstrated that the GLUE algorithm effectively estimated the probability distributions of the DSSAT model parameters for cotton. The algorithm's performance was compared with previous models lacking uncertainty assessments, showing significant improvements in simulation accuracy (Qasemi et al., 2019). The findings highlighted the importance of considering parameter uncertainty for better

---

predictive accuracy and model reliability.

#### 4. Conclusions

The GLUE algorithm, through Monte Carlo simulations, provides a robust method for assessing and incorporating parameter uncertainty in crop growth models like DSSAT. This approach enhances the model's reliability in predicting crop performance under varying conditions, which is crucial for agricultural planning and management.

#### 5. References

- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijssman, A.J., & Ritchie, J. T. (2003). *The DSSAT cropping system model*. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 235-265. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)
- Beven, K., & Binley, A. (1992). The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological Processes*, 6(3), 279-298. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360060305>
- Qasemi, M., Darzi-Naftchali, A., & Kamgar-Haghighi, A. A. (2019). Parameterization and evaluation of DSSAT/CANEGRO model for sugarcane under Khuzestan climatic conditions using GLUE method. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(5), 1199-1210. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2010.0302>

#### 6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

---

**Cite this article:** Akbari, A., Pourreza Bilondi, M., khashei-siuki, A., Kalanaki, M., & Mianabadi, A. (2024). Uncertainty analysis of DSSAT plant model parameters in estimating cotton yield using GLUE, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(4), 19-34. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10960.1135>

**Publisher:** Razi University

© The Author(s)





## بررسی عدم قطعیت پارامترهای مدل گیاهی DSSAT در بر آورد عملکرد گیاه پنبه با استفاده از روش GLUE

علیرضا اکبری<sup>۱</sup>، محسن پوررضا بیلندی<sup>۲</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۳</sup>، مهدی کلانکی<sup>۴</sup>، آمنه میان آبادی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم ومهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: alirezaakbari11374@gmail.com

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، گروه علوم ومهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: mohsen.pourreza@birjand.ac.ir

<sup>۳</sup> گروه علوم ومهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: abbaskhashei@birjand.ac.ir

<sup>۴</sup> گروه آبیاری و زهکشی، برنامه همکاری مشترک دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) و دانشگاه واخنینگن هلند، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: kalanaki\_mahdi@yahoo.com

<sup>۵</sup> گروه اکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

رایانامه: a.mianabadi@kgut.ac.ir

### چکیده

امروزه مدل های شبیه سازی در همه علوم به وفور توسط کاربران مورد استفاده قرار می گیرد. دسته ای از این مدل ها، مدل های شبیه سازی رشد گیاهی هستند که به متخصصین کشاورزی در بهینه کردن فاکتورهای مختلف تأثیرگذار بر رشد گیاه کمک فراوانی می کند. از آنجا که واسنجی پارامترهای مدل های شبیه سازی به تنهایی نمی تواند مقدار مناسب برای آنها را تحلیل کند فلذا در دهه اخیر به ضرورت مطالعات مرتبط با تحلیل عدم قطعیت پارامترهای مدل در کنار واسنجی آنها ضرورتی اجتناب ناپذیر است. در این تحقیق عدم قطعیت پارامترهای اکو تاییپی مدل گیاهی DSSAT برای گیاه پنبه توسط الگوریتم GLUE که مبتنی بر شبیه سازی مونت کارلو است مورد بررسی قرار گرفت. سایر پارامترهای مورد استفاده این مدل ثابت و برابر با مقادیر معقول و از پیش تعیین شده (موجود در راهنمای فنی نرم افزار) در نظر گرفته شد. از داده های مشاهده شده عملکرد در ۴ تیمار آبیاری این محصول جهت بدست آوردن توزیع پسین احتمالاتی پارامترها و سایر مقادیر معیارهای ارزیابی عملکرد استفاده شد. مقایسه نتایج این معیارها با شبیه سازی مشابه قبلی انجام شده در همین منطقه مورد مطالعه توسط قربانی برواتی و همکاران (۱۴۰۲) که صرفاً به واسنجی پارامترها پرداخته بود، نشان از برتری محسوس و قابل قبول الگوریتم GLUE لینک شده توسط رابط کدنویسی شده در محیط Matlab می دهد.

**واژه های کلیدی:** عدم قطعیت، مونت کارلو، مدل گیاهی، بیرجند

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**سابقه مقاله:** دریافت: ۱۷ تیر ۱۴۰۳ اصلاح: ۲۲ شهریور ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۰ مهر ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ دی ۱۴۰۳

**استناد:** اکبری، ع، پوررضا بیلندی، م، خاشعی سیوکی، ع، کلانکی، م، و میان آبادی، آ. (۱۴۰۳). بررسی عدم قطعیت پارامترهای مدل گیاهی DSSAT در بر آورد عملکرد گیاه پنبه با استفاده از روش GLUE، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۴(۴)، ۱۹-۳۴.

<https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10960.1135>



## مقدمه

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برای انجام مطالعات مختلف از جمله انتخاب گیاه و رقم مناسب، تعیین ویژگی‌های گیاهی، تعیین بهترین مدیریت زراعی، تعیین آبیاری بهینه، مدیریت مصرف آب، پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصول و تخمین عملکرد بالقوه به کار می‌روند (مارین و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). مدل‌های گیاهی با در نظر گرفتن اثرات متقابل بین پارامترها و متغیرهای ورودی مربوط به خاک، آب، هوا و گیاه به شبیه‌سازی مراحل رشدی گیاه می‌پردازند (لی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸). خروجی این مدل‌ها می‌تواند به مدیریت و برنامه‌ریزی‌های بهتر برای تولید مناسب و بهینه محصولات کشاورزی کمک کند (فرشی و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۸۷، پانگ و له تی<sup>۴</sup>، ۱۹۹۸، و زندپارسا و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶). از این مدل‌ها می‌توان برای کاربردهای مختلفی از جمله طراحی الگوی کاشت بهینه، تعیین عوامل مدیریتی مناسب، تناسب شرایط رشد گیاه با شرایط محیط و برنامه‌های اصلاحی گیاهان زراعی استفاده نمود (بنایان و همکاران، ۱۳۹۱). تاکنون مدل‌های زیادی برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان توسعه یافته است (لندیوار و همکاران<sup>۶</sup>، ۱۹۸۳، سلطانی و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۴، ون اویجن<sup>۸</sup>، ۲۰۰۲، ویسلر و همکاران<sup>۹</sup>، ۱۹۸۶) که از آن میان می‌توان به مدل‌های DSSAT (جونز و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۳)، APSIM (کیتینگ و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۳)، STICS (بریسون و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۳) و AquaCrop (وانویترخت و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۴) اشاره کرد. یکی از مدل‌هایی که برای شبیه‌سازی رشد گیاه استفاده می‌شود مدل سیستم پشتیبانی تصمیم برای انتقال فناوری کشاورزی (DSSAT<sup>۱۴</sup>) است. مدل DSSAT برنامه کاربردی است که شامل مدل‌های شبیه‌سازی رشد برای ۳۴ گیاه است. این مدل با استفاده از طیف وسیعی از برنامه‌های آب‌وهوا، خاک، ژنتیک، مدیریت گیاه و مجموعه داده‌های تجربی پشتیبانی می‌شود و طول دوره رشد، عملکرد، دینامیک سیستم ریشه، تأثیر آب موجود در خاک و نیتروژن موجود در خاک بر فتوسنتز، تعادل کربنی و تعادل آبی را شبیه‌سازی می‌کند (جونز و همکاران، ۲۰۰۳). مدل DSSAT اگر به خوبی واسنجی و ارزیابی شده باشد، برای شبیه‌سازی استراتژی‌های مدیریت زراعی و آبیاری کارآمد مفید است (گریبای و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۹). نمونه تحقیق خاتا و همکاران<sup>۱۶</sup> (۲۰۲۳) در ایالت تامیل نادو هندوستان مثال خوبی از یک واسنجی و صحت سنجی این مدل برای گیاه پنبه است که نتایج قابل قبولی را ارائه داد. برای واسنجی مدل باید ضرایب ژنتیکی برای ارقام جدید تعیین شود که این کار با کمک بخش GENCALC امکان‌پذیر است. این مدل شامل مجموعه‌ای از برنامه‌های مستقل بوده که با یکدیگر کار می‌کنند و مدل‌های رشد گیاهی در مرکز آن قرار دارند. در این مدل پایگاه‌های داده آب‌وهوا، خاک، شرایط آزمایش، اندازه‌گیری‌ها و اطلاعات ژنتیکی برای به‌کارگیری مدل در وضعیت‌های مختلف، توصیف می‌شود و بنابراین می‌توان اثرات مختلف رطوبت و یا اقلیم را بر روی پارامترهای مدل بررسی کرد (کومار و همکاران<sup>۱۷</sup>، ۲۰۲۳).

<sup>1</sup> Marin et al

<sup>2</sup> Li et al

<sup>3</sup> Farshi et al

<sup>4</sup> Pang & Letey

<sup>5</sup> Zand-Parsa et al

<sup>6</sup> Landivar et al

<sup>7</sup> Soltani et al

<sup>8</sup> van Oijen

<sup>9</sup> Whisler et al

<sup>10</sup> Jones et al

<sup>11</sup> Keating et al

<sup>12</sup> Brisson et al

<sup>13</sup> Vanuytrecht et al

<sup>14</sup> Decision Support System for Agrotechnology Transfer

<sup>15</sup> Garibay et al

<sup>16</sup> Khatua et al

<sup>17</sup> Kumar et al

افزایش پیچیدگی مدل‌های گیاهی می‌تواند شبیه‌سازی بهتر و دقیق‌تری از خصوصیات گیاهان ارائه دهد، اما از طرفی ارزیابی آن‌ها نیز با چالش مواجه می‌شود. با وجود عمومیت کاربرد مدل‌های گیاهی، در صورتی که نتوان مقدار بهینه برای پارامترهای آنها تعیین نمود، کاربرد آنها با مشکل مواجه می‌شود؛ بنابراین برای حصول نتایج قابل اطمینان از مدل‌ها باید میزان عدم قطعیت خروجی و پارامترهای کلیدی آنها تعیین شده و مورد بررسی قرار گیرد. دو جزء اصلی مدل‌های گیاهی فیزیک مدل و مقادیر پارامترهای مدل است (گاردنر و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۰) که در تعیین میزان کارایی مدل نقش به‌سزایی دارند و اهمیت آن‌ها زمانی که از مدل‌ها برای پیش‌بینی تولید گیاه در زمان‌ها و مکان‌های متفاوت استفاده می‌شود، بیشتر خواهد شد. باتوجه به اینکه اغلب مدل‌های گیاهی به پارامترهای ورودی زیادی نیاز دارند و اندازه‌گیری همه این پارامترها در همه جا امکانپذیر نیست و همچنین باتوجه به تغییرپذیری مکانی و زمانی پارامترها، تعیین این مقادیر و بررسی عدم قطعیت آنها برای هر منطقه با استفاده از روش‌های مناسب اهمیت بسیاری در افزایش دقت خروجی مدل‌ها دارد. تورلی و فورد<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) عدم قطعیت را به معنی نبود یا کمبود اطلاعات درباره وضعیت موجود و یا نتایج یک فرایند تعریف کرده‌اند. در فرایند مدل-سازی به دلیل ساده‌سازی فرآیندها و فرضیات استفاده شده نتایج شبیه‌سازی کاملاً با واقعیت مطابقت ندارد و بنابراین تفاوت بین نتایج مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده یا مشاهده شده نشان از عدم قطعیت مدل باشد. منابع این عدم قطعیت می‌تواند شامل کمبود اطلاعات و داده‌های ورودی، خطا در داده‌های ورودی و یا تغییرپذیری ساختار و پارامترهای مدل باشد (تورلی و فورد، ۲۰۰۹).

همان‌طور که ذکر شد یکی از منابع عدم قطعیت مدل‌ها، پارامترهای مدل‌هاست که این پارامترها قبل از استفاده از مدل باید در فرایند واسنجی بر اساس میزان مطابقت خروجی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده تخمین زده شود (ژیوی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱). اما پارامترهایی که از طریق واسنجی به دست می‌آیند نیز ممکن است تحت تأثیر عدم قطعیت ناشی از داده‌های ورودی، ساختار مدل، داده ناکافی و نادقیق، دانش ناکافی یا اطلاعات ناقص باشند (بیون<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷). در چنین شرایطی یافتن یک سری منحصر به فرد برای پارامترهای بهینه امکان‌پذیر نیست. به طوری که سری‌های مختلف پارامترها می‌تواند نتایج یکسانی در روند واسنجی داشته باشد و نمی‌توان یک سری پارامتر یکتا را به عنوان پارامترهای واسنجی شده در شبیه‌سازی به کاربرد. علاوه بر این، با فرض یافتن سری بهینه در دوره واسنجی، عدم قطعیت در پارامترهای مدل باعث می‌شود که شبیه‌سازی برای دوره‌ای غیر از دوره واسنجی قابل اطمینان نباشد (سیوان و بورک<sup>۵</sup>، ۱۹۹۴، هاپکینز و لیپولد<sup>۶</sup>، ۱۹۹۶). در این شرایط برای واسنجی پارامترهای مدل باید روشی را انتخاب نمود که به جای تخمین یک مقدار منحصر به فرد برای پارامترهای مدل، تابع توزیع آنها را بر اساس داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل نشان دهد. باتوجه به اهمیت عدم قطعیت پارامترهای مدل، روش‌های متعددی باهدف کمی‌سازی آن ارائه شده است که یکی از این روش‌ها، روش عمومی عدم قطعیت تشابهات (GLUE<sup>۷</sup>) است که توسط بیون و بینلی<sup>۸</sup> (۱۹۹۲) توسعه یافت. در این روش با فرض پذیرش این که پارامترهای بهینه منحصر به فرد (یکتا) وجود ندارد، با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو چندین سری پارامترهای مختلف ایجاد شده، نتایج حاصل از سری‌های مختلف بر اساس نسبت اعتمادشان وزن گرفته و سپس از این وزن‌ها برای تعیین توزیع احتمالاتی پیش‌بینی استفاده می‌شود.

### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

روش GLUE مورد استفاده بسیاری از محققان در مدل‌سازی‌ها قرار گرفته است که دلیل آن سادگی مفهوم، کاربرد و اجرای آن است (بلاسون و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۸). مطالعاتی نیز برای واسنجی مدل DSSAT با روش GLUE انجام شده است که به برخی از آنها اشاره

<sup>1</sup> Gardner et al

<sup>2</sup> Turley & Ford

<sup>3</sup> Zhiwei et al

<sup>4</sup> Beven

<sup>5</sup> Sievänen & Burk

<sup>6</sup> Hopkins & Leibold

<sup>7</sup> Generalized Likelihood Uncertainty Estimation

<sup>8</sup> Beven & Binley

<sup>9</sup> Blasone et al

می‌شود. در ایران قاسمی و همکاران (۱۳۹۸) به واسنجی و ارزیابی مدل DSSAT/CANEGRO برای نیشکر رقم CP۶۱۴-۵۷ در شرایط اقلیمی خوزستان با استفاده از روش GLUE پرداختند. مدل CANEGRO دارای ۲۰ پارامتر ژنتیکی است که به‌منظور کاهش تعداد آن‌ها، واسنجی انجام شد. مقایسه پیش‌بینی‌ها و شبیه‌سازی‌های مدل نشان داد که راندمان مدل برای وزن خشک هوایی برابر با ۰/۶۹ تا ۰/۷۵، وزن خشک ساقه برابر با ۰/۶۷ تا ۰/۷ تا ۰/۷ و ساکارز برابر با ۰/۱۸ تا ۰/۲۵ است.

لی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۸) به برآورد پارامترهای ژنتیکی مدل DSSAT/CERES-Wheat با روش GLUE برای تولید گندم زمستانه پرداختند. در این مطالعه، داده‌های میدانی تجربی از طریق مجموعه‌ای از آزمایش‌های میدانی پنج ساله (۲۰۰۸-۲۰۱۳) در یک سایت میدانی در یکن، چین جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که روش GLUE می‌تواند پارامترهای ژنتیکی گندم شامل شاخص سطح برگ شبیه سازی شده (LAI)، زیست توده بالای زمین (AGB)، نیتروژن بالای زمین (AGN) و عملکرد دانه (GY) را به دقت برآورد کند. بودهابون و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) مدل CERES-Rice را استفاده کردند و ضرایب ژنتیکی مدل را با استفاده از روش GENCALC و GLUE تخمین زدند که نتایج آنها نشان داد مقدار RMSE نرمال شده برای شبیه‌سازی تاریخ گرده‌افشانی، تاریخ رسیدگی و وزن دانه با روش GLUE به ترتیب ۳/۶۷، ۲/۵ و ۳/۶۸ و با روش GENCALC به ترتیب ۳/۹۷، ۳/۶۹ و ۳/۶۸ به دست آمد که نشان از برتری نسبی روش GLUE دارد. جونز و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از روش GLUE پارامترهای مدل DSSAT را برای دو رقم ذرت و سویا در اسپانیا تخمین زدند. نتایج آنها نشان دهنده تخمین بهتر پارامترها با روش GLUE (خطای نسبی زیر ۱۰٪) نسبت به مقادیر پیش‌فرض و مقادیر تخمین زده شده با سعی و خطا (خطای نسبی بالای ۱۰٪) بود. مارین و همکاران (۲۰۱۱) از مدل DSSAT/CANEGRO برای تخمین شاخص سطح برگ، ماده خشک، میزان ساکاروز و محتوی آب خاک برای گیاه نیشکر در برزیل استفاده کردند. پارامترهای مدل با روش GLUE تخمین زده شد. نتایج حاصل نشان از دقت مناسب مدل در تخمین متغیرهای مورد بررسی داشت. هی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) از مدل CERES-Maize از DSSAT استفاده کردند و پارامترهای مدل را برای ذرت شیرین در کالیفرنیا شمالی با روش GLUE تخمین زدند. نتایج ایشان نشان داد که مدل پس از واسنجی با روش GLUE پیش‌بینی مناسبی از عملکرد ماده خشک، تاریخ گرده‌افشانی و تاریخ برداشت ارائه داد (خطای نسبی ۴/۴ درصد برای سال ۲۰۰۵ و ۲/۴ درصد برای سال ۲۰۰۶). پارامترهای خاک نیز با دقت مناسبی تخمین زده شد.

بنا به آنچه ذکر شد، هدف مطالعه حاضر تخمین پارامترهای مدل DSSAT و بررسی عدم قطعیت آن در شبیه‌سازی رشد پنبه (رقم ورامین) با استفاده از روش GLUE است. به این منظور از پژوهشی که برای شبیه‌سازی رشد این محصول در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند و با استفاده از مدل CERES-COTTON نسخه 4.5 DSSAT انجام شده بود، استفاده شد.

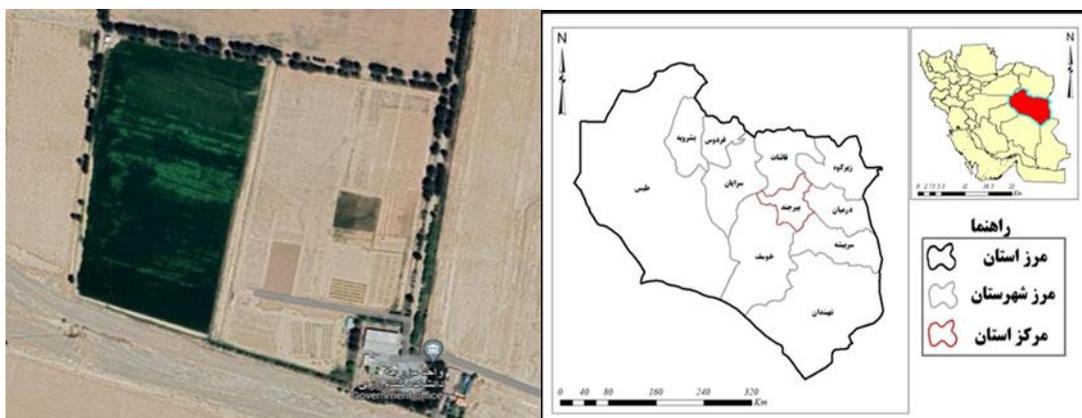
### روش پژوهش

در این تحقیق از مطالعه انجام شده در سال ۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند با عرض جغرافیایی ۵۳° و ۳۲° شمالی و طول جغرافیایی ۱۳° و ۵۵° شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا استفاده شد (قربانی برواتی و همکاران، ۱۴۰۲). بر اساس اطلاعات ایستگاه همدیدی بیرجند، میانگین بارش سالانه در منطقه ۱۷۰ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین بارش ماهیانه آن در اسفند ماه به میزان ۴۲/۳ میلی‌متر به‌وقوع پیوسته است.

<sup>1</sup> Lei et al

<sup>2</sup> Buddhagoon et al

<sup>3</sup> He et al



شکل ۱. موقعیت مزرعه مورد مطالعه (مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند)

انتخاب و آماده‌سازی قطعه زمین مناسب برای اجرای طرح در اوایل مهرماه ۱۳۸۸ انجام پذیرفت. مراحل کاشت، داشت و برداشت محصول پنبه از ۸ اردیبهشت ماه ۱۳۸۹ لغایت ۱۰ آبان ۱۳۸۹ ادامه داشت. میزان آبیاری بر اساس محاسبه نیاز آبی گیاه پنبه تعیین و اعمال شد. برای بررسی اثر تنش آبی بر عملکرد پنبه، چهار تیمار آبیاری شامل I۱، I۲، I۳ و I۴ به ترتیب معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد عمق آب موردنیاز گیاه، در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در مطالعه فوق رقم ورامین کشت شد.

### مدل DSSAT

در این تحقیق از مدل DSSAT نسخه 4.5 استفاده شده است. این مدل توسط مؤسسه ICASA<sup>1</sup> و در سال ۲۰۱۲ میلادی ارائه شد. برای اجرای مدل DSSAT اطلاعات آب و هوا، خاک، مدیریت زراعی و رقم زراعی به‌عنوان ورودی‌های مدل موردنیاز است که باید به شکل فایل‌های سازماندهی مشخص شده در اختیار مدل قرار گیرد. فایل ورودی X شامل اطلاعات مدیریت زراعی است که توسط زیر مدل XBUILD به مدل ارائه می‌شود. فایل اطلاعات خاکشناسی نیز با استفاده از زیرمدل SBUILD وارد مدل می‌شود. اطلاعات هواشناسی که از ایستگاه هواشناسی بیرجند اخذ شد، توسط زیر مدل Weather Man برای مدل تعریف می‌شود. فایل A شامل مشخصات تولیدی گیاه از جمله عملکرد نهایی، ماده خشک نهایی، حداکثر شاخص سطح برگ تولیدی و فایل T برای روند تغییرات صفات در طول زمان رشد نیز از جمله فایل‌های مورد استفاده در مدل است.

### داده‌های موردنیاز

داده‌های موردنیاز برای اجرای مدل DSSAT شامل داده‌های هواشناسی، ویژگی‌های خاک محل آزمایش و اطلاعات مربوط به عملکرد و فنولوژی مشاهداتی گیاه (مدیریت گیاه) است. داده‌های هواشناسی شامل دمای روزانه حداکثر، بارش و تابش خورشیدی روزانه و اطلاعات خاک شامل درصد رس، سیلت، سنگ‌ریزه، اسیدیته و کربن آلی موجود در خاک است. داده‌های مدیریت گیاه شامل نام مؤسسه و ایستگاه تحقیقاتی به اختصار، سال و شماره آزمایش، نوع گیاه کشت شده، کد مزرعه پژوهشی، فایل‌های خاک و هواشناسی ساخته شده در هر یک از مراحل قبل، پارامترهای آنالیز خاک مثل چگالی ظاهری، رطوبت، درصد کربن آلی، نوع رقم کشت شده، تاریخ کاشت و جوانه‌زنی، روش کاشت و توزیع دانه‌ها در زمین، تراکم دانه‌ها در هنگام کاشت و جوانه‌زنی، فاصله بین ردیف‌ها، عمق کاشت، تاریخ، حجم آب مورد استفاده برای هر آبیاری، روش آبیاری، راندمان آبیاری، روش مورد استفاده برای کوددهی به زمین، تاریخ برداشت، مشخص نمودن مرحله‌ای از رشد که برداشت صورت می‌گیرد، انتخاب نوع تیمارهای مورد بررسی در تحقیق از میان اطلاعات ورودی، انتخاب تاریخ شروع شبیه‌سازی و گزینش پارامترهای دلخواه جهت شبیه‌سازی است.

<sup>1</sup> International Crop Architecture Standards for Agricultural Applications

### مراحل اجرای روش GLUE برای تحلیل عدم قطعیت مدل DSSAT

در این مطالعه از روش GLUE (که در بخش مقدمه توضیح داده شد) برای واسنجی مدل DSSAT و تحلیل عدم قطعیت پارامترها استفاده شد. در روش GLUE ابتدا برای هر پارامتر تابع توزیع احتمال اولیه (تابع توزیع پیشین) انتخاب می‌شود که این تابع توزیع می‌تواند یکنواخت و یا هر تابع مناسب برازش داده شده دیگری نیز باشد. سپس با اجرای روش GLUE تابع توزیع جدیدی برای پارامترهای مدل به دست می‌آید که به آن تابع توزیع پسین گفته می‌شود (ماکوسکی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶). در این مطالعه برای پارامترهای مدل پیشنهادی تابع توزیع پیشین یکنواخت در نظر گرفته شد. سپس باید بردار مجموعه پارامترها باتوجه به تعداد پارامترها تعیین شده و  $N$  عدد از مجموعه پارامترها از تابع توزیع پیشین به طور تصادفی انتخاب شود. به این منظور در این مطالعه از روش نمونه‌گیری مربع لاتین<sup>۲</sup> (LHS) استفاده شد. روش LHS (مک کی و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۷۹) با نمونه‌گیری در فواصل مساوی در فضای پارامترها باعث کاهش واریانس و افزایش دقت شبیه‌سازی مونت‌کارلو بدون نیاز به افزایش نمونه‌ها می‌شود. در این مطالعه ۱۰۰ هزار نمونه برای اجرای مدل انتخاب شد. پس از آن باید با  $N$  انتخاب انجام شده، مدل موردنظر را اجرا نموده و بر اساس شبیه‌سازی مدل و مقادیر واقعی تابع درست‌نمایی (likelihood) را محاسبه نمود. در این مطالعه رابطه معکوس واریانس خطا (بیون و باینلی، ۱۹۹۲) به‌عنوان معیار درست‌نمایی استفاده شده است.

$$L = \left( \frac{\sum_{j=1}^n (O_j - Y(\theta_i))^2}{n-2} \right)^{-1} \quad (1)$$

در این رابطه  $L$  معیار درست‌نمایی،  $O_j$  مقادیر اندازه‌گیری شده،  $\theta_i$  مجموعه نام پارامترها (هر مجموعه پارامتر مشتمل بر کل پارامترهایی هست که در پروسه واسنجی به کار می‌رود)،  $Y(\theta_i)$  مقدار برآورد شده توسط مدل و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد. هرچه مقدار درست‌نمایی بزرگتر باشد، تطابق بیشتری بین مقادیر اندازه‌گیری و مقادیر برآورد شده وجود دارد.

پس از محاسبه تابع درست‌نمایی، با مرتب‌کردن نزولی مقادیر درست‌نمایی و با در نظر گرفتن آستانه قابل‌پذیرش<sup>۴</sup>، درصدی از ۱۰۰ هزار تکرار مدل که منجر به بهترین شبیه‌سازی (بیشترین مقدار درست‌نمایی) شده‌اند، به‌عنوان مجموعه پارامترهای قابل قبول انتخاب می‌شود. در این مطالعه آستانه قابل‌پذیرش یک درصد در نظر گرفته شد. پس از انتخاب مجموعه پارامترهای قابل قبول، با محاسبه وزن‌های درست‌نمایی (معادله (۲))، عدم قطعیت خروجی مدل محاسبه می‌شود.

$$p_i = \frac{L_i}{\sum_{i=1}^k L_i} \quad (2)$$

در این معادله  $p_i$  وزن درست‌نمایی مجموعه پارامتر نام و  $k$  تعداد مجموعه پارامترهای قابل قبول می‌باشد. مقادیر  $p_i$  که مجموع آن‌ها برابر یک می‌باشد تابع چگالی احتمال را می‌دهند. در نهایت با محاسبه بازه اطمینان ۹۵٪ محدوده عدم قطعیت پیش‌بینی مدل در روش GLUE محاسبه می‌شود که تقریبی از همه انواع منابع خطای شبیه‌سازی می‌باشد (وروخ و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۸). تمام مراحل فوق با ارتباط دادن مدل گیاهی DSSAT و کد GLUE در محیط برنامه نویسی MATLAB اجرا شد.

<sup>1</sup> Makowski et al

<sup>2</sup> Latin Hypercube Sampling

<sup>3</sup> McKay et al

<sup>4</sup> Acceptable Sample Rate

<sup>5</sup> Vrugt et al

### معیارهای ارزیابی عدم قطعیت

برای تولید محدوده اطمینان ۹۵ درصد، ۲/۵ درصد از حدود بالا و پایین داده‌های شبیه سازی شده به‌عنوان داده‌های شبیه سازی شده پرت حذف شدند و حدود باقیمانده به‌عنوان محدوده اطمینان ۹۵ درصد به دست آمد. برای تحلیل کمی عدم قطعیت از معیارهای  $P_{CI}$  و  $d$  استفاده شد.

$$P_{CI} = \frac{NQ_{observed}}{NQ_{ALL}} \times 100 \quad (۳)$$

در معادله ۶  $P_{CI}$  درصد قرارگیری داده‌های اندازه‌گیری شده در محدوده اطمینان ۹۵ درصد،  $NQ_{observed}$  تعداد داده‌های مشاهداتی که در بازه اطمینان قرار گرفته‌اند و  $NQ_{ALL}$  تعداد کل داده‌های مشاهداتی است. طبق این رابطه معیار  $P_{CI}$  بر حسب درصد بیان می‌شود و هر چه قدر عدد به دست آمده از این شاخص به 100 نزدیک‌تر باشد نشان دهنده دقت بالاتر شبیه‌سازی مدل است. رابطه زیر نحوه محاسبه معیار  $d$  را نشان می‌دهد. تغییرات معیار  $d$  بین صفر و یک است و هرچه قدر مقدار آن به صفر نزدیکتر باشد نشان‌دهنده شبیه‌سازی مناسب است.

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\text{limit}_{U,i} - \text{limit}_{L,i}}{Q_{O,i}} \quad (۴)$$

در این معادله  $\text{limit}_{U,i}$  حد بالای محدوده اطمینان در  $i$  امین مقدار شبیه‌سازی،  $\text{limit}_{L,i}$  حد پایین محدوده اطمینان در  $i$  امین مقدار شبیه سازی،  $Q_{O,i}$  مقداری که برای متغیر موردنظر مشاهده شده است و  $n$  تعداد کل داده‌های اندازه‌گیری شده است. معیار  $d$  پهنای نرمال شده محصور بین حد بالا و پایین متغیر شبیه‌سازی شده در سطح اطمینان موردنظر است.

### معیارهای ارزیابی مدل

برای ارزیابی نتایج مدل DSSAT از سنج‌های آماری ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین خطا (ME) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) استفاده شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_o - x_m)^2}{\sum_{i=1}^n (x_o - \bar{x}_o)^2} \quad (۵)$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (x_m - x_o)}{n} \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_m - x_o)^2}{n}} \quad (۷)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{(\bar{x}_o)} \quad (۸)$$

که در این روابط  $X_m$  مقادیر شبیه‌سازی شده،  $X_0$  مقادیر مشاهده شده،  $n$  تعداد کل مشاهدات و  $\bar{X}_0$  مقدار متوسط متغیر مشاهده شده است.

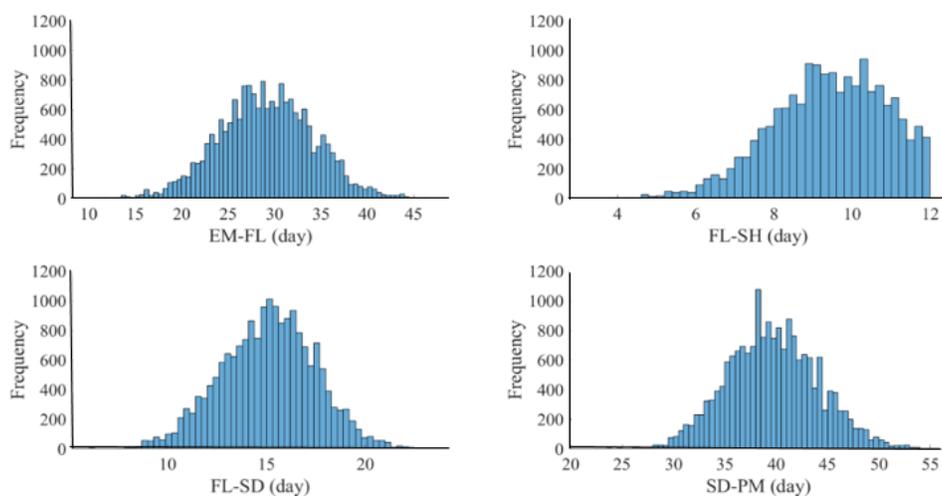
### یافته‌ها

در این مطالعه برای ارزیابی عدم قطعیت پارامترهای مدل DSSAT، ۴ پارامتر اکوتایپی<sup>۱</sup> شامل زمان بین جوانه‌زنی گیاه و ظهور گل (EM-FL)، زمان بین اولین گل و اولین غلاف (FL-SH)، زمان بین اولین گل و اولین بذر (FL-SD) و زمان بین اولین بذر و بلوغ فیزیولوژی (SD-PM) انتخاب شدند و بقیه پارامترها ثابت در نظر گرفته شدند. برای اجرای الگوریتم GLUE، تابع توزیع پیشین این ۴ پارامتر به صورت تابع یکنواخت و با حد بالا و پایین به شرح جدول (۱) انتخاب شد. بر این اساس مقدار EM-FL بین ۱۰ تا ۵۵ روز، مقدار FL-SH بین ۱ تا ۱۲ روز، مقدار FL-SD بین ۶ تا ۲۵ روز و مقدار SD-PM بین ۲۰ تا ۵۵ روز در نظر گرفته شد.

جدول ۱. تابع توزیع پیشین (یکنواخت) برای ۴ پارامتر مورد بررسی مدل DSSAT.

پارامتر	حد پایین	حد بالا
EM-FL	10	55
FL-SH	1	12
FL-SD	6	25
SD-PM	20	55

با اجرای الگوریتم GLUE تابع توزیع پسین ۴ پارامتر فوق به دست آمد که در شکل (۲) ارائه شده است. به جز پارامتر FL-SH که تابع توزیع آن دارای چولگی است، تابع توزیع ثانویه بقیه پارامترها تقریباً به شکل تابع توزیع نرمال به دست آمده است که میانگین و انحراف معیار آنها در جدول (۲) آمده است. میانگین ۴ پارامتر فوق به ترتیب ۲۹، ۹، ۱۵ و ۴۰ روز با انحراف معیار ۵/۱، ۱/۴، ۲/۴ و ۴/۴ روز است.



شکل ۲. تابع توزیع پسین برای ۴ پارامتر مورد بررسی مدل DSSAT

<sup>1</sup> ecotype

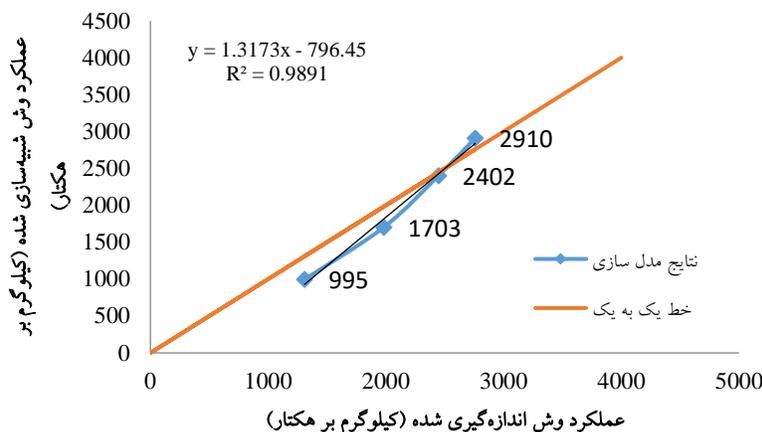
جدول ۲. میانگین و انحراف معیار تابع توزیع پسین برای ۴ پارامتر مورد بررسی مدل DSSAT.

پارامتر	میانگین	انحراف معیار
EM-FL	29	5.1
FL-SH	9	1.4
FL-SD	15	2.4
SD-PM	40	4.4

مقادیر بهینه پارامترهای مورد بررسی که منجر به بهترین شبیه‌سازی شده است، در جدول (۳) مشاهده می‌شود. همبستگی مقادیر عملکرد وش پنبه حاصل از اجرای مدل با مقادیر بهینه ۴ پارامتر مذکور و مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد وش برای هر ۴ تیمار آبیاری در شکل (۳) ارائه شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، اگرچه مدل عملکرد وش پنبه رقم ورامین را کمتر از عملکرد وش اندازه‌گیری شده شبیه‌سازی کرده است (ME = -147 kg/ha)، اما به طور کلی مقادیر بهینه ۴ پارامتر تخمین زده شده با الگوریتم GLUE منجر به تخمین مناسبی از عملکرد وش شده است (R2 = 0.99, ME = -147 kg/ha و NRMSE = 0.106). نتایج حاصل از اجرای الگوریتم GLUE نشان می‌دهد که این الگوریتم برای تخمین پارامترهای EM-FL, FL-SH, FL-SD و SD-PM بهتر از واسنجی ساده انجام شده در مطالعه قربانی برواتی و همکاران (۱۴۰۲) به روش سعی و خطا است (R2 = 0.91, ME = -281 kg/ha و NRMSE = 0.18). مقادیر دو معیار ارزیابی  $PCI$  (۱۰۰٪) و  $d$  (۱.۴) در جدول (۴) نیز نشان دهنده اجرای قابل قبول الگوریتم GLUE در برآورد پارامترهای مدل است.

جدول ۳. مقادیر بهینه پارامترهای مورد بررسی

پارامتر	مقدار بهینه
EM-FL	28.5
FL-SH	9.4
FL-SD	15.3
SD-PM	38.5



شکل ۳. همبستگی عملکرد وش پنبه شبیه سازی با مقادیر بهینه ۴ پارامتر مذکور و مقادیر اندازه گیری شده عملکرد وش برای هر ۴ تیمار آبیاری در برابر نمودار خط یک به یک

مطابق با خط رگرسیون برازش داده شده و مقدار p value برابر با 0.055، فرض صفر (شیب خط رگرسیون از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با شیب خط یک به یک ندارد) با سطح اطمینان ۵ درصد قبول می شود و در نتیجه تفاوت معنی داری با خط یک به یک ندارد و مدل شبیه سازی می تواند مدل مناسبی باشد.

جدول ۴. معیارهای ارزیابی الگوریتم GFLUE در بررسی عدم قطعیت مدل DSSAT

مقدار	فاکتور
100%	$P_{CI}$
1.4	$d$

### بحث

شکل تابع توزیع پسین نشان دهنده درجه عدم قطعیت تخمین است (هی و همکاران، ۲۰۰۹). بر اساس این شکل محدوده پارامتر EM-FL بین ۱۰ تا ۴۷، FL-SH بین ۳ تا ۱۲، FL-SD بین ۶ تا ۲۳ و SD-PM بین ۲۲ تا ۵۵ تخمین زده شده است. باتوجه به این که شکل تابع توزیع پسین همه پارامترها با تابع توزیع پیشین آنها (توزیع یکنواخت که از مقادیر احتمال برابر به ازای تمام مقادیر بازه اولیه پارامتر حکایت دارد) تفاوت دارد، بنابراین عدم قطعیت آنها کاهش یافته است (هی و همکاران، ۲۰۰۹). همانطور که در بخش یافته ذکر شد، به جز پارامتر FL-SH که تابع توزیع آن دارای چولگی است، تابع توزیع ثانویه بقیه پارامترها تقریباً به شکل تابع توزیع نرمال به دست آمده است. اگر تابع توزیع پسین به تابع توزیع نرمال نزدیک باشد، به این معنی است که داده های اندازه گیری شده دارای اطلاعات کافی برای تخمین مقدار پارامترها است (شفیعی و همکاران، ۲۰۱۴). در غیر این صورت ممکن است نتایج تحت تأثیر خطای ساختار مدل یا خطای سیستماتیک داده های ورودی باشد که باید در این شرایط از روش هایی استفاده نمود که تأثیر این دو خطا را با هم در نظر می گیرد. در مواردی که تابع توزیع پسین پارامتری دارای نقطه بیشینه مشخصی باشد، نشان دهنده حساسیت مدل نسبت به آن پارامتر است و اگر تابع توزیع پسین پارامتری یکنواخت باشد، مدل به آن

پارامتر حساس نیست (پوررضا و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷). شکل (۲) نشان می‌دهد که مدل DSSAT به هر ۴ پارامتر حساس است و بنابراین تخمین دقیق آنها بر خروجی مدل اثر دارد.

### نتیجه‌گیری

نظر به اهمیت پرداختن به مسئله عدم قطعیت پارامترهای مدل‌سازی، در این مطالعه به ارزیابی عدم قطعیت پارامترهای مدل رشد گیاهی DSSAT در شبیه‌سازی عملکرد گیاه پنبه پرداخته شد. داده‌های عملکرد رشد گیاه پنبه با کمک داده‌های مزرعه‌ای مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند (اقتباس شده از قربانی برواتی و همکاران، ۱۴۰۲) در ۴ سناریو آبیاری مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

مدل‌سازی با کمک مدل گیاهی DSSAT و فرایند خودکار نمودن شبیه‌سازی‌ها (تغییر پارامترهای موردنظر در فایل‌های ورودی) توسط کدی نوشته شده در محیط MATLAB انجام گردید تا با کمک الگوریتم GLUE که بر اساس شبیه‌سازی مونت‌کارلو اقدام به تولید سری پارامترهای مختلف در بازه از پیش تعیین شده می‌کند؛ تحلیل عدم قطعیت نتایج ارزیابی گردد.

نتایج توزیع‌های پسین پارامترهای این مطالعه نشان داد که ۴ پارامتر اکو تایی مورد بررسی در این مطالعه شامل زمان بین جوانه‌زنی گیاه و ظهور گل (EM-FL)، زمان بین اولین گل و اولین غلاف (FL-SH)، زمان بین اولین گل و اولین بذر (FL-SD) و زمان بین اولین بذر و بلوغ فیزیولوژی (SD-PM) دارای عدم قطعیت بوده و بنابراین به‌جای یک مقدار منحصربه‌فرد برای این پارامترها بهتر است از تابع توزیع آنها استفاده شود. همچنین نشان داده شد که اجرای الگوریتم GLUE با دقت مناسبی می‌تواند محدوده اولیه را باریک‌تر کرده و بنابراین عدم قطعیت پارامترها را کاهش دهد. همچنین مقادیر بهینه به دست آمده از اجرای الگوریتم GLUE (مربوط به بهترین شبیه‌سازی) نسبت به مقادیر واسنجی شده با روش ساده سعی و خطا در مطالعه قربانی برواتی و همکاران (۱۴۰۲) منجر به نتایج بهتری در تخمین عملکرد و ش گیاه پنبه شده است (مقایسه مقادیر NRMSE) که این مسئله نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول الگوریتم GLUE برای تخمین پارامترها است. همانطور که ذکر شد در این مطالعه تنها از ۴ پارامتر اکو تایی مدل DSSAT استفاده شد و بقیه با کمک مقادیر معرفی شده در راهنمای فنی ثابت در نظر گرفته شد. حال آنکه در مطالعات آینده می‌توان پارامترهای بیشتری را در نظر گرفته و مدل را واسنجی نمود. در این صورت عملکرد و ش پنبه را می‌توان با دقت بالاتری تخمین زد.

### منابع

- بنایان اول، محمد، نظامی، احمد، گنجعلی، علی، و باقری عبدالرضا. (۱۳۹۱). استفاده از تکنیک مونت‌کارلو- زنجیره مارکف همراه با یک مدل ساده برای شبیه‌سازی تولید نخود در استان خراسان، پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۰ (۴)، ۶۳۴-۶۴۲  
<https://doi.org/10.22067/gsc.v10i4.20334>
- قاسمی، محبوبه، نصری، عبدعلی، و معاضد، هادی. (۱۳۹۸). پارامتریابی و ارزیابی مدل DSSAT/CANEGRO برای نیشکر رقم CP-۵۷-۶۱۴ در شرایط اقلیمی خوزستان، تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰ (۶)، ۱۳۳۱-۱۳۴۰  
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.259986.667944>
- قربانی برواتی، فاطمه، نجفی مود، محمد حسین، رضانی، یوسف، و خاشعی سیوکی، عباس. (۱۴۰۲). اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد پنبه (منطقه مورد مطالعه: دشت بیرجند)، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۸)، ۱۱۳۱-۱۱۴۵  
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.321555.668931>

### References

- Bannayan Aval, M., Nezami, A., Ganjeali, A., & Bagheri, A. (2012). Simulation of Chickpea Production in Khorasan Provinces Using a Simple Crop Model and Markov Chain Monte Carlo

<sup>1</sup> Pourreza et al

technique. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(4), 634-642. <https://doi.org/10.22067/gsc.v10i4.20334>[In Persian]

- Beven, K. (2007). Towards integrated environmental models of everywhere: uncertainty, data and modelling as a learning process. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(1), 460-467. <https://doi.org/10.5194/hess-11-460-2007>
- Blasone, R.-S., Vrugt, J. A., Madsen, H., Rosbjerg, D., Robinson, B. A., & Zyvoloski, G. A. (2008). Generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE) using adaptive Markov Chain Monte Carlo sampling. *Advances in Water Resources*, 31(4), 630-648. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2007.12.003>
- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussi re, F., Cabidoche, Y., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudill re, J., H nault, C., Maraux, F., Seguin, B., & Sinoquet, H. (2003). An overview of the crop model stics. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 309-332. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00110-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00110-7)
- Buddhagoon, C., Jintrawet, A., & Hoogenboom, G. (2018). Methodology to estimate rice genetic coefficients for the CSM-CERES-Rice model using GENCALC and GLUE genetic coefficient estimators. *The Journal of Agricultural Science*, 156(4), 482-492. <https://doi.org/10.1017/S0021859618000527>
- Farshi, A. A., Feyen, J., Belmans, C., & De Wijnngaert, K. (1987). Modelling of yield of winter wheat as a function of soil water availability. *Agricultural Water Management*, 12(4), 323-339. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(87\)90007-2](https://doi.org/10.1016/0378-3774(87)90007-2)
- Gardner, R. H., Dale, V. H., & O'Neill, R. V. (1990). Error Propagation and uncertainty in process modeling. In Dixon, R. K., Meldahl, R. S., Ruark, G. A., & Warren, W. G. editors. Forest Growth: Process Modeling of Response to Environmental Stress. *Timber Press*, Portland, 208-219. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-4663-4\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-4663-4_3)
- Garibay, V. M., Kothari, K., Ale, S., Gitz, D. C., Morgan, G. D., & Munster, C. L. (2019). Determining water-use-efficient irrigation strategies for cotton using the DSSAT CSM CROPGRO-cotton model evaluated with in-season data. *Agricultural Water Management*, 223, 105695. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105695>
- Ghasemi, M., Naseri, A., & Moazed, H. (2019). Parameterization and Evaluation of the DSSAT-CANEGRO Model for Sugarcane CP57-614 in Khuzestan Climate Condition. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(6), 1331-1340. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.259986.667944> [In Persian]
- Ghorbani Baravati, F., Najafi Mood, M. H., Ramezani, Y., & Khashei, A. (2023). Impact of climate change on cotton growth and yield (case study: Birjand Plain). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(8), 1131-1145. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.321555.668931>[In Persian]
- He, J., Dukes, M. D., Jones, J. W., Graham, W. D., & Judge, J. (2009). Applying glue for estimating ceres-maize genetic and soil parameters for sweet corn production. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 52(6), 1907-1921. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=29218>
- Hopkins, J. C., & Leipold, R. J. (1996). On the dangers of adjusting the parameter values of mechanism-based mathematical models. *Journal of Theoretical Biology*, 183(4), 417-427. <https://doi.org/10.1006/jtbi.1996.0232>
- Jones, J., Hoogenboom, G., Porter, C., Boote, K., Batchelor, W., Hunt, L., Wilkens, P., Singh, U., Gijsman, A., & Ritchie, J. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 235-265. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)
- Jones, J. W., He, J., Boote, K. J., Wilkens, P., Porter, C. H., & Hu, Z. (2015). Estimating DSSAT cropping system cultivar-specific parameters using Bayesian techniques. *In Methods of introducing system models into agricultural research*, 365-393. <https://doi.org/10.2134/advagricssystemmodel2.c13>

- Khatua, R., Panneerselvam, S., Geethalakshmi, V., & Jeyakumar, P. (2023). Calibration and Validation of DSSAT (CROPGRO) Model for Winter Irrigated Cotton in Coimbatore, Tamil Nadu, India. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(22), 752-760. <https://journalijpss.com/index.php/IJPSS/article/view/4187>
- Keating, B., Carberry, P., Hammer, G., Probert, M., Robertson, M., Holzworth, D., Huth, N., Hargreaves, J. N., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K., Asseng, S., ... & Smith, C. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 267-288. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00108-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00108-9)
- Kumar, R., Mishra, S. K., Singh, K., Al-Ashkar, I., Iqbal, M. A., Muzamil, M. N., ... & El Sabagh, A. (2023). Impact analysis of moisture stress on growth and yield of cotton using DSSAT-CROPGRO-cotton model under semi-arid climate. *PeerJ*, 11. <https://doi.org/10.7717/peerj.16329>
- Landivar, J. A., Baker, D. N., & Jenkins, J. N. (1983). Application of GOSSYM to genetic feasibility studies. I. Analyses of fruit abscission and yield in Okra-Leaf Cottons 1. *Crop Science*, 23(3), 497-504. <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183X002300030014x>
- Li, Z., He, J., Xu, X., Jin, X., Huang, W., Clark, B., Yang, G., & Li, Z. (2018). Estimating genetic parameters of DSSAT-CERES model with the GLUE method for winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154, 213-221. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.009>
- Makowski, D., Hillier, J., Wallach, D., Andrieu, B., & M.H. Jeuffroy. (2006). Parameter estimation for crop models. In D. Wallach, D. Makowski, & J. Jones (Eds.) , Working with Dynamic Crop Models: Evaluating, Analyzing, Parameterizing and Using Them. *Elsevier*, Amsterdam, 101-150. [https://www.researchgate.net/publication/233858512\\_Parameter\\_estimation\\_for\\_crop\\_models](https://www.researchgate.net/publication/233858512_Parameter_estimation_for_crop_models)
- Marin, F. R., Jones, J. W., Royce, F., Suguitani, C., Donzeli, J. L., Filho, W. J. P., & Nassif, D. S. P. (2011). Parameterization and evaluation of predictions of DSSAT/CANEGRO for Brazilian sugarcane. *Agronomy Journal*, 103(2), 304-315. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0302>
- McKay, M. D., Beckman, R. J., & Conover, W. J. (1979). A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. *Technometrics*, 21(2), 239-245. <http://dx.doi.org/10.1080/00401706.1979.10489755>
- Pang, X., & Letey, J. (1998). Development and evaluation of ENIRO-GRO, an integrated water, salinity, and nitrogen model. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1418-1427. <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=3122307>
- Pourreza-Bilondi, M., Samadi, S. Z., Akhoond-Ali, A. M., & Ghahraman, B. (2017). Reliability of semiarid flash flood modeling using Bayesian framework. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(4), 05016039. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001482](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001482)
- Shafiei, M., Ghahraman, B., Saghafian, B., Davary, K., Pande, S., & Vazifedoust, M. (2014). Uncertainty assessment of the agro-hydrological SWAP model application at field scale: A case study in a dry region. *Agricultural Water Management*, 146, 324-334. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.008>
- Sievänen, R., & Burk, T. E. (1994). Fitting process-based models with stand growth data: problems and experiences. *Forest Ecology and Management*, 69(1-3), 145-156. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90225-9](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)90225-9)
- Soltani, A., Torabi, B., Zeinali, E., & Sarparast, R. (2004). Response of Chickpea to photoperiod as a qualitative long-day plant. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3(6), 705-708. <https://doi.org/10.3923/ajps.2004.705.708>

- Turley, M. C., & Ford, E. D. (2009). Definition and calculation of uncertainty in ecological process models. *Ecological Modelling*, 220(17), 1968–1983. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.046>
- Van Oijen, M. (2002). On the use of specific publication criteria for papers on process-based modelling in plant science. *Field Crops Research*, 74(2–3), 197–205. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00211-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00211-8)
- Vanuytrecht, E., Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., Heng, L. K., Garcia Vila, M., & Mejias Moreno, P. (2014). AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. *Environmental Modelling & Software*, 62, 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.08.005>
- Vrugt, J. a., ter Braak, C. J. F., Clark, M. P., Hyman, J. M., & Robinson, B. a. (2008). Treatment of input uncertainty in hydrologic modeling: Doing hydrology backward with Markov chain Monte Carlo simulation. *Water Resources Research*, 44, 1–52. <https://doi.org/10.1029/2007WR006720>
- Whisler, F., Acock, B., Baker, D., Fye, R., Hodges, H., Lambert, J., & Lemmon, H. (1986). Crop simulation models in agronomic systems. *Advances in Agronomy*, 40, 141–208. <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=HVG0VkgDouUC&oi=fnd&pg=PA141&dq=Crop+simulation+model+in+agronomic+systems&ots=5F6iiJ8pZL&sig=Tyghz8iX5JRcFYfEeOnZs0TSGgk>
- Zand-Parsa, S., Sepaskhah, A. R., & Ronaghi, A. (2006). Development and evaluation of integrated water and nitrogen model for maize. *Agricultural Water Management*, 81(3), 227–256. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.03.010>
- Zhiwei, J., Zhongxin, C., Qingbo, Z., & Jianqiang, R. (2011). Global sensitivity analysis of CERES-Wheat model parameters. *Transactions of the CSAE*, 27(1), 236–242. <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2011.01.038>



## Improving water use efficiency, estimating economic benefits and increasing potato tuber quality by the combined application of super absorbent polymer and mycorrhizal biofertilizer

Khosro Parvizi <sup>1</sup>✉ , Ali Ghadami firoozabadi <sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Corresponding author, Department of horticulture Crops Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.. E-mail: [kparvizi@yahoo.com](mailto:kparvizi@yahoo.com)

<sup>2</sup> Department of agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran. E-mail: [aghadami@gmail.com](mailto:aghadami@gmail.com)

---

---

### ABSTRACT

---

---

This research was conducted in order to investigate the effects of moisture absorbent polymers and mycorrhizal biofertilizer on water use efficiency, potato yield, as well as the quality of produced tubers in terms of secondary growth and contamination with scab disease for two years in Hamedan. This experiment was carried out by Agria potato cultivar in the form of a split strip design with a basic random complete block design. The amount of irrigation water was set at three levels of 100, 75 and 50% of potato water requirement in the main strips (main plot). The separate use of the superabsorbent material, the mycorrhizal biofertilizer and their combination was also considered as a sub-plot in three differing levels. The amount of superabsorbent material usage was 80 kilograms per hectare, and the use of mycorrhizal biofertilizer was in the form of coating the tubers. At the harvesting time, the total yield, water efficiency and the quality of produced tubers determined in terms of dry matter content, appearance and marketability of tubers in terms of deformity, and scab disease contamination. The results showed that under normal irrigation conditions (supplying 100% of water requirement), the use of superabsorbent and mycorrhizal biofertilizer had no significant effect on the yield and quality of the produced tubers in terms of dry matter, deformity, secondary growth and the level of infection with scab disease. However, in the condition of low irrigation, especially with irrigation at the rate of 50% of the water requirement of potatoes, a significant difference was created in the yield and quality of potato tubers as well as the efficiency of water in potatoes. The infection index of the important bacterial scab disease decreased significantly by using mycorrhizal biofertilizer and the combination of mycorrhizal and superabsorbent. This decrease was more significant in the condition of low irrigation.

**Keywords:** water consumption, tuber deformation, total yield, symbiotic fungus, tuber dry matter

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 07 June 2024 Revised: 01 September 2024 Accepted: 01 October 2024 ePublished: 21 December 2024

### 1. Introduction

Potato is a sensitive crop to drought stress, especially in the stage of tuber formation. Correct management of irrigation in the field has an important role in increasing the water use efficiency; and by preventing yield reduction, the amount of disease contamination is reduced and the quality of the tuber production is also improved (Wilson et al., 2001; Johansen et al., 2015). Given the limited annual rainfall in Hamedan province (averaging 310 mm) and its poor distribution, combined with the potato's high water requirements, agronomic methods are essential for preserving and sustaining production. In this regard, usage of superabsorbent materials and inoculation with mycorrhizal biofertilizers are suitable tools for water management, as these materials increase the competitive power of the potato crop by creating the desired growth power. They can lead to a quantitative and qualitative increase of the product by creating more favorable growth and avoiding stress during the critical stages of growth. Limited research has been done on the effect of superabsorbent materials and mycorrhiza, especially in deficit irrigation of potatoes. There are very few reports on the effect of combined application of superabsorbent and mycorrhiza in potato crop. Therefore, this experiment investigated the effects of separate and combined applications of superabsorbent materials and mycorrhizal biofertilizers on water use efficiency, potato yield, and tuber appearance quality (deformity and scab infection index) under low irrigation conditions.

### 2. Methodology

#### 2.1. Experimental model

The experiment employed a Strip Factorial design nested within a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications. Irrigation levels were manipulated in horizontal plots, with treatments including 100%, 75%, and 50% of optimal water requirements based on the Penman-Mantith evapotranspiration formula. The second factor involved four levels: control, superabsorbent and mycorrhiza separately, and a combination of both, arranged as sub-plots. The Agria potato cultivar was used for the study.

#### 2.2. Verification of the physical model

Superabsorbent material named Trawat200A was applied at 80 kg per hectare directly to the tubers at planting time. The tubers were also inoculated with mycorrhizal inoculum containing 120 CFU/g of active propagules. Irrigation commenced at the beginning of the growing season, immediately following planting. Irrigation amounts were determined using the modified Penman-Mantith formula, adjusted for 90% irrigation efficiency. Yield was assessed at harvest by randomly selecting two 1-square-meter plots within each replication and treatment.

---

---

---

### 2.3. Dimensional analysis

the harvested tubers were divided according to their size into three sizes groups (smaller than 35, 35 to 55 mm, and larger than 55 mm), weighed and counted. The number of deformed and malformed tubers with secondary growth as well as decayed tubers were counted and weighed in different treatments. The effect of treatments on the percentage of tubers infected with common scab disease was investigated using Hao et al.'s method (Hao et al., 2009).

### 3. Results and discussion

Variance analysis of the data demonstrated that irrigation levels, mycorrhizal biofertilizer, and their interactive effect were significantly influential ( $p \leq 0.01$ ) on the number of tubers categorized by size (seed, edible, and small), the scab disease infection index, tuber dry matter percentage, and water use efficiency. Secondary growth in potato tuber influenced by the simple effect of irrigation treatment at the probability level of 5% ( $p \leq 0.05$ ). Irrigation treatment had a significant effect ( $p \leq 0.01$ ) on the amount of tuber dry matter and total yield. Using of superabsorbent and mycorrhiza affected the performance at the level of 1% ( $p \leq 0.01$ ). The number of large tubers increased at different irrigation levels and with separate and combined application of mycorrhiza and superabsorbent compared to the control treatment. Using of mycorrhizae and superabsorbent and also their combination increased the yield compared to the control treatment in all three irrigation levels. Nevertheless, only in combination treatment a significant difference was created. Phosphorus is a critical element for plant metabolism, particularly in carbohydrate processes. Moreover, mycorrhizal fungi excel at phosphorus absorption, especially under water-stressed conditions. This can be a convincing reason for increasing the dry matter of the plant and as a result the dry matter of the tubers under the conditions of using mycorrhizal biofertilizer. Based on other published data from this research (Parvizi et al., 2022), it was determined that the separate application of mycorrhiza and the combined application of mycorrhiza and superabsorbent had a significant effect on phosphorus uptake in potatoes compared to the superabsorbent and control treatments in all three irrigation levels. These positive effects of mycorrhiza on phosphorus uptake and its increase in the foliage and ultimately the potato tuber were directly related to the severity of water stress and were highest in the 50% irrigation requirement treatment. The amount of secondary growth in the tubers was directly related to the reduction of irrigation. So the control treatments had the highest amount of secondary growth in the tuber at two irrigation levels of 50 and 75%. However, with the use of mycorrhizal and superabsorbent biofertilizers, the amount of secondary growth in these irrigation treatments was greatly reduced. In two irrigation levels of 75 and 50%, separate application of superabsorbent and mycorrhizal biofertilizer, and their combination were able to significantly reduce the intensity of scab contamination index. Of course, these reduction effects were more significant in their combined application. In total, in all three irrigation treatments, the combined effects of superabsorbent and mycorrhizal biofertilizer were more effective in reducing scab than their separate application.

### 4. Conclusions

The positive effects of mycorrhizae and superabsorbent were more evident in increasing tuber dry matter, reducing secondary growth and tuber deformity, as well as reducing the rate of infection with scab disease in conditions of severe lack of irrigation. In total, the water use efficiency with the use of mycorrhiza and superabsorbent in both low irrigation conditions (Irrigation treatments at 50% and 75% of potato water requirements) increased significantly compared to the control treatment.

### 5. References

Hao, J.J., Meng, Q.X., Yin, J.F., & Kirk, W.W. (2009). Characterization of a new *Streptomyces* strain, DS3024 that causes potato common scab. *Plant Diseases Journal*, 93, 1329–1334. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-12-1329>

### 6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

### 7. Acknowledgments

The authors would like to thank Mr Dr. Mohammad Reza Bakhtiari deputy researcher of Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Hamedan for providing the facilities to carry out the laboratory experiments of this paper. Also, the project managers appreciate the efforts of Mr. Engineer Abdolreza Moradi in conducting the experiment in the farm.

---

**Cite this article:** Parvizi, Kh., & Ghadami firoozabadi, A. (2024). Improving water use efficiency, estimating economic benefits and increasing potato tuber quality by the combined application of super absorbent polymer and mycorrhizal biofertilizer, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(4), 35-50. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10836.1130>





## بهبود کارایی مصرف آب، بر آورد سود اقتصادی و افزایش کیفیت غده سیب زمینی با کاربرد ترکیبی پلیمر جاذب رطوبت و کود زیستی میکوریز

خسرو پرویزی<sup>۱</sup>، علی قدمی فیروز آبادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول، بخش تحقیقات گیاهان زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. رایانامه: [kparvizi@yahoo.com](mailto:kparvizi@yahoo.com)

<sup>۲</sup> بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. رایانامه: [aghadami@gmail.com](mailto:aghadami@gmail.com)

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر مواد فوق جاذب رطوبتی و کود زیستی میکوریز بر بهره وری مصرف آب، عملکرد سیب زمینی و همچنین کیفیت غده های تولیدی از نظر رشد ثانویه و آلودگی به بیماری اسکب، پژوهشی به مدت دو سال در همدان انجام شد. این آزمایش با رقم آگریا سیب زمینی و در قالب طرح خرد شده نواری بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی به اجرا درآمد. تیمار مقدار آب آبیاری در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی سیب زمینی در نوارهای اصلی (پلات اصلی) و استفاده جداگانه از ماده سوپر جاذب رطوبتی و کود زیستی میکوریز و نیز ترکیب آن ها در سه سطح به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. مقدار مصرف ماده سوپر جاذب رطوبتی ۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. استفاده از کود زیستی میکوریز به صورت بذر مال کردن غده ها انجام شد. در هنگام برداشت عملکرد کل، بهره وری مصرف آب و کیفیت غده های تولیدی از نظر میزان ماده خشک، شکل ظاهری و درجه بازارپسندی غده ها از نظر بدشکلی و آلودگی به بیماری اسکب، مشخص گردید. نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، استفاده از سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز اثر قابل توجهی بر عملکرد و کیفیت غده های تولیدی از نظر ماده خشک، بدشکلی، رشد ثانویه و میزان آلودگی به بیماری اسکب نداشت. اما در شرایط کم آبیاری و به ویژه با آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی سیب زمینی، تفاوت قابل توجهی در میزان عملکرد و نیز کیفیت غده های سیب زمینی و همچنین بهره وری مصرف آب در سیب زمینی ایجاد شد. در تیمارهایی که کود زیستی میکوریز و نیز ترکیب میکوریز و سوپر جاذب مورد استفاده قرار گرفته بود، شاخص آلودگی به بیماری مهم اسکب باکتریایی کاهش معنی دار پیدا کرد. این میزان کاهش در شرایط کم آبیاری چشمگیرتر بود. در مجموع با احتساب قیمت واقعی آب و هزینه سوپر جاذب رطوبتی و کود زیستی میکوریز، استفاده ترکیبی از این دو ماده در شرایط کم آبیاری می تواند به طور متوسط ۵۲ میلیون تومان در هکتار درآمد کشاورز سیب زمینی کار را در همدان افزایش دهد.

**واژه های کلیدی:** آب مصرفی، بدشکلی غده، عملکرد کل، قارچ هم زیست، ماده خشک غده

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**سابقه مقاله:** دریافت: ۱۸ خرداد ۱۴۰۳ اصلاح: ۱۱ شهریور ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۰ مهر ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ دی ۱۴۰۳

**استناد:** پرویزی، خ، و قدمی فیروزآبادی، علی. (۱۴۰۳). بهبود کارایی مصرف آب، برآورد سود اقتصادی و افزایش کیفیت غده سیب زمینی با کاربرد ترکیبی پلیمر جاذب رطوبت و کود زیستی میکوریز، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۴(۴)، ۵۰-۳۵. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10836.1130>



### مقدمه

سیب‌زمینی از مهم‌ترین محصولات زراعی استان همدان است. اگرچه در این استان میزان بارندگی کم (متوسط بارندگی سالانه ۳۱۳ میلی‌متر) و توزیع و پراکنش زمانی آن نامناسب است؛ ولی قابلیت‌های بالایی از نظر آب‌وهوا، نهاده‌ها، سامانه‌های مناسب آبیاری تحت‌فشار، ماشین‌آلات و ادوات مکانیزاسیون، نیروی فنی و کارشناسی خبره، زارعین پیشرو و آگاه به فنون کشت و کار و تولید سیب‌زمینی و... در استان وجود دارد. سیب‌زمینی محصولی حساس به تنش خشکی به‌ویژه در مرحله غده‌زایی است. مدیریت صحیح آبیاری در مزرعه نقش مهمی در افزایش کارایی مصرف آب داشته و همچنین با جلوگیری از کاهش عملکرد از میزان آلودگی به بیماری کاسته و کیفیت غده‌های تولیدی نیز ارتقا می‌یابد (ویلسون و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱، جانسن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵).

با محدودیت ریزش‌های جوی استان همدان و نیز نامناسب بودن توزیع و پراکنش زمانی آن و همچنین نیاز بالای آبی محصول سیب‌زمینی، ناگزیر به استفاده از روش‌های به‌زراعی در جهت حفظ و پایداری تولید و کشت و کار سیب‌زمینی در این استان هستیم. در این راستا استفاده از سوپر جاذب‌های رطوبتی و تلقیح با کود زیستی مایکوریزا از ابزارهای مناسب مدیریت آب است. این مواد با ایجاد قدرت رشد مطلوب، قدرت رقابتی محصول سیب‌زمینی را افزایش داده و می‌توانند با ایجاد رشد مطلوب‌تر و اجتناب از برخورد با تنش در مراحل بحرانی رشد، منجر به افزایش کمی و کیفی محصول بشوند.

تحقیقات محدودی در ارتباط با اثر مواد سوپر جاذب و میکوریز و به‌ویژه در شرایط کم آبیاری در سیب‌زمینی انجام شده است. مهم‌تر اینکه گزارش‌های بسیار کمی از اثر ترکیبی سوپر جاذب و میکوریز در محصول سیب‌زمینی ارائه شده است؛ لذا در این آزمایش اثرات کاربرد جداگانه و همچنین توأم آن‌ها بر بهره‌وری مصرف آب، عملکرد سیب‌زمینی و نیز کیفیت ظاهری غده‌های تولیدی (بدشکلی و شاخص آلودگی به بیماری اسکب) در شرایط کم آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مواد سوپر جاذب از نظر ساختمانی شبکه‌ای از مواد پلیمری هیدروکربن و آب‌دوست هستند. ضریب جذب آب در این مواد بسیار بالا بوده و بیش از ۵۰۰ برابر وزن خود آب جذب می‌کنند. همچنین تخلیه آب در این مواد تدریجی بوده و در اثر خشک شدن خاک به تدریجی صورت می‌گیرد؛ بنابراین رطوبت محیط خاک و ریشه به مدت طولانی در حد مناسب برای جذب باقیمانده و بدون نیاز به آبیاری مجدد آب لازم را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (رشیدی و همکاران، ۱۳۹۲، بانج شفییعی و رهبر، ۱۳۸۲). همچنین قارچ‌های میکوریزا که به‌عنوان کود زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند، با استفاده از اندام‌های ریشه ماندی به نام ریشه سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی از خاک می‌شوند. ضمن اینکه در رابطه هم‌زیستی با گیاه، در تولید هورمون‌های رشد نیز دخالت دارند (بومسما و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸، گووراو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰). استفاده از هر دو این مواد از طرفی موجب افزایش رطوبت خاک شده و از طرفی نیز به جذب آب و مواد غذایی خاک به‌ویژه در شرایط کم آبیاری و تنش توسط ریشه سیب‌زمینی کمک می‌کند (مائو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۱).

جهان و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی اثر مواد سوپر جاذب رطوبتی در کاهش اثر تنش خشکی در ذرت با ۲ دور آبیاری هفت و چهارده روزه، نتیجه گرفتند که ارتفاع بوته، درصد ماده خشک و عملکرد به‌صورت معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمارهای سوپر جاذب قرار گرفت و با مصرف هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، صفات رشد به شکل معنی‌داری در دور آبیاری ۱۴ روزه افزایش پیدا کرد. قارچ‌های میکوریزا با افزایش در جذب آب و عناصر غذایی از یک سو و تغییر در مواد شیمیایی بافت‌های گیاهی، رقابت با عوامل بیماری‌زا برای محل استقرار در ریشه، تغییر ساختار ریشه و کاستن از اثر تنش‌های محیطی، به رشد و نمو گیاه زراعی کمک می‌کنند. قارچ‌های میکوریزا به‌وسیله افزایش هدایت هیدرولیکی آب در خاک، افزایش نسبت تعرق و سرعت انتقال آب از ریشه به آوندهای چوبی، کاهش مقاومت روزنه‌ای به‌وسیله تغییر در تعادل هورمون‌های گیاه، روابط آبی گیاه را افزایش می‌دهند (فنگ و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۲).

به‌طور کلی پذیرفته شده است که از اثرات هم‌زیستی قارچ میکوریزا، افزایش جذب فسفر در اولویت اول است و در این خصوص تمامی پژوهشگران اتفاق نظر دارند. میکوریزا این عمل را به شیوه‌های مختلف از طریق توسعه سطح جذب با گسترش بیشتر ریشه‌های قارچ،

<sup>۱</sup> Wilson et al

<sup>۲</sup> Johansen et al

<sup>۳</sup> Boomsma et al

<sup>۴</sup> Gaurav et al

<sup>۵</sup> Mao et al

<sup>۶</sup> Feng et al

انتشار رطوبت بیشتر در خاک، افزایش هدایت هیدرولیکی و کمک به انتقال توده‌ای فسفر و انحلال بیشتر فسفر از منابع غیرمحلول از طریق ترشح آنزیم فسفاتاز انجام می‌دهد (ریان و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱).

### روش پژوهش

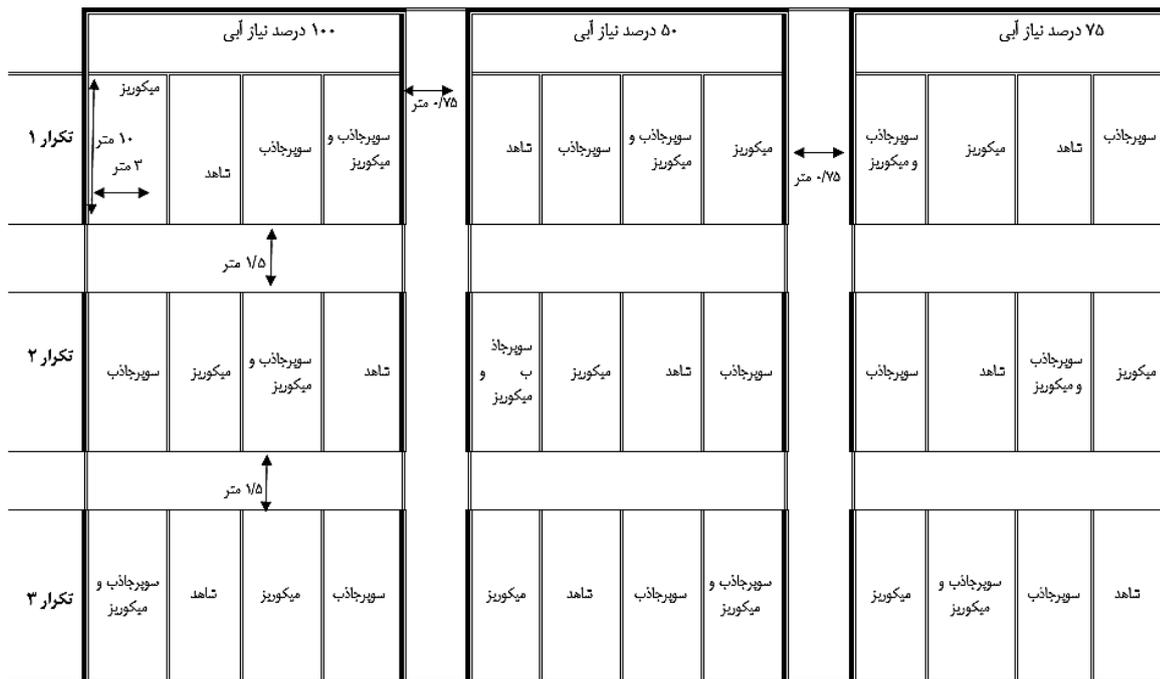
این پژوهش به صورت طرح استریپ - پلات (خردشده شده نواری) فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان به اجرا درآمد که در شکل (۱) نشان داده شده است. تیمار مقدار آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی) در کرت‌های اصلی و فاکتور استفاده از سوپر جاذب Trawat200A و میکوریز با ۴ سطح (عدم کاربرد سوپر جاذب رطوبتی و میکوریز با استفاده جداگانه و توأم آن‌ها) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. جهت آماده‌سازی زمین، ابتدا زمین موردنظر شخم زده شده و سپس با روتوشیپر کلوخه‌ها خرد شده و تسطیح با لولر و ماله صورت پذیرفت. در مرحله بعد به منظور عملیات کاشت غده‌ها با فاروئر اقدام به تهیه جوی و پشته و ایجاد ردیف‌های کاشت بافاصله ۷۵ سانتی‌متر کاشت شد. سپس پشته‌ها با شیار بازکن به عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر باز شده و غده‌ها به فاصله ۲۵ سانتی‌متر در کف شیار و در عمق شیارها قرار گرفتند. ماده سوپر جاذب رطوبتی در هنگام کاشت غده‌ها، به مقدار ۸۰ کیلوگرم در هکتار و در مجاور غده و در شیارهای کشت و در تیمارهای مرتبط توزیع شد. کود زیستی میکوریز به صورت بسته‌های یک کیلوگرمی شامل مخلوط خاکی پیت ماس در تلقیح با زادماه<sup>۲</sup> (مایه تلقیح) قارچ میکوریز گونه *Glomus etunicatum* با جمعیت فعال<sup>۳</sup> قارچ به تعداد ۱۲۰ عدد در هر گرم بود که توسط شرکت دانش‌بنیان زیست فناور پیشناز واریان تهیه و در اختیار مجریان پروژه قرار گرفت. استفاده از کود زیستی میکوریز به صورت بذر مال و در هنگام کاشت غده‌ها با آن‌ها آغشته شد. جهت انجام بذر مال نمودن غده‌ها با کود زیستی میکوریز، ابتدا با آب مقطر بر روی غده‌ها محلول‌پاشی انجام شده و سپس مخلوط کود زیستی بر روی غده‌ها پاشیده شد، به طوری که سطح غده‌ها به لایه‌نازکی از مخلوط محیط کشت (پیت ماس و قارچ هم‌زیست) آغشته گردید.

لازم به ذکر اینکه در این تحقیق هیچ نوع ضدعفونی شیمیایی در هنگام کاشت غده‌های بذری مورد استفاده قرار نگرفت. کودهای پتاسیم، فسفر و نیتروژن نیز بر اساس آزمون تجزیه خاک مورد مصرف قرار گرفت. عناصر غذایی پایه شامل نیتروژن (N)، فسفر (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) و پتاسیم (K<sub>2</sub>O) به ترتیب به میزان ۱۱۵، ۹۲ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار و از منابع کودهای پایه به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، ۱۸۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار تأمین شده و در هنگام کاشت مورد استفاده قرار گرفت. یک سوم کود نیتروژنی در هنگام کاشت و بقیه در دو نوبت به صورت سرک در مرحله خاک‌دهی و در زمان گل‌دهی به کار گرفته شد. در تیمارهای آبیاری، آبیاری از ابتدای فصل رشد و بلافاصله بعد از کاشت و بر اساس محاسبه نیاز آبی از فرمول پنمن مانیتیت اصلاح شده و با احتساب راندمان ۹۰ درصد انجام پذیرفت.

<sup>۱</sup> Ryan et al

<sup>۲</sup> Inoculum

<sup>۳</sup> Propagules



شکل ۱. نقشه شماتیک اجرای پروژه تحقیقاتی به تفکیک نوارهای اصلی و فرعی و فواصل بلوک و تیمارهای آزمایش.

جهت محاسبه نیاز آبیاری، ابتدا با استفاده از رابطه پنمن ماتنیت اصلاح شده، تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) محاسبه گردید. تبخیر و تعرق گیاه تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و مراحل رشد گیاه قرار دارد و نشان دهنده آب مورد نیاز یک گیاه سالم در یک مزرعه بدون محدودیت آب است. با استخراج میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ضریب گیاهی، میزان تبخیر و تعرق گیاهی زراعی (سیب زمینی) مشخص می گردد. سپس با در نظر گرفتن میزان تبخیر و تعرق گیاه در مراحل مختلف رشد و راندمان آبیاری (۹۰ درصد در آبیاری قطره ای)، نیاز آبیاری سیب زمینی با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد (آلن و همکاران، ۲۰۰۵).

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (1)$$

$$D_i = \left( \frac{ET_c - P_e}{E_i} \right) \quad (2)$$

در روابط فوق  $ET_c$ : تبخیر و تعرق گیاه زراعی (میلی متر)،  $K_c$ : ضریب گیاهی،  $ET_0$ : تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع،  $D_i$  میزان نیاز ناخالص آبیاری (میلی متر)،  $E_i$  راندمان آبیاری و  $P_e$ : میزان بارندگی مؤثر (میلی متر) است. آبیاری به صورت قطره ای نواری (تیپ) با لوله های به قطر ۱۶ میلی متر با فاصله قطره چکان های ۳۳ سانتی متر و دبی ۱/۶ لیتر بر ساعت در فشار ۱/۲ بار بر روی پشته ها انجام شد. مقدار آب مصرفی توسط کنتورهای کالیبره شده اندازه گیری و به منظور محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری از رابطه (۳) استفاده شد.

$$WUE = \frac{Yield}{I} \quad (3)$$

که در آن  $WUE$ ، شاخص کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی،  $Yield$  عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم و  $I$  حجم آب آبیاری به مترمکعب است.

با رسیدن فیزیولوژیکی گیاه سیب زمینی که به صورت زرد شدن شاخ و برگ بوته های سیب زمینی به نسبت بیش از ۵۰ درصد آن ها مشخص می گردد، سرزنی به منظور پوست گیری غده انجام شد. به فاصله ۷ تا ۱۰ روز پس از سرزنی برداشت امکان پذیر شده و نمونه گیری به صورت انتخاب واحدهای ۱ متر مربعی و به صورت تصادفی در ۲ نقطه از هر تیمار و تکرار مربوطه انجام شد. در محصول برداشتی غده ها بر اساس اندازه آن ها در گروه هایی با اندازه کوچک تر از ۳۵ (غده ریز) ۳۵-۵۵ (غده بذری) و بزرگ تر از ۵۵ (غده خوراکی و درشت) میلی متر تقسیم بندی شده و توزین و شمارش شدند. تعداد غده های دفرمه و بد شکل و دارای رشد ثانویه و نیز غده های پوسیده شمارش و در

تیمارهای مختلف توزین و درصد هریک تعیین گردید. اثر تیمارها روی درصد غده‌های آلوده به بیماری اسکب معمولی با استفاده از روش هاوو و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور پس از برداشت همه غده‌های هر پلات آزمایشی مورد بررسی و میزان پوشش سطح غده‌ها با زخم‌های اسکب در پنج سطح مطابق جدول (۱) مورد ارزیابی کیفی قرار گرفتند.

جدول ۱. رتبه بندی بیماری اسکب معمولی بر اساس میزان پوشش سطح غده‌ها با زخم‌های اسکب.

ردیف	کلاس	درصد پوشش زخم اسکب بر سطح غده
۱	۰	۰
۲	۱	۱-۱۰
۳	۲	۱۱-۲۵
۴	۳	۲۶-۵۰
۵	۴	۵۰-۷۵
۶	۵	< ۷۵

جهت تعیین درصد ماده خشک غده، برش‌های نازک از ۴ غده متوسط (۸۰-۴۰ میلی‌متر) از هر تکرار و تیمار مرتبط تهیه و به صورت جداگانه در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و از طریق رابطه (۴) محاسبه شد.

$$TDWP = \frac{TDW}{TFW} \times 100 \quad (4)$$

که در آن TDWP درصد ماده خشک غده، TDW وزن خشک غده و TFW وزن تر غده است. در نهایت تجزیه مرکب داده‌ها با ادغام داده‌های حاصل از دو سال مختلف پس از انجام آزمون بارتلت و تأیید یکنواختی واریانس سال‌های مختلف، با نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون مقایسه چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

#### یافته‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سطوح آبیاری، کود زیستی میکوریز و سوپر جاذب و نیز اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد غده در اندازه‌های مختلف (بذری، خوراکی و ریز)، شاخص آلودگی به بیماری اسکب، درصد ماده خشک غده و بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بوده است که در جدول (۲) ارائه شده است. رشد ثانویه در غده سیب‌زمینی تحت تأثیر اثر ساده تیمار آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد ( $p \leq 0.05$ ) قرار گرفت. سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز و همچنین اثرات متقابل تیمار آبیاری  $\times$  سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز تأثیر معنی‌داری ( $p \leq 0.01$ ) بر میزان رشد ثانویه در غده‌های تولیدی داشتند. تیمار آبیاری تأثیر بسیار زیادی (سطح معنی‌داری ۱ درصد) بر میزان ماده خشک غده و نیز بر عملکرد کل داشت. مطابق جدول (۲) استفاده از سوپر جاذب و میکوریز عملکرد را در سطح یک درصد تحت تأثیر قرارداد؛ اما تفاوت معنی‌داری در اثر متقابل تیمار آبیاری و میکوریز و سوپر جاذب بر عملکرد کل، در سطح پنج درصد مشاهده نشد.

<sup>۱</sup> Hao et al

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب اثر میکوریز و سوپر جاذب رطوبتی بر عملکرد، اندازه و کیفیت غده‌های تولیدی، درصد ماده خشک غده و بهره وری آب در سیب زمینی

شاخص بیماری اسکب	میانگین مربعات (MS)							درجه آزادی	منابع تغییرات S.O.V
	درصد رشد ثانویه	بهره‌وری مصرف آب	درصد ماده خشک غده	عملکرد کل (تن در هکتار)	تعداد غده ریز	تعداد غده خوراکی	تعداد غده بذری		
۵۸/۶۸ ns	۰/۱۲۵ ns	۰/۰۹ *	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۹ ns	۰/۳۴ ns	۴/۱۲ ns	۰/۲۲ ns	۱	سال
۷/۲۷ ns	۲/۲۶	۰/۰۵ ns	۰/۵۵ ns	۲۸/۱۳ ns	۰/۳۶ ns	۳/۳۰ ns	۴/۹۵ ns	۴	تکرار × سال
۲۳/۱۶ **	۲/۱۸ *	۱۶۹/۹۱ **	۲/۲۸ **	۶۴۷/۹۵ **	۷۰/۲۶ **	۷۴/۱۸ **	۱۹۵/۷۹ **	۲	تیمار آبیاری
۴/۳۸ ns	۰/۵۴ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۵ ns	۱۴/۰۱ ns	۶/۳۴ ns	۰/۵۱ ns	۰/۲۶ ns	۲	سال × تیمار آبیاری
۱۵۰/۹۷ **	۵۳/۱۲ **	۸۷۶ **	۲/۲۳ **	۵۴/۹۱ *	۴۸/۱۶ **	۳۸/۶۱ **	۷۰/۷۵ **	۳	سوپر-جاذب و میکوریز
۰/۳۴ *	۱/۱۲ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۸ ns	۹/۳۳ ns	۰/۸۶ ns	۰/۳۸ ns	۱/۵۹ ns	۳	سال × سوپر-جاذب و میکوریز
۱۴/۵۷ *	۷/۶۲ **	۲/۰۵ **	۱/۱۶ **	۱۶/۱۳ ns	۲۴/۰۲ **	۴/۱۲ *	۲۰/۳۲ **	۶	تیمار آبیاری × سوپر-جاذب و میکوریز
۲/۸۳ ns	۰/۷۶ ns	۰/۰۱ ns	۰/۱۱ ns	۱۱/۸۳ ns	۰/۸۱ ns	۰/۳۴ ns	۱/۲۴ ns	۶	سال × تیمار آبیاری × سوپر-جاذب و میکوریز
۳/۲۲	۱/۶۰	۰/۰۲۱	۰/۳۳	۱۶/۹۹	۱/۰۴	۱/۴۱	۲/۰۱	۴۲	خطا
								۷۱	کل
۱۱/۱۸	۱۹/۴۷	۱/۰۸	۲/۸۵	۱۰/۶۳	۱۶/۴۱	۱۱/۲۸	۴/۳۵		ضریب تغییرات C.V

متوسط تعداد غده بذری در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و با کاربرد توأم میکوریز و سوپر جاذب، ۳۷ عدد در مترمربع بود که با دو سطح دیگر از این تیمار آبیاری و نیز سایر سطوح آبیاری و ترکیب میکوریز و سوپر جاذب مربوطه تفاوت معنی‌داری نشان داد. کمترین تعداد غده در اندازه بذری در واحد سطح در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد سوپر جاذب و میکوریز تولید شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت. در هر سه تیمار آبیاری استفاده از میکوریز و سوپر جاذب سبب افزایش تعداد غده بذری در واحد سطح شد. این اثرات در کاربرد تلفیقی آن‌ها بیشتر بود. لازم به ذکر است که اثر میکوریز و سوپر جاذب و همچنین تلفیق آن‌ها بر تولید غده در اندازه بذری در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با دو سطح دیگر آبیاری چشمگیرتر بود. نتایج در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

تعداد غده در شت در سطوح مختلف آبیاری و با کاربرد جداگانه و تلفیقی میکوریز و سوپر جاذب نسبت به تیمار عدم کاربرد آن‌ها افزایش یافت. اما این افزایش در تیمار آبیاری با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی بیشتر بود. تعداد غده ریز با استفاده از میکوریز و سوپر جاذب و نیز تلفیق آن‌ها در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به طور معنی‌داری کاهش یافت. شایان‌ذکر است که این اثر مثبت در استفاده ترکیبی آن‌ها بارزتر بود. اما در تیمار آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی، استفاده از میکوریز و سوپر جاذب اثر معنی‌داری بر کاهش غده ریز نداشت. نتایج در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار آبیاری و استفاده از سوپر جاذب و میکوریز بر عملکرد، اندازه غده، درصد ماده خشک و کارایی مصرف آب

تیمارها	تعداد غده بذری	تعداد غده خوراک	تعداد غده ریز	عملکرد کل (تن در هکتار)	درصد ماده خشک غده	بهروری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
۱۰۰٪ نیاز آبی	۳۵/۳۷ a	۱۲/۳۷ a	۴/۵۸ c	۴۴/۴۰ a	۲۰/۴۹ a	۱۱/۳۶ c
۷۵٪ نیاز آبی	۳۲/۸۰ b	۱۰/۳۳ b	۶/۱۲ b	۳۷/۷۲ b	۲۰/۴۱ a	۱۲/۹۸ b
۵۰٪ نیاز آبی	۲۹/۶۶ c	۸/۸۷ c	۸/۰۰ a	۳۴/۱۶ b	۱۹/۹۲ a	۱۶/۵۶ a
شاهد (عدم مصرف سوپر جاذب و میکوریز)	۲۹/۸۸ c	۸/۳۸ b	۸/۶۶ a	۳۶/۷۲ b	۱۹/۸۲ c	۱۲/۸۲ d
استفاده از سوپر جاذب	۳۲/۸۳ b	۱۰/۸۷ a	۵/۶۱	۴۰/۸۷ a	۲۰/۶۴ a	۱۳/۸۵ b
استفاده از میکوریز	۳۲/۹۴ b	۱۱/۵۵ a	۵/۵۵ b	۳۸/۲۱ ab	۲۰/۲۰ bc	۱۳/۳۹ c
استفاده توأم از میکوریز و سوپر جاذب	۳۴/۶۶ a	۱۱/۳۸ a	۵/۱۱	۳۹/۲۴ ab	۲۰/۴۳ ab	۱۴/۴۷ a

\* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از اثرات اصلی مربوطه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار آبیاری و استفاده از سوپر جاذب و میکوریز بر عملکرد، اندازه غده، درصد ماده خشک غده و کارایی مصرف آب

تیمارها	تعداد غده بذری در متر مربع	تعداد غده خوراک در متر مربع	تعداد غده ریز در متر مربع	عملکرد کل (تن در هکتار)	درصد ماده خشک غده	بهروری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
۱۰۰٪ نیاز آبی × شاهد	۳۴/۶۶ bc	۱۱/۱۶ cde	۴/۰۰ d	۴۲/۷۰ b	۲۰/۴۴ a	۱۱/۲۰ j
۱۰۰٪ نیاز آبی × سوپر جاذب	۳۵/۳۳ b	۱۲/۶۶ ab	۴/۵۰ d	۴۳/۹۱ b	۲۰/۶۸ a	۱۱/۳۸ ij
۱۰۰٪ نیاز آبی × میکوریز	۳۴/۵۰ bc	۱۲/۶۶ ab	۴/۴۸ d	۴۳/۱۰ b	۲۰/۲۷ a	۱۱/۴۵ i
۱۰۰٪ نیاز آبی × سوپر جاذب و میکوریز	۳۷/۰۰ a	۱۳/۰۰ a	۵/۳۳ d	۴۶/۸۸ a	۲۰/۵۹ a	۱۱/۴۱ i
۷۵٪ نیاز آبی × شاهد	۳۰/۶۶ d	۷/۵۰ g	۹/۱۶ b	۳۵/۷۰ cd	۲۰/۳۱ a	۱۲/۱۳ h
۷۵٪ نیاز آبی × سوپر جاذب	۳۳/۵۰ c	۱۰/۰۰ def	۵/۰۰ d	۳۸/۷۹ bc	۲۰/۷۴ a	۱۳/۲۱ f
۷۵٪ نیاز آبی × میکوریز	۳۳/۳۳ c	۱۲/۵۰ abc	۵/۱۶ d	۳۴/۵۷ cd	۲۰/۲۷ a	۱۲/۶۱ g
۷۵٪ نیاز آبی × سوپر جاذب و میکوریز	۳۳/۶۶ bc	۱۱/۳۳ bcd	۵/۱۲ d	۳۹/۴۵ bc	۲۰/۳۳ a	۱۳/۹۸ e
۵۰٪ نیاز آبی × شاهد	۲۴/۳۳ e	۶/۵۰ g	۱۲/۸۳ a	۳۱/۸۷ d	۱۸/۷۲ b	۱۵/۱۴ d
۵۰٪ نیاز آبی × سوپر جاذب	۲۹/۶۶ d	۹/۶۶ f	۷/۳۳ c	۳۴/۹۵ cd	۲۰/۵۲ a	۱۶/۹۷ b
۵۰٪ نیاز آبی × میکوریز	۳۱/۰۰ d	۹/۵۰ f	۷/۰۰ c	۳۴/۵۷ cd	۲۰/۰۷ a	۱۶/۱۲ c
۵۰٪ نیاز آبی × سوپر جاذب و میکوریز	۳۳/۶۶ bc	۹/۸۳ f	۴/۸۳ d	۳۶/۱۲ c	۲۰/۳۹ a	۱۸/۰۱ a

\* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

جدول ۵. مقایسه میزان درآمد و سود اقتصادی کشاورز در نتیجه بکارگیری سوپر جاذب و میکوریز با اضافه شدن قیمت

واقعی آب آبیاری و کسر هزینه های سوپر جاذب و میکوریز مصرفی

تیمارها	عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار)	درآمد حاصل از فروش غده سبب زمینی (هزار ریال)	مقدار مصرف آب در هکتار (مترمکعب)	هزینه آب مصرفی در هکتار (هزار ریال)	هزینه سوپر جاذب و میکوریز مصرفی در هکتار (هزار ریال)	درآمد خالص کشاورز در هر هکتار با کسر هزینه های مصرفی آب، مواد سوپر جاذب و میکوریز (هزار ریال)	*میزان افزایش/کاهش درآمد کشاورز در هکتار در مقایسه با شاهد (هزار ریال)	درصد افزایش/کاهش درآمد کشاورز در هکتار در مقایسه با شاهد
۱۰۰٪ نیاز آبی، شاهد	۴۲۷۰۰	۶۴۰۵۰۰۰	۴۱۰۸	-۳۶۹۷۲۰۰	۰	۲۷۰۷۸۰۰	۰	۰
۱۰۰٪ نیاز آبی، سوپر جاذب	۴۳۹۱۰	۶۵۸۶۵۰۰	۴۱۰۸	-۳۶۹۷۲۰۰	-۱۶۰۰۰۰	۲۷۲۹۳۰۰	+۲۱۵۰۰۰	۰/۷۹
۱۰۰٪ نیاز آبی، میکوریز	۴۳۱۰۰	۶۴۶۵۰۰۰	۴۱۰۸	-۳۶۹۷۲۰۰	-۱۰۰۰۰۰	۲۷۵۷۸۰۰	+۵۰۰۰۰	۱/۸۴
۱۰۰٪ نیاز آبی، سوپر جاذب و میکوریز	۴۶۸۰۰	۷۰۲۰۰۰۰	۴۱۰۸	-۳۶۹۷۲۰۰	-۱۷۰۰۰۰۰	۳۱۵۲۸۰۰	+۴۴۵۰۰۰۰	۱۶/۴۳
۷۵٪ نیاز آبی، شاهد	۳۵۷۰۰	۵۳۵۵۰۰۰	۲۹۳۶	-۲۶۴۴۰۰	۰	۲۷۱۶۳۰۰	+۴۸۰۰	۰/۱۷
۷۵٪ نیاز آبی، سوپر جاذب	۳۸۷۹۰	۵۸۱۸۵۰۰	۲۹۳۶	-۲۶۴۴۰۰	-۱۶۰۰۰۰	۳۰۱۶۱۰۰	+۳۰۸۳۰۰	۱۱/۳۸
۷۵٪ نیاز آبی، میکوریز	۳۴۵۷۰	۵۱۸۵۵۰۰	۲۹۳۶	-۲۶۴۴۰۰	-۱۰۰۰۰۰	۲۵۳۳۱۰۰	-۱۷۴۷۰۰	-۶/۴۵
۷۵٪ نیاز آبی، سوپر جاذب و میکوریز	۳۹۴۵۰	۵۹۱۷۵۰۰	۲۹۳۶	-۲۶۴۴۰۰	-۱۷۰۰۰۰۰	۳۱۰۵۱۰۰	+۳۹۹۳۰۰	۱۴/۶۷
۵۰٪ نیاز آبی، شاهد	۳۱۷۰۰	۴۷۵۵۰۰۰	۲۰۹۸	-۱۸۸۸۲۰۰	۰	۲۸۶۶۸۰۰	+۱۵۹۰۰۰	۵/۸۷
۵۰٪ نیاز آبی، سوپر جاذب	۲۴۹۵۰	۵۴۲۵۰۰۰	۲۰۹۸	-۱۸۸۸۲۰۰	-۱۶۰۰۰۰۰	۳۱۹۴۳۰۰	+۴۱۶۵۰۰	۱۷/۹۶
۵۰٪ نیاز آبی، میکوریز	۳۴۵۷۰	۵۱۸۵۵۰۰	۲۰۹۸	-۱۸۸۸۲۰۰	-۱۰۰۰۰۰۰	۳۲۸۷۳۰۰	+۵۷۹۵۰۰	۲۱/۴۰
۵۰٪ نیاز آبی، سوپر جاذب و میکوریز	۳۶۱۲۰	۵۴۱۸۰۰۰	۲۰۹۸	-۱۸۸۸۲۰۰	-۱۷۰۰۰۰۰	۳۳۵۹۸۰۰	+۶۵۲۰۰۰	۲۴/۰۷

\* برآورد سود و زیان کلیه تیمارها در مقایسه با شاهد آزمایش با احتساب قیمت واقعی آب مصرفی (۹۰۰,۰۰۰ ریال به ازاء هر مترمکعب) و همچنین قیمت فروش سیب زمینی از قرار کیلویی ۱۵۰ هزار ریال صورت پذیرفته است.

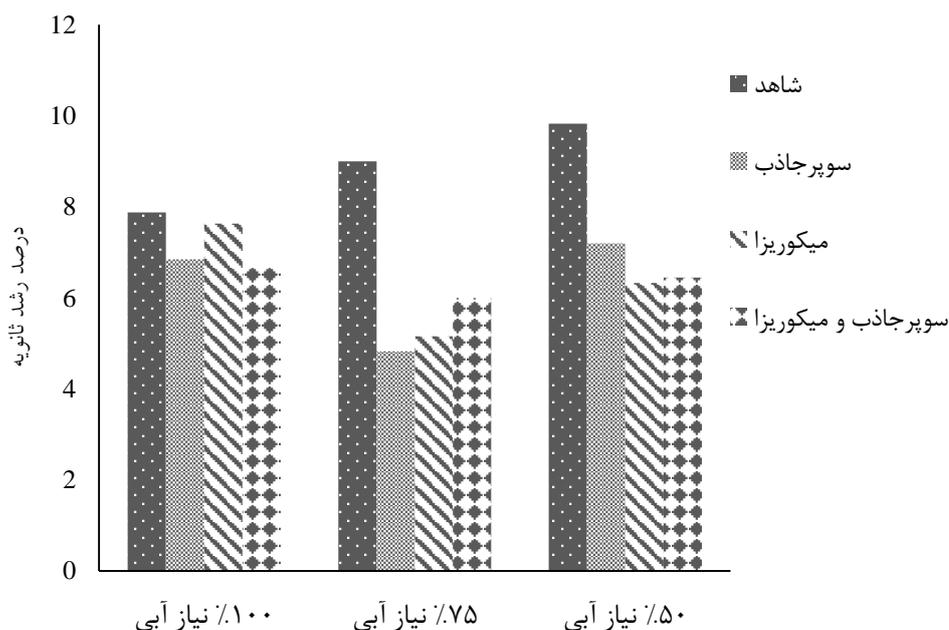
با تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی (برآورده کردن نیاز آبی کامل گیاه) سیب زمینی و استفاده تلفیقی از سوپر جاذب و میکوریز بیشترین عملکرد کل غده حاصل گردید که با متوسط ۴۴/۴۰ تن در هکتار تفاوت معنی دار با سه تیمار دیگر از این سطح آبیاری و نیز سایر تیمارها داشت. در مجموع استفاده از میکوریز و سوپر جاذب و همچنین کاربرد توأم آنها سبب افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد در هر سه سطح آبیاری شد. اما صرفاً در تیمار ترکیبی میکوریز و سوپر جاذب در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت معنی دار ایجاد شد. استفاده از میکوریز و سوپر جاذب در دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی اثر معنی داری بر میزان ماده خشک غده ایجاد نکرد و در هر دو سطح آبیاری تیمارهای شاهد و میکوریز و سوپر جاذب و نیز تلفیق آنها، درصد ماده خشک غده بسیار به هم نزدیک بود. اما در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی (اعمال کم آبیاری شدید) افزایش قابل توجه و معنی داری در درصد ماده خشک غده بین تیمار شاهد و تیمارهای میکوریزی و نیز سوپر جاذب ایجاد شد. باتوجه به جداول (۳) و (۴)، در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در تیمارهای میکوریز، سوپر جاذب و نیز تلفیق آنها ماده خشک غده به ترتیب ۲۰/۰۷، ۲۰/۵۲ و ۲۰/۳۹ درصد بود که در مقایسه با تیمار شاهد در همین سطح آبی (با متوسط ۱۸/۷۲ درصد ماده خشک غده) تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد نشان داد.

باتوجه به جداول (۳) و (۴)، استفاده از میکوریز و سوپر جاذب و به ویژه تلفیق آنها موجب شد که بهره وری مصرف آب نسبت به تیمار شاهد به طور قابل ملاحظه ای افزایش یابد (متوسط ۲۴/۸ درصد). این افزایش در کاربرد توأم میکوریز و سوپر جاذب با سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد میکوریز و سوپر جاذب بسیار چشمگیرتر بود (متوسط ۴۴/۹۸ درصد). در مجموع بیشترین بهره وری مصرف آب به میزان ۱۸/۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب و در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در استفاده توأم از میکوریز و سوپر جاذب ایجاد شد که نسبت به ۳ تیمار دیگر در این سطح آبیاری و سایر تیمارها تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد نشان داد. کمترین بهره وری مصرف آب (با متوسط ۱۱/۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب آب) با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون استفاده از میکوریز و سوپر جاذب حاصل شد که صرفاً با کاربرد سوپر جاذب در این سطح آبیاری تفاوت معنی دار نشان نداد؛ اما با سایر تیمارها تفاوت معنی دار شد.

میزان رشد ثانویه در غده‌ها با کاهش آبیاری وابستگی مستقیم داشت. به طوری که تیمارهای شاهد در دو سطح آبیاری ۵۰ و ۷۵ در صد نیاز آبی بیشترین میزان رشد ثانویه در غده را داشتند که به ترتیب با متوسط ۹/۸۳ و ۹/۰۰ در صد رشد ثانویه، اختلاف معنی‌دار با شاهد آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و سایر تیمارهای میکوریز و سوپر جاذب از سه سطح آبیاری نشان دادند. استفاده از سوپر جاذب و میکوریز و همچنین تلفیق آن‌ها در کاهش رشد ثانویه در تیمار آبیاری ۱۰۰ در صد نیاز آبی تأثیر معنی‌دار نداشتند. اما در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، استفاده از کود زیستی و سوپر جاذب و نیز تلفیق آن‌ها به صورت قابل توجهی کاهش در رشد ثانویه در غده‌ها ایجاد کردند که در شکل (۱) قابل مشاهده است.

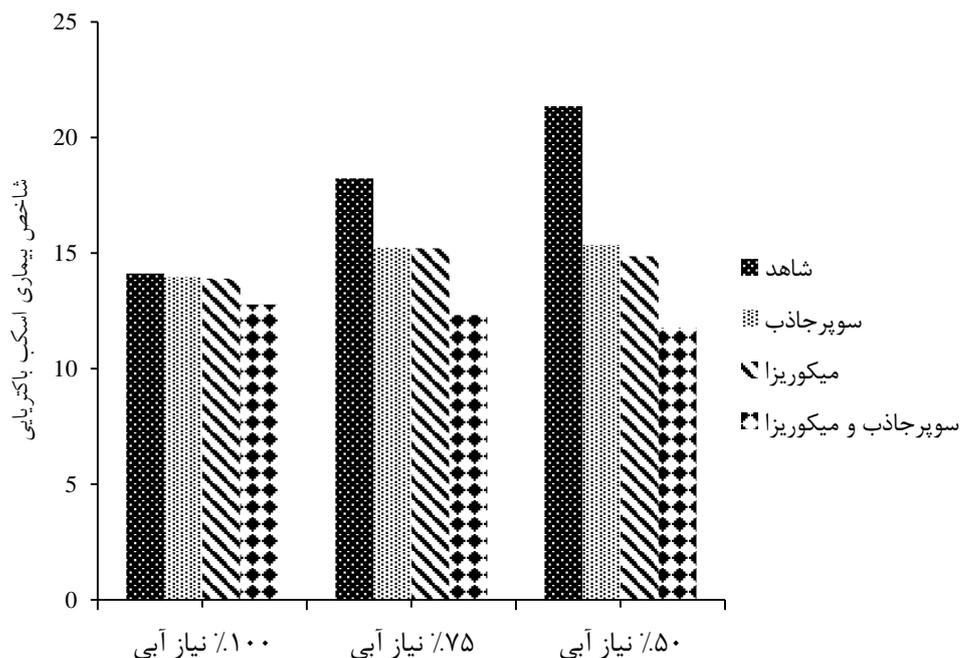
در این آزمایش هزینه‌های تمام شده تهیه زمین، آزمایش خاک، عملیات زراعی، سم، کود و سایر نهاده‌ها برای کلیه تیمارها یکسان بود، لذا سود حاصل از افزایش عملکرد صرفاً ناشی از استفاده از ماده سوپر جاذب و میکوریز و نیز صرفه‌جویی در مصرف آب و اضافه شدن قیمت واقعی و تمام شده آب به درآمدهای حاصل است. معمولاً قیمت واقعی آب در کشاورزی در هر منطقه تابعی از میزان نزولات جوی و توزیع زمانی آن‌ها، حجم ذخایر آب زیرزمینی، و میزان تنوع و نیاز جانداران موجود در زیست‌بوم منطقه بوده و مقدار آن بسته به وضعیت بحرانی و یا سطح هشدار کمبود آب در منطقه می‌تواند از ضریب ۳ تا ۵ برابر قیمت متعارف آب در منطقه افزایش یابد. با توجه به وضعیت بحرانی آب در استان همدان و توزیع نامناسب بارش در طول فصل رشد، به نظر می‌رسد که تخصیص ضریب ۳ به قیمت متعارف آب در منطقه (هر مترمکعب ۳۰۰,۰۰۰ ریال) و تعیین قیمت واقعی آب در همدان در حد ۹۰۰ هزار ریال به ازاء هر مترمکعب عادلانه و منطقی باشد؛ بنابراین در محاسبه سود و زیان حاصله هزینه خرید سوپر جاذب و میکوریز از درآمد ایجاد شده از فروش غده سیب‌زمینی (هر کیلوگرم معادل ۱۵۰,۰۰۰ ریال) کسر گردیده و در مقابل سود حاصل از قیمت واقعی تمام شده صرفه‌جویی در مصرف آب (هر مترمکعب ۹۰۰,۰۰۰ ریال) به درآمد حاصله اضافه شد. با توجه به اینکه مقدار مصرف سوپر جاذب ۸۰ کیلوگرم در هکتار و کود زیستی میکوریز ۳ کیلوگرم (جهت بذر کردن ۴ تن غده بذری) در این آزمایش توصیه گردید و در زمان اجرای پروژه قیمت تمام شده ماده سوپر جاذب به ازاء هر کیلوگرم ۲۰۰ هزار تومان و هر کیلوگرم کود زیستی میکوریز ۳۲۰ هزار تومان بوده است. بنابراین زارع سیب‌زمینی کار حدود ۱۷ میلیون تومان با مصرف این دو ماده در هکتار هزینه متقبل می‌گردد. با در نظر گرفتن محاسبات اقتصادی فوق مشخص شد که زارع سیب‌زمینی کار با کاهش میزان آب آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی در صورت عدم مصرف سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز، حداکثر به میزان ۴۸۰ هزار تومان در هکتار سود عاید خواهد نمود و آن هم ناشی از کسر هزینه قیمت واقعی آب مصرفی است. اما با مصرف سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز و در همین میزان آب آبیاری (۷۵ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی) حدود ۳۹ میلیون تومان در هکتار درآمد در مقایسه با شاهد نصیب زارع سیب‌زمینی کار می‌شود (افزایش ۱۴/۶۷ در صد درآمد در مقایسه با شاهد). با کاهش بیشتر میزان آب آبیاری و در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی نیز افزایش قابل توجهی در درآمد نسبت به شاهد (حدود ۱۶ میلیون تومان) به دلیل صرفه‌جویی بیشتر در مصرف آب و قیمت واقعی تمام شده آن نصیب زارع شده است. این مقدار افزایش درآمد کشاورز نسبت به شاهد حدود ۶ درصد در هکتار است. اما استفاده تلفیقی از کود زیستی میکوریز و سوپر جاذب در همین شرایط کم آبیاری شدید (با ۵۰ درصد نیاز آبی) منجر به افزایش قابل توجه بازدهی و سوددهی اقتصادی زارع سیب‌زمینی کار گردید (افزایش ۶۵ میلیون تومانی و ۲۴ درصدی درآمد در مقایسه با شاهد). استفاده از میکوریز به تنهایی و در تیمار کم آبیاری خفیف (آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی) کشاورز را با کاهش درآمد ۱۷ میلیون تومانی (کاهش درآمد ۶/۴ درصدی) در هکتار نسبت به شاهد مواجه خواهد کرد، اما با کاهش شدید آب آبیاری در سیب‌زمینی (۵۰ درصد نیاز آبی)، میکوریز اثر مثبت خود را نشان داده و درآمد کشاورز نسبت به شاهد به بیش از ۵۷ میلیون تومان در هکتار (افزایش ۲۱/۴۰ درصدی) رسید. در مقابل استفاده جداگانه از سوپر جاذب در هر دو شرایط کم آبیاری، به میزان قابل توجهی به نفع کشاورز خواهد بود، به طوری که در هر دو شرایط کم آبیاری به طور متوسط منجر به افزایش درآمد ۳۹ میلیون تومان (افزایش ۱۴ درصدی) در هکتار در مقایسه با شاهد خواهد رسید که نتایج در جدول (۵) ارائه شده است.

چنانچه افزایش ارزش کیفی و بازاریابی غده‌های تولیدی (کاهش بیماری اسکب و نیز غده‌های بدشکل به دلیل استفاده از میکوریز و سوپر جاذب) را به نتایج مثبت افزایش عملکرد و بالا رفتن بهره‌وری مصرف آب اضافه نماییم، سود اقتصادی حاصل از کاربرد سوپر جاذب و میکوریز دوچندان خواهد بود.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آبیاری و استفاده از کود زیستی میکوریز و سوپر جاذب در میزان رشد ثانویه و بدشکلی غده در سبب زمینی

در شدت بیماری اسکب در دو سطح آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی و با عدم کاربرد سوپر جاذب و میکوریز بیشترین میزان آلودگی ایجاد شد که به ترتیب با متوسط ۲۱/۳۵ و ۱۸/۲۳ درصد آلودگی صرفاً با تیمار شاهد ۱۰۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی دار نداشت. استفاده از سوپر جاذب در مقایسه با کود زیستی میکوریز اثر قابل توجه بیشتری بر کاهش شدت شاخص آلودگی اسکب داشت. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی استفاده جداگانه و توأم از سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز تأثیر معنی داری بر کاهش بیماری اسکب نداشت. اما در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی کاربرد جداگانه سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز و در ترکیب با همدیگر قادر به کاهش معنی دار در شدت شاخص آلودگی به اسکب شدند. البته این اثرات کاهش در کاربرد توأم آن‌ها چشمگیرتر بود. در مجموع و در هر سه تیمار آبیاری اثرات تلفیق سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز در کاهش اسکب موثرتر از کاربرد جداگانه آن‌ها بود که در شکل (۲) قابل مشاهده است.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آبیاری و استفاده از کود زیستی میکوریز و سوپر جاذب در میزان شاخص بیماری اسکب باکتریایی در سیب زمینی

### بحث

ثابت شده است که مقدار ماده خشک غده در سیب زمینی با فسفر برگ و میزان فسفر خاک همبستگی مثبت دارد (آندریا و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰، سوبرامانیان و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸). باتوجه به اینکه فسفر عنصری ضروری برای متابولیسم‌های گیاهی به خصوص در متابولیسم کربوهیدرات است و از طرفی قارچ‌های میکوریز نقش بسیار مؤثری در جذب فسفر و به‌ویژه در شرایط کم‌آبی دارند (دیویس و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵)، به نظر می‌رسد که تأمین فسفر مورد نیاز گیاه در شرایط هم‌زیستی سیب زمینی با قارچ میکوریز موجب تقویت انجام متابولیسم‌های لازم در جهت افزایش ذخیره کربوهیدرات غده و نشاسته می‌شود. بر اساس دیگر داده‌های منتشر شده از این تحقیق (پرویزی و همکاران، ۱۴۰۲) مشخص شد که کاربرد جداگانه میکوریز و ترکیب میکوریز و سوپر جاذب در جذب فسفر در سیب زمینی در مقایسه با تیمارهای سوپر جاذب و شاهد در هر سه سطح آبیاری اثر قابل توجهی داشته است. این اثرات مثبت میکوریز در جذب فسفر و افزایش میزان آن در شاخ و برگ و در نهایت غده سیب زمینی با شدت کم آبیاری رابطه مستقیم داشت و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در بالاترین سطح قرار گرفت؛ بنابراین این امر می‌تواند دلیل قانع کننده در افزایش ماده خشک گیاه و در نتیجه ماده خشک غده‌ها در شرایط استفاده از کود زیستی میکوریز باشد. با نتایج این پژوهش مشخص شد که به موازات کاهش میزان آبیاری استفاده توأم از کود زیستی میکوریز و سوپر جاذب سبب افزایش تعداد غده و همچنین عملکرد کل نسبت به کاربرد جداگانه سوپر جاذب و میکوریز و نیز تیمار شاهد می‌شود. به نظر می‌رسد که استفاده از سوپر جاذب در شرایط کم‌آبی به استقرار میکوریز کمک کرده و بهره‌وری آن را به‌ویژه در شرایط تنش آبی افزایش داده است. یا ممکن است در شرایط تنش سوپر جاذب با جذب و تثبیت مواد غذایی بیشتر به اندوخته مواد غذایی در فضای اطراف ریشه کمک کرده و با فراهم نمودن مواد غذایی بیشتر سبب افزایش ظرفیت جذب در ریشه‌های قارچ میکوریز بشود. در همین زمینه گزارش شده است که استفاده از سوپر جاذب سبب تشدید فعالیت قارچ‌های میکوریز می‌گردد (هادی و کلانتر، ۱۳۹۴).

<sup>۱</sup> Andrea et al

<sup>۲</sup> Subramanian et al

<sup>۳</sup> Davies et al

نقش مثبت استفاده از کود زیستی میکوریز در کاهش شاخص آلودگی به بیماری اسکب باکتریایی با اثرات مستقیم میکوریز در تولید مواد فیتوتوکسینی و یا اثرات غیرمستقیم آن در تسخیر جایگاه‌های فعال ریشه و افزایش جذب و انتقال مواد غذایی و تعدیل اثرات تنش مرتبط است (پوزو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲، زوو و یائو<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴). همچنین در این پژوهش نتایج مشابهی در استفاده از سوپر جاذب در کاهش شاخص آلودگی به بیماری اسکب به‌ویژه در تیمارهای تنش رطوبتی ایجاد شد. این موضوع می‌تواند به توانایی سوپر جاذب در فراهم کردن رطوبت در محلول خاک و محیط ریشه و افزایش قدرت جذب مواد غذایی و در نتیجه بالابردن قدرت رشد و نهایتاً افزایش توان مقابله گیاه با عامل بیماری اسکب در شرایط تنش مرتبط باشد. چرا که اساساً بیماری اسکب در سیب‌زمینی اگرچه تحت شرایط pH خاک و پتانسیل آلودگی آن قرار می‌گیرد، اما یک بیماری مدیریتی محسوب شده و تنظیم بهینه رطوبت خاک با پرهیز از تنش، نقش بسیار مهمی در کاهش آلودگی به بیماری اسکب در سیب‌زمینی دارد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثرات مثبت میکوریز و سوپر جاذب در افزایش ماده خشک غده، کاهش رشد ثانویه و بدشکلی غده و همچنین کاهش میزان آلودگی به بیماری اسکب در شرایط کم آبیاری شدید، بیشتر مشهود بود. در مجموع بهره‌وری مصرف آب با مصرف میکوریز و سوپر جاذب در هر دو شرایط کم آبیاری (تیمارهای آبی ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی) در مقایسه با تیمار شاهد به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. با محاسبه سود و زیان اقتصادی ناشی از مصرف سوپر جاذب و میکوریز و قیمت تمام شده آب مصرفی، مشخص شد که زارعین سیب‌زمینی کار با مصرف توأم سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز در شرایط کم آبیاری می‌توانند ضمن صرفه‌جویی ۲۵ تا ۵۰ درصدی در مصرف آب استان همدان، به طور متوسط به افزایش درآمد ۵۲ میلیون تومان در هکتار نسبت به شاهد نیز رسیده و به پایداری تولید سیب‌زمینی در استان همدان کمک نمایند.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از جناب آقای دکتر محمدرضا بختیاری معاون پژوهشی مرکز که تلاش لازم را برای تهیه مواد آزمایشی، تأمین تجهیزات و سیستم آبیاری و همچنین هماهنگی لازم در اجرای آزمایش در مزرعه را فراهم نمودند، سپاسگزاری می‌نمایند. همچنین مجریان پروژه از همکاری جناب آقای مهندس عبدالرضا مرادی، مسئول ایستگاه تحقیقات اکباتان جهت اجرای پروژه در مزرعه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### منابع

- رشیدی، نریمان، ارجی، عیسی، گردکانه، محمد، و کاشی، عبدالکریم. (۱۳۹۲). اثر مواد آلی و سوپر جاذب آب بر عملکرد و اجزا آن در سیب‌زمینی رقم مارفونا. *مجله فناوری تولیدات گیاهی*، ۱۳(۲)، ۱۱-۲۲. <https://doi.10.22084/ppt.2019.14734.177>
- بانج شفیعی، شهرام، و رهبر، اسماعیل. (۱۳۸۲). بررسی کارایی نوعی پلیمر آب‌دوست در کشاورزی و منابع طبیعی الف-تأثیر پلیمر بر پدیده رویشی و موفقیت پانیکوم. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۰(۱)، ۱۱۱-۱۲۹. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119699>
- پرویزی، خسرو، یزدانپناه، علیرضا، و مرادی عاشور، بهروز. (۱۴۰۲). بررسی اثر کاربرد سوپر جاذب رطوبتی و تلقیح با قارچ میکوریزا بر جذب عناصر غذایی، کارایی مصرف آب و عملکرد گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در شرایط کم آبیاری. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۱۵(۲)، ۳۸۰-۳۵۹. <https://doi.org/10.22067/agry.2021.71426.1057>
- جهان، محسن، کماستانی، نفیسه، و رنجبر، فاطمه. (۱۳۹۲). امکان سنجی استفاده از سوپر جاذب رطوبت به‌منظور کاهش تنش خشکی وارده به ذرت در یک نظام زراعی کم نهاده در شرایط مشهد. *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۵(۳)، ۲۷۲-۲۸۱. <https://doi.10.22067/jag.v5i3.28999>

<sup>۱</sup> Pozo et al

<sup>۲</sup> Zhu & Yao

هادی، هاشم، و کلاتر، عبدالقادر. (۱۳۹۴). اثر هم‌زیستی میکوریز، مصرف ژل سوپر جاذب و گلایسین بتائین و عصاره چغندر قند بر صفات ( در شرایط تنش خشکی. نشریه علوم زراعی ایران، ۱۷(۳)، ۲۵۰-۲۳۶. *Ricinus communis L.* عملکرد دانه کرچک <https://doi.org/10.115625540.1394.17.3.5.1>

## References

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., & Wright, J.L. (2005). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131, 2–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437)
- Andrea, A.V., Muriel, Q., Stanley, L., Juanpablo, M., & Carolina Lizana, X. (2020). Tuber yield and quality responses of potato to moderate temperature increase during Tuber bulking under two water availability scenarios. *Field Crops Research*, 251, 1071- 1086. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107786>
- Banedjschafiee, S., & Rahbar, E. (2003). Efficiency of a hydrophilic polymer in agriculture and natural resources. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 10(1), 111-129. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119699> [In Persian]
- Boomsma, C.R., & Vyn, T.J. (2008). Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, 108, 14–31. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.002>
- Davies, J., Calderón, F.T., & Huainan, Z. (2005). Influence of arbuscular on growth, Yield, and leaf elemental concentration of 'Yungay' potatoes. *Hort Science*, 40, 381-385. <https://doi.org/10.1080/01448765.2007.10823209>
- Feng, G., Zhang, F.S., Tian, C.Y., & Tang, C. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*, 12, 185–190. <https://doi.org/10.1007/s00572-002-0170-0>
- Gaurav, S.S., Sirohi, S.P.S., Singh, B., & Sirohi, P. (2010). Effect of mycorrhiza on growth, yield and tuber deformity in Potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under water stress conditions. *Progress Agriculture*. 10, 31-40. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20113004997>
- Hadi, H., & Kalantar, A. (2017). Effects of mycorrhizal symbiosis, application of super absorbent gel, glycine- betain and sugar beet extract on physiological traits and seed yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) in drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science (IJFCS)*, 17(3), 236-250. <https://doi.org/10.1001.1.15625540.1394.17.3.5.1> [In Persian]
- Hao, J.J., Meng, Q.X., Yin, J.F., & Kirk, W.W. (2009). Characterization of a new *Streptomyces* strain, DS3024 that causes potato common scab. *Plant Diseases Journal*, 93, 1329–1334. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-12-1329>
- Jahan, M., Kamayestani, N., & Ranjbar, F. (2013). The feasibility of using superabsorbent moisture to reduce drought stress in corn in a low input system. *Journal of Agroecology*, 5(3), pp.272-281. <https://doi.org/10.22067/jag.v5i3.28999> [In Persian]
- Johansen, T., Dees, M., & Hermansen, A. (2015). High soil moisture reduces common scab caused by *Streptomyces turgidiscabies* and *Streptomyces europaeiscabiei* in potato. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 65(3), 37-41. <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.988641>
- Mao, R., Islam, S., Xue, X., Yang, X., Zhao, X., & Hu, Y. (2011). Evaluation of a water-saving superabsorbent polymer for corn (*Zea mize* L.) production in arid regions of Northern China. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (17), 4108-4115. <https://www.researchgate.net/publication/260480842>
- Parvizi, K., Yazdanpanah, A., & Moradi-Ashour, B. (2023). Evaluation the of the effect of application of superabsorbent and mycorrhiza inoculation on nutrient uptake, water use efficiency and yield of potato (*Solanum tuberosum*) plant in deficit irrigation conditions. *Journal of Agroecology*, 15(2), 359-380. <https://doi.org/10.22067/agry.2021.71426.1057>

- Pozo, M.J., Cordier, C., Dumas-Gaudot, E., Gianinazzi, S., Barea, J.M., & Azcon-Aguilar, C. (2002). Localized versus systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defence responses to *Phytophthora* infection in tomato plants. *Journal of Experimental Botany*, 53, 525-534. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.368.525>
- Rashidi, N., Arji, I., Gerdekaneh, M., & Kashi, A. (2014). The Effect of Organic Manure and Water Super Absorbent on Tuber Yield and Yield Components of Potato (*Solanum tubersum*, cv. Marfona). *Plant production Technology*, 5(2), 11-22. <https://doi.org/10.22084/ppt.2019.14734.177> [In Persian]
- Ryan, J.R., Stefan, G., & Rashid, A. (2001). Soil and Plant Analysis Laboratory Manual (2nd edition). ICARDA, Aleppo, Syria. <https://www.researchgate.net/publication/236984396>
- Subramanian, K. S., Bharathi, C.A., & Jegan, O. (2008). Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. *Biology Fertile Soil*, 45, 133-144. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97742-1>
- Wilson, C.R., Pemberton, B.M., & Ransom, L.M. (2001). The effect of irrigation strategies during tuber initiation on marketable yield and development of common scab disease of potato in Russet Burbank in Tasmania. *Potato Research*, 44, 243-251. <https://doi.org/10.1007/BF02357902>
- Zhu, H.H., & Yao, Q. (2004). Localized and systemic increase of phenols in tomato roots induced by *Glomus versiforme* inhibits *Ralstonia solanacearum*. *Journal of Phytopathology*, 152, 537-542. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0434.2004.00892.x>



## Effect of longitudinal training wall (LTW) on improving flow pattern at the side channel intakes

Javad Ahadian <sup>1</sup> , Behnam Sadeghi <sup>2</sup> , Mahmood Shafaei Bajestan <sup>3</sup> , Seyed Mohsen Sajjadi<sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Corresponding Author, Department of Water structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. E-mail: [j.ahadiyan@scu.ac.ir](mailto:j.ahadiyan@scu.ac.ir)

<sup>2</sup> Department of Water structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. E-mail: [Sadeghi\\_Behnam@yahoo.com](mailto:Sadeghi_Behnam@yahoo.com)

<sup>3</sup> Department of Water structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. E-mail: [m\\_shafai@yahoo.com](mailto:m_shafai@yahoo.com)

<sup>4</sup> Department of Water structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. E-mail: [sajjadi.mohsen@gmail.com](mailto:sajjadi.mohsen@gmail.com)

### ABSTRACT

Water intakes are used to diversion from the main rivers for various water supply purposes. The most appropriate diversion method is to create a side channel intake in the plains from the rivers located in the plains, such as the Karun River. Creating such a system causes a complicated flow. The velocity vectors are directed toward the intake as the flow approaches the side channel. This research investigates the effect of the separating wall on the hydraulics of the river flow before the lateral intake. To achieve this purpose, the separating wall as a longitudinal training wall (LTW) was used in two submerged and non-submerged states in five flow rates of 40, 50, 60, 70, and 85 L/s, and two gate opening modes with 30 and 100% opening. Likewise, the flow depth before and after the submerged and non-submerged wall was compared with the control condition. The results showed that the submerged wall has a more significant effect on the flow depth than the non-submerged wall, and in many discharges, it caused a decrease in the flow depth downstream. The most considerable reduction in the flow rate was 40 L/s, and the opening of 100% was due to the operation of the submersible wall and the decrease in depth by 4.76%. Three points at the wall's beginning, middle, and end were considered to investigate the effect of the submerged wall on the flow velocity. However, in the five discharges, 40, 50, 60, 70, and 85L/s, the velocity reduction was equal to 60, 55.2, 45.9, 37.5, and 29.4%, respectively. When the flow rate increases, the effect of the wall on the speed also decreases. Investigating the effect of the separating wall in both submerged and non-submerged conditions on the diversion discharge showed that the non-submersible barrier in all the discharges caused an insignificant decrease in the discharge. However, the submerged wall, which had a flow rate of 40 L/s, increased the flow rate by 12.29%. As the flow rate increases, the effect of this wall on the water intake will also decrease.

**Keywords:** flow pattern, flow depth, side channel intake, separating wall, longitudinal training wall (LTW)

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 17 May 2024 Revised: 23 August 2024 Accepted: 23 November 2024 Published: 21 December 2024

### 1. Introduction

One of the problems of most intakes is the accumulation of sediments in the inlet, which significantly reduces their capacity. In addition, sediments entering the intake channel also increase the problems caused by the lack of control of the sediments entering the intakes. Its transfer into irrigation canals and facilities causes many issues due to transporting sediments or settling them in different parts., Pay more attention to controlling sediments in water intake projects to reduce dredging costs and prevent sediments from entering the openings. There are various methods to reduce or prevent sediment entry into the intake inlet. In this research, the effect of several types of structures is investigated to reduce the sedimentation at the intake inlet. So, the effect of the longitudinal separating wall system on the flow patterns of the flow velocity and depth values before the intake inlet was investigated. In this regard, the investigation of the mentioned new structure to modify the flow and sediment pattern for different discharges was carried out experimentally.

### 2. Methodology

#### 2.1. Experimental model

In this research, the physical model of the Hemet intake was built in the hydraulic laboratory of the Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. The area of the Shahid Hemat Shadgan Irrigation Network Project is 9015 hectares at south of Khuzestan province and the Shadgan zone. The water intake of the mentioned project is done from the Jarhari River, and the important networks of this river are as follows. The river model includes a flow-calming basin to minimize the effects of pumping on the formed profiles. At the end of this channel, three sliding gates and a water intake were installed on the channel's left wall. In addition, the separating wall was at a distance of 2m from the side channel. The length of this separating wall was 2m. The required width for the main channel will be 2.2 meters, the height will be about 90 centimeters, and a 79-degree water catchment will be installed at a distance of about 5 meters from its beginning. The required dimensions will be determined based on a scale of 1 to 15 for geometrical dimensions and 1 to 5 to 8 for depth based on the physical

---

conditions of the Hemet reservoir and the Jareh River. In this regard, five flow rates with three values of opening percentage of the end gate of the channel, without the operation of the separating wall, were considered a control test. Then, the tests mentioned in two conditions of submerged and non-submerged walls were also taken to compare the effect of these walls. After the measured flow depth upstream and downstream of the separating wall, in each experiment, the flow rate was taken through the end spillway of the lateral intake. The total flow rate entering the main channel and the end intake spillway reading were compared to calculate the end gate's opening value.

### 3. Results and discussion

The results of the tests showed that the flow depth at the beginning and end of the separating wall increases with the increase of the total flow rate in the case where the end gates are entirely closed. By comparing the flow depth at the beginning and end of the separating wall, it can be seen that the flow depth after the structure has decreased in all flows. Also, the separating wall does not affect the flow depth in the two states of standing and non-submerged compared to the control state. It was also observed with the velocity measurement that when the flow enters the path of the separating wall, the flow velocity decreases, and the lowest recorded velocity is in the middle of the wall. As the flow towards the end of the wall, the velocity flow will increase. In five discharges, 40, 50, 60, 70, and 85 L/s reduction in velocity was obtained by 60, 55.2, 45.9, 37.5 and 29.4% respectively. In addition, the results of the experiment showed that the operation of the separating wall in the submerged state has increased the flow rate in the lateral catchment. The non-submerged wall also had the opposite result in the same situation and reduced the flow rate in the side channel intake. As can be seen, with the increase in the flow rate, the effect of the walls on the rise in the flow rate of the side aerator has also decreased, and this can be caused by the increase in velocity in the main channel. In all cases, the effect of the submerged barrier is more noticeable than the non-submerged one in increasing the intake discharge. In general, the impact of the separating wall on the increase in flow rate has been practical only in low flow rates.

### 4. Conclusions

In this research, the effect of the longitudinal training wall (LTW) wall on the hydraulics of the river flow before the lateral intake was investigated. The side wall was installed in two submerged (height 20 cm) and non-submerged (height 40 cm) in the middle of the main channel. Experiments were performed in 5 flow rates of 40, 50, 60, 70, and 85 L/s and in two gate opening states of 30 and 100%. The flow depth before and after the submerged and non-submerged wall was compared with the control condition. The results showed that the submerged wall had a more significant effect on the flow depth than the non-submerged wall. In many discharges, it caused a decrease in the flow depth downstream; three points at the beginning, middle, and end of the wall were investigated to investigate the effect of the submerged wall on the flow velocity. In the five discharges, 40, 50, 60, 70, and 85 L/s, the velocity reduction was equal to 60, 55.2, 45.9, 37.5, and 29.4%, respectively. The effect of the separating wall in both submerged and non-submerged states on the water discharge rate was investigated. The results showed that the non-submersible barrier has gradually reduced the intake discharge in all discharges.

### 5. References

- Barkdoll, B.D., Etema, R., & Odgaard, J. (1999). Sediment control at lateral diversion: limits and enhancements to vane use. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(8), 862-870. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:8\(862\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:8(862))
- Khaled, K., Afzal, A., Ghumman, A.R., Hashmi, H.N., & Ashraf, M. (2014). Sediment transport investigations using three-dimensional numerical modeling in a large Canal: Marala Ravi Link Canal (Pakistan). *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(3),1-13. <https://www.researchgate.net/publication/261361149>
- Neary, V.S., Sotiropoulos, F., & Odgaard, A.J. (1999). Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *Hydraulic Engin*, 125(2), 126-140. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:2\(126\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:2(126))
- Al-Zubaidy, R., & Hilo, A. (2022). Numerical investigation of flow behavior at the lateral intake using Computational Fluid Dynamics (CFD). *Materials Today: Proceedings*, 56(4), 1914-1926. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.172>
- Sruthi, T.K., Ranjith, K.B., & Chandra, V. (2017). Control of sediment entry into an intake canal by using submerged vanes. *AIP Conference Proceedings*, 1875(1), 030007. <https://doi.org/10.1063/1.4998378>
- Wei, H., Feng, S., Zhang, J., Tang, H., Xiao, Y., Chen, S., & Liu, C. (2023). Hydrodynamic characteristics and particle tracking of 90° lateral intakes at an inclined river slope, *Water Science and Engineering*, 17(2), 197-208. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.11.004>

### 6. Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

### 7. Acknowledgments

The authors would like to thank Shahid Chamtran University of Ahvaz for providing the facilities to carry out the laboratory experiments of this paper.

---

**Cite this article:** Ahadian, J., Sadeghi, B., Shafaei Bajestan, M., & Sajjadi, S.M. (2024). Effect of longitudinal training wall (LTW) on improving flow pattern at the side channel intakes, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(4), 51-67. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10776.1128>





## بررسی آزمایشگاهی اثر دیوار جداکننده هدایتی در اصلاح الگوی جریان ورودی به آبگیرهای جانبی

جواد احدیان<sup>۱</sup> , بهنام صادقی<sup>۲</sup> , محمود شفاعی بجستان<sup>۳</sup> , سید محسن سجادی<sup>۴</sup> 

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: [j.ahadiyan@scu.ac.ir](mailto:j.ahadiyan@scu.ac.ir)

<sup>۲</sup> گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: [Sadeghi\\_Behnam@yahoo.com](mailto:Sadeghi_Behnam@yahoo.com)

<sup>۳</sup> گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: [m\\_shafai@yahoo.com](mailto:m_shafai@yahoo.com)

<sup>۴</sup> گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: [sajjadi.mohsen@gmail.com](mailto:sajjadi.mohsen@gmail.com)

### چکیده

انحراف آب از مسیر اصلی برای اهداف مختلف آبرسانی توسط آبگیرها انجام می‌شود. از جمله روش‌های مناسب انحراف آب رودخانه‌ها به دشت‌های مجاور استفاده از آبگیر جانبی است. ایجاد چنین سیستمی باعث به وجود آمدن جریان بسیار پیچیده‌ای در محدوده‌ی آبگیر جانبی می‌شود. با نزدیک شدن جریان به کانال آبگیر جانبی بردارهای سرعت به سمت آبگیر هدایت می‌شوند. در این طرح به بررسی اثر دیوار جداکننده بر هیدرولیک جریان رودخانه قبل از آبگیر جانبی پرداخته شده است و بدین منظور از دیوار جداکننده در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق در پنج دبی ۷۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰ و ۸۵ لیتر بر ثانیه و دو حالت بازشدگی در پیچه با ۳۰ و ۱۰۰ درصد بازشدگی استفاده گردید. مقدار عمق جریان در قبل و بعد از دیوار مستغرق و غیرمستغرق با حالت شاهد مقایسه گردید. نتایج نشان داد که دیوار مستغرق اثر بیشتری نسبت به دیوار غیر مستغرق بر عمق جریان دارد و در بسیاری از دبی‌ها موجب کاهش عمق جریان در پایین‌دست آبگیر گردید. بیشترین مقدار کاهش معادل ۴/۷۶ درصد در دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۱۰۰ درصد در پیچه در اثر کارگذاری دیوار مستغرق بود. جهت بررسی اثر دیوار مستغرق بر سرعت جریان، مقادیر سرعت جریان در سه نقطه ابتدا، وسط و انتهای دیوار، در پنج دبی ۷۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰ و ۸۵ لیتر بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد درصد کاهش سرعت در میانه دیوار نسبت به ابتدای آن به ترتیب برابر ۶۰، ۵۵/۲، ۴۵/۹، ۳۷/۵ و ۲۹/۴ درصد است که با افزایش دبی اثر دیوار بر مقادیر سرعت نیز کاهش یافت. بررسی اثر دیوار جداکننده در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق بر مقدار دبی آبگیر نشان داد که مانع غیر مستغرق در تمامی دبی‌ها به‌طور نامحسوسی موجب کاهش دبی آبگیر شده است؛ اما دیوار مستغرق در دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه موجب افزایش دبی به مقدار ۱۲/۲۹٪ گردید. با افزایش دبی اثر این دیوار بر دبی آبگیر نیز کاهش پیدا خواهد کرد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوی جریان، عمق جریان، آبگیر جانبی، دیوار جداکننده

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**سابقه مقاله:** دریافت: ۲۸ اردیبهشت ۱۴۰۳ اصلاح: ۰۲ شهریور ۱۴۰۳ پذیرش: ۰۳ آذر ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ دی ۱۴۰۳

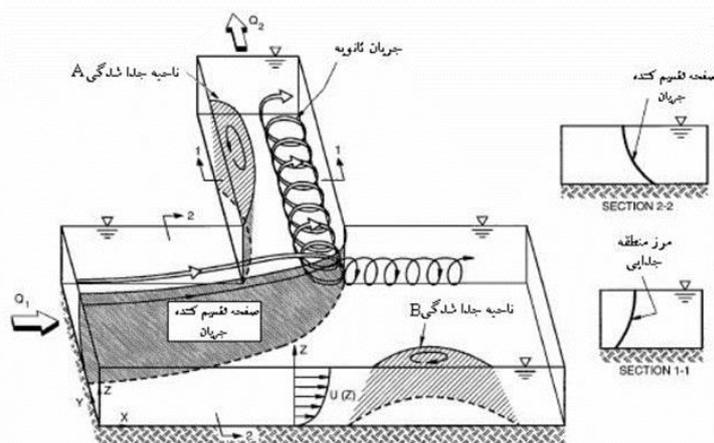
**استناد:** احدیان، ج، صادقی، ب، شفاعی بجستان، م، و سجادی، س.م. (۱۴۰۳). بررسی آزمایشگاهی اثر دیوار جداکننده هدایتی در اصلاح الگوی جریان ورودی به آبگیرهای جانبی، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، (۴) ۶۷-۵۱-۶۷. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10776.1128.51-67>



### مقدمه

با توجه به اهمیت رودخانه‌ها به عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب، آبیگری از رودخانه و انشعاب جریان از آن یکی از مباحث مهم در مهندسی هیدرولیک و رودخانه است. استفاده از آبیگرهای ثقیلی از مناسب‌ترین و درعین حال قدیمی‌ترین روش‌های برداشت آب رودخانه برای مصارف گوناگون است. یکی از راه‌های انحراف آب رودخانه‌ها از مسیر اصلی استفاده از آبیگرها است. از جمله رودخانه‌های مئاندری می‌توان به رودخانه کارون در دشت خوزستان اشاره نمود که با توجه به شیب کم منطقه، مئاندری شده است. مناسب‌ترین راه انحراف آب در رودخانه‌های مئاندری استفاده از آبیگر جانبی است. ایجاد چنین سیستمی باعث به وجود آمدن جریان پیچیده‌ای می‌شود. با نزدیک شدن جریان به کانال آبیگر جانبی بردارهای سرعت به سمت آبیگر هدایت می‌شوند، این انحراف آب به وسیله صفحه تقسیم جریان آب انجام می‌شود که در شکل (۱) نشان داده شده است.

تغییرات مومنتم در جریانی که وارد کانال آبیگر جانبی می‌شود باعث ایجاد یک ناحیه جداشدگی نزدیک دیوار داخلی در کانال آبیگر جانبی می‌گردد. اندرکنش گرادیان فشار جانبی، نیروی گریز از مرکز و نیروی ناشی از تنش برشی بستر باعث عدم تعادل در جریان ورودی به آبیگر شده و باعث به وجود آمدن جریان‌های ثانویه می‌شود. این پدیده مشابه پدیده‌هایی است که در قوس‌های رودخانه اتفاق می‌افتد (نیری و همکاران، ۱۹۹۹). زمانی که آبیگری از یک مسیر مستقیم انجام گردد، نواحی جدایی جریان در کانال اصلی و کانال فرعی باعث ایجاد جریان‌های چرخشی می‌گردد. این گونه جریان‌ها باعث پدید آمدن نقاطی با تنش برشی صفر در بستر می‌گردد (نقاط تکین) که به عنوان مشخصه‌های اصلی جریان مطرح می‌شوند. از آنجاکه عوامل گوناگونی مثل عدد فرود، زبری بستر، نسبت دبی، نسبت عمق جریان به عرض کانال اصلی و زاویه انحراف آبیگر جانبی بر الگوی جریان در آبیگر جانبی تأثیر دارد، انتخاب زاویه مناسب باعث می‌گردد که جریان با کمترین تلاطم وارد آبیگر شود (نیری و همکاران، ۱۹۹۹).



شکل ۱. الگوی جریان سه‌بعدی در آبیگر جانبی (نیری و همکاران، ۱۹۹۹)

یکی از مشکلاتی که در بیشتر آبیگرها به وجود می‌آید، تجمع رسوبات در دهانه آبیگر است. این موضوع تأثیر بسزایی بر کاهش ظرفیت آبیگر ایجاد می‌کند. ورود رسوبات به کانال آبیگر نیز از جمله مشکلات اساسی در کانال است. عدم کنترل رسوبات ورودی به آبیگرها موجب انتقال آن به داخل کانال‌های آبیاری و تأسیسات شده و پس از ته‌نشین شدن مشکلات زیادی را در قسمت‌های مختلف شبکه به وجود می‌آورد. برای مثال ایستگاه پمپاژ اصلی شعیبیه شوشتر که ظرفیت آن ۸ مترمکعب در ثانیه و دارای هشت دستگاه الکتروپمپ است در کنار روستای عنایت مجاور ایستگاه پمپاژ آبیاری کشت و صنعت امام خمینی واقع شده، آب حدود ۹۲۰۰ هکتار از اراضی منطقه شعیبیه پمپاژ می‌کنند. این ایستگاه از طریق یک کانال خاکی با آبیگر جانبی ۹۰ درجه از رودخانه کارون آبیگری می‌نماید. ولی در سال‌های اخیر ورود رسوبات به دهانه آبیگر ایستگاه پمپاژ باعث پایین آمدن کارایی و مشکل آبیگری آن شده است. طبق آخرین گزارش اعلامی از شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری کارون بزرگ لایروبی این آبیگر هر دو سال یکبار انجام می‌شود. به‌هرحال عملیات لایروبی مکرر که برای کاهش بحران انجام می‌شود، راه‌حل دائمی و اقتصادی نیست. افزایش رسوب در کانال همچنین باعث رشد گیاهان می‌شود که مقاومت در برابر جریان را فراهم می‌کند. لذا درک کافی از رفتار بار رسوب در کانال آبیگر مورد نیاز است. به‌منظور

<sup>1</sup> Neary et al

کاهش هزینه‌های لایروبی ضروری است که در محل آبگیرها توجه ویژه‌ای به روش‌های کنترل رسوب نمود و جهت جلوگیری از ورود رسوبات به دهانه‌های آبگیر و کانال آب‌رسان از سازه‌های جداکننده رسوب استفاده کرد. در این خصوص انتخاب روش یا روش‌های مناسب برای جلوگیری از این مشکل، منوط به بررسی کامل و دقیق شرایط هیدرولیکی، مورفولوژیکی و رسوبی رودخانه و در نظر گرفتن ویژگی‌های فنی و اقتصادی طرح است. چراکه درک و شناخت صحیح از نحوه حمل و ترسیب مواد جامد در آبراهه اصلی، دهانه آبگیر و کانال انتقال، امکان ارائه طرح‌های مناسب و استفاده درست از سازه‌های جداکننده رسوب را فراهم می‌آورد. رسوب‌گذاری خود تابع شرایط هیدرولیکی و مورفولوژیکی رودخانه‌ها است. در این تحقیق تأثیر سیستم دیوار جداکننده طولی بر الگوهای جریان مقادیر سرعت و عمق جریان قبل از دهانه آبگیر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این راستا جهت بررسی اثر این نوع سازه‌ها بر اصلاح الگوی جریان، آزمایش‌های مختلفی در دبی‌های متفاوت انجام گردید.

### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در خصوص اصلاح الگوی جریان در دهانه‌های آبگیر تحقیقات زیادی انجام شده است که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود: گوهری و همکاران (۱۳۸۹) به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان در آبگیر جانبی با استفاده هم‌زمان از صفحات مستغرق و آب‌شکن در بسترهای آبرفتی پرداختند. در تحقیق آن‌ها به‌طور هم‌زمان از دو سازه آب‌شکن و صفحات مستغرق در جلوی آبگیر استفاده شده است. آن‌ها الگوی جریان برای سه نسبت انحرافی ۱۳، ۱۸ و ۲۴ درصد را بررسی نمودند. طول نسبی آب‌شکن به‌کاررفته در الگوی جریان ۰/۲۵ (L<sub>D</sub>/B)، فاصله آب‌شکن از مقابل آبگیر برابر با ۲ (L<sub>1</sub>/b) و زاویه آن با جریان در کانال اصلی ۴۵ درجه بوده است. نتایج ایشان نشان داد، طول ناحیه جدایی جریان در داخل آبگیر با افزایش دبی انحرافی به آبگیر کاهش پیدا می‌کند. با نصب آب‌شکن در مقابل آبگیر، عرض خط جدایی جریان در کف کاهش و در سطح افزایش می‌یابد که با این عمل، ناحیه تحت تأثیر آبگیر در کف کاهش یافته و مقدار ورود رسوبات به آبگیر کاهش می‌یابد.

جلیلی و همکاران (۱۳۹۰) به تأثیر هندسه دهانه آبگیر بر مقدار و الگوی رسوب‌گذاری در آبگیر جانبی پرداختند. نتایج آزمایش‌های انجام‌شده بر روی هندسه دهانه آبگیر نشان داد که ایجاد قوس بهینه در دیواره کانال آبگیر منجر به کاهش مقدار رسوب ورودی در ۳ نسبت دبی ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ به ترتیب به میزان، ۵۸ درصد، ۵۰ درصد و ۳۳ درصد می‌شود.

حسن‌پور و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی عملکرد کنترل رسوب صفحات مستغرق مرکب در دهانه آبگیر جانبی ۹۰ درجه پرداختند. نتایج نشان داد که در بین گزینه‌های مختلف صفحات مستغرق مرکب، گزینه صفحات مستغرق مرکب با CH=0.5 (پارامتر مشخصه ارتفاع صفحه سطحی) توانست عملکرد بهتری در کنترل رسوب ورودی به آبگیر داشته باشد. این گزینه در نسبت آبگیری ۸ درصد به‌طور کامل از ورود رسوبات به دهانه آبگیر جلوگیری نمود و در نسبت آبگیری ۱۶ درصد نیز عملکرد بهتری در مقایسه با سایر گزینه‌ها داشت. سیدیان و همکاران (۱۳۹۲) در مجموعه آزمایش‌هایی تغییرات الگوی جریان در آبگیر جانبی با مایل‌شدن دیواره کانال اصلی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد در یک نسبت آبگیری با مایل‌شدن دیواره، عرض مجرای جریان در ترازه‌های مختلف عمق کاهش می‌یابد. بیشترین تأثیر تغییر عرض مجرای جریان در لایه کف است که حاوی غلظت بالای رسوب است و کاهش این عرض باعث کاهش رسوب ورودی به آبگیر می‌گردد. معروفی نیا و همکاران (۱۳۹۵) به شبیه‌سازی تأثیر صفحات مستغرق و آب‌شکن در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی با استفاده از نرم‌افزار SSIM2 پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که کار آبی صفحات با احداث آب‌شکن در ضلع مقابل آبگیر افزایش پیدا کرده و مقدار ورود رسوبات به آبگیر کاهش پیدا می‌کند. نتایج عددی حاصل از تحقیق ایشان با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت که مطابقت خوبی بین مقادیر فاصله حاصله و نتایج آزمایشگاهی دیده شد. کرمی مقدم و همکاران (۱۳۹۷) اثر دبی انحرافی، شکل دهانه‌ی آبگیر، توپوگرافی و زبری بستر بر ابعاد جداسازی جریان و تنش برشی در آبگیر جانبی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد در نسبت دبی انحرافی بیشتر و ورودی گرد گوشه، ابعاد جداسازی تا حدود ۹۷ درصد نسبت به حالت تیز گوشه کاهش می‌یابد. علاوه بر این، وجود رسوب باعث کاهش طول و عرض جداسازی جریان می‌شود. از طرفی آن‌ها نشان دادند مقدار تنش برشی در حالت ورودی گرد گوشه کمتر است. در حالت بدون صفحه، تنش برشی بیشتر است و با نصب صفحه‌ی مستغرق با آرایش موازی و زیگزاگی و زاویه‌های ۱۰ و ۳۰ درجه، تنش برشی در نقاط عرضی یکنواخت می‌شود. مرادی نژاد و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر زاویه دیوار جداکننده روی کنترل رسوب در دهانه آبگیر را به‌صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان حاکی از آن بود که در حالت وجود دیوار جداکننده و ترکیب آن با آب‌شکن، رسوب ورودی به آبگیر به‌طور متوسط در دیوار با زاویه ۱۰ درجه ۸۱ درصد، دیوار با زاویه ۱۴ درجه ۷۸ درصد و دیوار با زاویه ۱۸ درجه ۷۶ درصد کاهش یافته است. حبیبی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل هندسی صفحات مستغرق بر جریان حاوی رسوب ورودی به آبگیر جانبی در قوس رودخانه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد، نسبت آبگیری یکی از عوامل مهم و مؤثر در شکل‌گیری و تعیین ابعاد ناحیه گردابی است. با

افزایش این نسبت، طول و عرض نسبی ناحیه گردابی کاهش می‌یابد. ابعاد ناحیه گردابی تا حدودی متأثر از زاویه استقرار صفحات مستغرق است؛ به گونه‌ای که طول و عرض نسبی ناحیه گردابی در مقایسه با حالت بدون وجود صفحات مستغرق، با افزایش زاویه استقرار صفحات به‌طور متوسط به ترتیب حدود ۵ درصد افزایش و حدود ۷ درصد کاهش یافته است. رستم‌آبادی (۱۳۹۹) به مطالعه عددی تأثیر تغییر پارامترهای هندسی آبگیر و آرایش صفحات مستغرق بر ضریب پاد رسوبی آبگیر پرداخت. در پژوهش وی ۲۷ سناریوی عددی به‌منظور بررسی تأثیر استفاده از صفحات مستغرق در رسوب ورودی به آبگیر صورت گرفته است. نتایج وی نشان داد که بیشترین ضریب ضد رسوب آبگیر مربوط به حالتی است که در آن عرض آبگیر در یک زاویه مشخص نسبت به قوس مرکزی احداث شود. عطار زاده و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر سامانه‌های مختلف کنترل رسوب بر توپوگرافی بستر در آبگیر جانبی ۹۰ درجه را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد هم تک‌تک سازه‌ها و به‌ویژه صفحات مستغرق و آبشکن و هم ترکیب آن‌ها و بعلاوه ابعاد سازه‌های مذکور، موجب تأثیرات چشمگیری بر توپوگرافی بستر در بالادست، جلوی دهانه آبگیر و پایین‌دست آبگیر در کانال اصلی و به‌ویژه در اطراف ساحل متصل به آبگیر می‌شود که قاعدتاً بر میزان رسوب ورودی به آبگیر اثرگذار خواهد بود.

حسینی زاده و همکاران (۱۴۰۰) با انجام آزمایش‌هایی به تعیین زاویه و ارتفاع مناسب تیغه‌های مستغرق به‌منظور کنترل رسوب ورودی به کانال آبگیر جانبی در تبدیل‌ها با استفاده از مدل‌سازی عددی پرداختند. مدل‌سازی انجام‌شده نشان داد که با افزایش زاویه و کاهش ارتفاع تیغه، انتقال رسوب به کانال فرعی بیشتر می‌گردد. سراجیان و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی اثر ترکیب همگرایی و صفحات مستغرق بر روی هیدرولیک جریان ورودی به آبگیر جانبی در قوس ۹۰ درجه رودخانه‌ها پرداختند. نتایج نشان داد با همگرا کردن کانال آزمایشگاهی دبی انحرافی به آبگیر افزایش پیدا کرده است. هر چه انتهای کانال همگراتر شود باعث افزایش بیشتر دبی انحرافی می‌شود، به طوری که با همگرا کردن کانال (b/B) از صفر تا ۰/۷۵ دبی انحرافی به آبگیر به‌طور متوسط از ۹/۶۴ به ۴/۸۱ درصد رسیده است. با نصب صفحات مستغرق دبی انحرافی به آبگیر کاهش پیدا کرده است. به طوری که با نصب صفحات مستغرق با زاویه ۲۵ الی ۶۰ درجه دبی انحرافی به آبگیر به‌طور متوسط نسبت به مدل بدون صفحه مستغرق حدود ۱۰ درصد کاهش داشته است. همچنین با افزایش عدد فرود از ۰/۱۴ به ۰/۲۳ دبی انحرافی به آبگیر به‌طور متوسط ۳/۵ درصد کاهش داشته است.

بارکدول و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۹) به بررسی اثر قرارگیری دیواره جداکننده در مسیر جریان، بر تغییرات الگوی جریان و در نتیجه کنترل رسوب ورودی به آبگیر پرداختند. این سازه‌ها از دو صفحه متصل به ساحل تحت زوایای معین تشکیل شده‌اند. به گونه‌ای که صفحه دوم به موازات دیوار جانبی امتداد خواهد یافت و رسوبات را از دهانه آبگیر دور نموده و در نتیجه حجم ورود رسوب به آبگیر کاهش می‌یابد. به‌منظور افزایش کارایی می‌توان از آبشکن نیز در مقابل آبگیر استفاده نمود. خالد و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۴) با استفاده از مدل عددی شبیه‌سازی رسوب در ورودی آبگیر با گزینه چند بلوکی (SSIM2) به تجزیه و تحلیل روند انتقال رسوب در آبگیر کانال پیوند در کشور پاکستان (MRLC) پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که دینامیک سیالات محاسباتی مدل مذکور در شبیه جریان سه‌بعدی حامل رسوبات مؤثر و مفید خواهد بود. استرویی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) به تأثیر په‌کارگیری صفحات (پره) مستغرق در کنترل و کاهش رسوبات ورودی به آبگیر پرداختند. نتایج نشان داد که هرچه ردیف‌های صفحات در مسیر جریان بیشتر شود، میزان رسوب ورودی کاهش خواهد یافت. علاوه بر این هرچه فواصل بین ردیف‌ها بیشتر شود، میزان رسوب ورودی نیز کمتر می‌شود. کاهش زاویه انحراف جریان از ۴۵ به ۱۵ درجه نیز در کاهش میزان رسوبات ورودی مؤثر خواهد بود. الزبیدی و هیلو<sup>۴</sup> (۲۰۲۲) یک مدل هیدرودینامیکی با استفاده از معادله ناویر-استوکس برای جریان سیالات تراکم‌ناپذیر مورد مطالعه قرار دادند. با استفاده از نرم‌افزار ANSYS FIUENT 19.2، الگوهای جریان سه‌بعدی در یک آبگیر جانبی شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی در این مطالعه با استفاده از داده‌های تجربی انجام‌شده توسط تحقیقات قبلی مورد صحت‌سنجی قرار گرفت؛ که این نتایج مطابقت مناسبی را بین نتایج تجربی و عددی در زمانی که مدل ویسکوز آشفته‌گی  $k-\omega$  به کار گرفته شد نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این مطالعه، زاویه انشعاب ۳۰ تا ۴۵ درجه بهینه‌ترین حالت برای افزایش دبی انحرافی، کاهش غلظت رسوبات وارده و نیز کاهش عمق آب شستگی در ناحیه اتصال است.

وی هی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۲۳) با استفاده از نرم‌افزار منبع باز OpenFoam، تأثیر شیب‌دار نمودن دیواره آبگیر را بر ابعاد ناحیه جداشدگی جریان و در نتیجه بر راندمان سیستم و میزان رسوب ورودی مورد مدل‌سازی و بررسی قرار دادند. این مدل با آزمایش‌های مدل فیزیکی

<sup>1</sup> Barkdoll et al

<sup>2</sup> Khaled et al

<sup>3</sup> Struhi et al

<sup>4</sup> Al Zubaidy & Hilo

<sup>5</sup> Wei He et al

برای یک آبگیر جانبی ۹۰ درجه صورت پذیرفت. میدان‌های جریان، ابعاد ناحیه جداشدگی، دبی انحرافی به آبگیر و سرعت‌های کانال اصلی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج مطالعات نشان داد که در شرایط دیواره جانبی شیب‌دار، آب در یک زاویه مایل وارد آبگیر می‌شود و باعث ایجاد جریان‌های مارپیچی سه‌بعدی قابل توجهی در ورودی به‌جای چرخش دوبعدی بسته می‌شود. علاوه بر این کاهش نسبت آبگیری، ارتفاع کمتر آبگیر و تغییر در سرعت کانال اصلی بالاتر می‌تواند این پدیده را بیشتر تقویت کند. علاوه بر این مشاهده شد که در شرایط دیواره شیب‌دار، میزان رسوب ورودی به آبگیر در مقایسه با دیواره قائم کاهش خواهد یافت.

بر اساس مروری بر تحقیقات گذشته و با توجه به اهمیت اصلاح الگوی جریان در قوس‌ها و در محل آبگیری از رودخانه‌ها، این تحقیق به دنبال روشی برای اصلاح الگوی جریان و افزایش راندمان آبگیری بنا گردید. در این راستا با توجه به اینکه در تحقیقات گذشته دیواره‌های هدایت‌کننده به‌موازات جریان اصلی در رودخانه‌ها برای بالادست آبگیرهای جانبی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، این تحقیق بر این اصل استوار گردید که چنین سازه‌ای با کمترین دخالت در شرایط هندسی رودخانه بتواند الگوی جریان ورودی به آبگیر را داشته باشد.

### روش پژوهش

این تحقیق بر اساس مطالعات یک طرح مطالعاتی در راستای بهسازی شرایط آبگیری ایستگاه پمپاژ شهید همت شادگان بنا شده است که در شکل (۲) نشان داده شده است. طرح شبکه آبیاری شهید همت شادگان به وسعت حدود ۹۰۱۵ هکتار در جنوب استان خوزستان و در منطقه شادگان واقع شده است. آبگیری طرح مذکور از رودخانه جراحی صورت می‌گیرد. حوضه آبریز رودخانه جراحی در دامنه‌های جنوبی و جنوب غربی زاگرس میانی قرار دارد. مساحت این حوضه ۲۴۳۰۷ کیلومتر مربع است که حدود ۱۰۳۳۱ کیلومتر مربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند. عمده بارش‌های این حوضه در ماه‌های آذر تا اسفند روی می‌دهد. رودخانه جراحی از دوشاخه اصلی به نام‌های مارون و اعلی تشکیل گردیده است. برای تأمین آب شبکه شادگان از یک سیستم ایستگاه پمپاژ در انتهای آبگیر T شکل و یک سری دریاچه تنظیم بر روی رودخانه اصلی جراحی استفاده شده است. ظرفیت آبگیری در حدود ۱۰ مترمکعب بر ثانیه بوده که با توجه به رژیم رودخانه و نیاز آبی با استفاده از ایستگاه پمپاژ تعبیه شده، آب مورد نیاز تأمین می‌گردد. در هنگام طراحی دبی حداکثر عبوری آبگیری ۲۰ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده است. کانال انتقال دارای طول حدود ۴۸۰ متر و عرض کف ۴ متر با شیب طولی ۰/۰۰۰۴ / است. میزان عمق آب در کانال مذکور در حدود ۲/۹۳ متر محاسبه شده است.



شکل ۲. محل آبگیر ایستگاه پمپاژ شهید همت شادگان

در این پژوهش مدل فیزیکی آبگیر ایستگاه همت در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده علوم آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز ساخته شد. مدل آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق شامل مدل رودخانه و آبگیر جانبی موجود است. آبگیری این مدل از طریق مخزن آب موجود و ایستگاه پمپاژ مستغرق در این مخزن انجام گرفت. مدل رودخانه شامل یک حوضچه آرام‌کننده جریان است تا اثرات پمپاژ بر پروفیل‌های تشکیل شده به حداقل کاهش یابد. پس از آرام شدن جریان، آب به کانال اصلی وارد خواهد شد. در انتهای این کانال ۳ عدد دریاچه کنوسی برای کنترل و تنظیم دبی و سطح آب نصب شده و در دیواره سمت چپ کانال نیز یک آبگیر تعبیه گردیده است. دبی ورودی به این آبگیر از طریق یک سرریز لبه تیز مستطیلی در خروجی آبگیر اندازه‌گیری می‌گردد. همچنین رقوم کف کانال جانبی

پنج سانتی متر بالاتر از رقوم کف کانال اصلی در نظر گرفته شد. دیواره جداکننده در فاصله ۲ متری از آبگیر جانبی و طول خود دیوار جداکننده نیز ۲ متر در نظر گرفته شد. موارد فوق در شکل (۳) نشان داده شده است. عرض مورد نیاز برای کانال اصلی ۲/۲ متر و ارتفاع حدود ۹۰ سانتیمتر خواهد بود که یک آبگیر ۷۹ درجه در فاصله طولی حدود ۵ متر از ابتدای آن تعبیه خواهد شد. با توجه به ابعاد واقعی آبگیر شهید همت لذا ابعاد مدل آزمایشگاهی بر اساس مقیاس ۱ به ۱۵ برای ابعاد هندسی (طول و عرض کانال) و ۱ به ۸ برای مقیاس عمودی بر اساس شرایط فیزیکی کانال آبگیر همت و رودخانه جراحی تدقیق گردیده است.

در این طرح، جهت اندازه گیری دبی از یک دستگاه دبی سنخ آلتراسونیک استفاده گردید. همچنین به منظور تدقیق محاسبه دبی جریان در انتهای کانال جانبی، یک سرریز لبه تیز مستطیلی تعبیه شده است. جهت قرائت و برداشت عمق جریان در کانال اصلی، در نقاط مختلف آن، متر گذاری صورت گرفت تا عمق جریان در بالادست و پایین دست دیواره جداکننده محاسبه گردد و شرایط آن مورد بررسی قرار گیرد. از یک دستگاه سرعت سنخ صوتی داپلر ADV نیز به منظور محاسبه پارامتر سرعت جریان استفاده گردید. در این مدل ابتدا آب در ابتدای کانال توسط یک سیستم آرام کننده، آرام می شود سپس وارد کانال اصلی می گردد در فاصله ۱ متری از ابتدای کانال دیوار جداکننده کارگذاری گردید. همان طور که گفته شد طول این دیواره ۲ متر است و انتهای دیوار تا ورودی آبگیر ۲ متر فاصله دارد. دیوار جداکننده به صورت موازی با جریان آب کارگذاری گردید. در واقع هدف اساسی این تحقیق استفاده از دیوار جداکننده موازی با جریان اصلی برای افزایش راندمان آبگیری در کانال جانبی بود. این دیوار جداکننده با تقسیم جریان به دو بخش و تغییر در خطوط جریان می تواند باعث افزایش راندمان آبگیری شود.



ب) آرام کننده جریان



الف آبگیر جانبی و دریچه تنظیم



ه) ورودی کانال اصلی



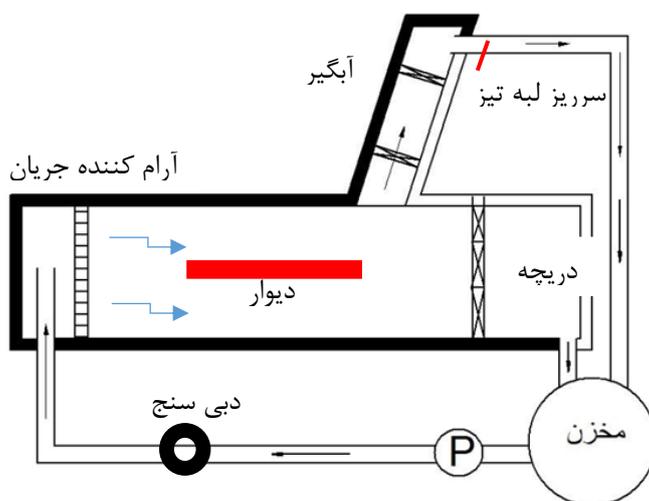
ج) کانال اصلی

### شکل ۳. نمایی از مدل آزمایشگاهی

#### جدول ۱. محدوده تغییرات پارامترها در آزمایش ها

پارامترها	دبی (لیتر بر ثانیه)	ارتفاع دیوار جداکننده	درصد بازشدگی دریچه
محدوده تغییرات	۴۰-۵۰-۶۰-۷۰-۸۵	۲۰ سانتیمتر (مستغرق)	۰٪ - ۳۰٪ - ۱۰۰٪
		۴۰ سانتیمتر (غیر مستغرق)	

متغیرهای این طرح در جدول (۱) آورده شده است. در این طرح پنج دبی ذکر شده با سه مقدار درصد بازشدگی دریاچه انتهایی کانال، بدون کارگذاری دیوار جداکننده به عنوان آزمایش شاهد در نظر گرفته شد. سپس آزمایش‌های ذکر شده در دو حالت دیوار مستغرق و غیر مستغرق جهت مقایسه اثر این دیوارها نیز گرفته شد. دبی ورودی به کانال اصلی از طریق یک دبی سنج آتراسونیک که بر روی لوله خروجی از پمپ کارگذاری شده است کنترل گردید. علاوه بر این جهت تنظیم دبی آزمایش‌ها ابتدا از طریق سرریز انتهایی دبی کل صحت سنجی کردید، سپس با باز کردن دریاچه‌های اصلی به مقدار ۳۰ درصد دبی مابقی دبی به کانال جانبی هدایت گردید. در حالت دیگر آزمایش دریاچه‌های انتهایی به صورت کامل باز در نظر گرفته شد تا جریان به صورت آزاد به کانال جانبی منتقل گردد.

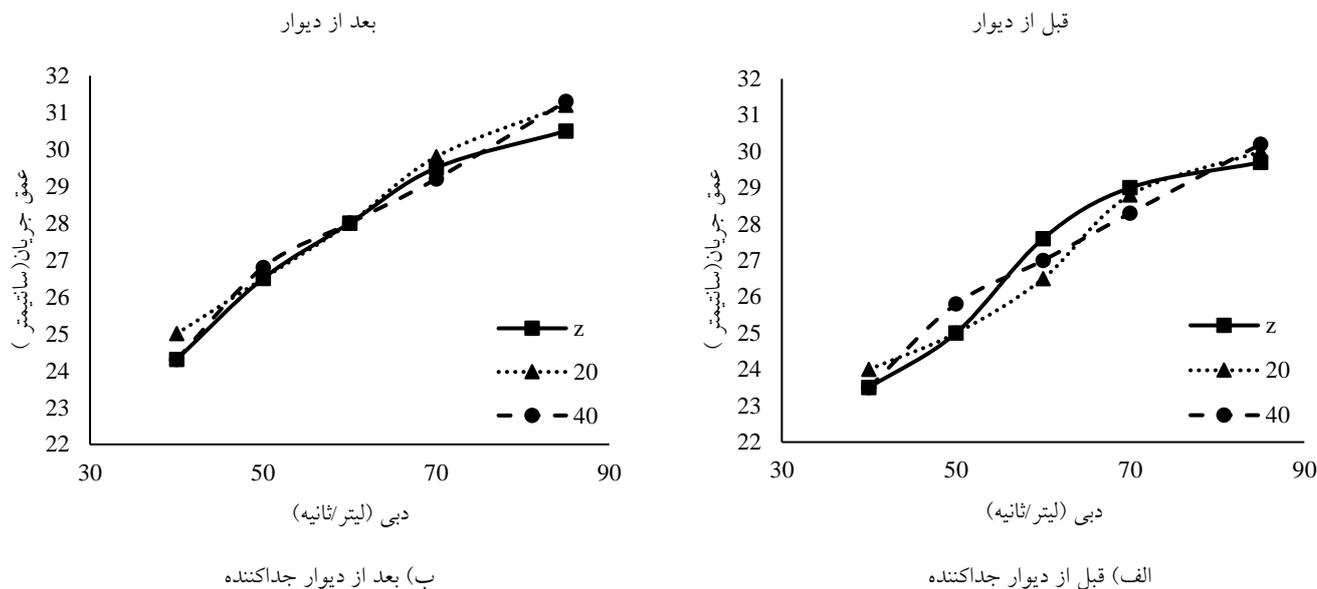


شکل ۴. تصویر شماتیک فلوم آزمایشگاهی

پس از ورود آب به کانال در هر دبی پس از به تعادل رسیدن جریان در ابتدا (قبل از دیوار جداکننده) و انتهایی کانال (قبل از آبگیر) با استفاده از مترهای کارگذاری شده ارتفاع سطح جریان اندازه گرفته شد. دبی ورودی به کانال از طریق شیر موجود و همچنین دبی سنج نصب شده بر روی لوله ورودی به کانال تنظیم گردید. در هر آزمایش پس از اندازه‌گیری عمق جریان در بالادست و پایین دست دیوار جداکننده مقدار دبی از طریق سرریز انتهایی آبگیر جانبی برداشت گردید. برای محاسبه مقدار بازشدگی دریاچه‌های انتهایی از مقایسه مقدار کل دبی ورودی به کانال اصلی و قرائت سرریز انتهایی آبگیر اقدام شد. با توجه به شرایط واقعی در کانال جانبی دو دریاچه ابتدایی و انتهایی قرار داشته که در واقع در این تحقیق دریاچه ابتدایی همواره باز بوده و اثری در آزمایش‌های این تحقیق نداشت. در شرایط واقعی از این دریاچه ابتدایی عموماً برای تعمیرات استفاده می‌شود.

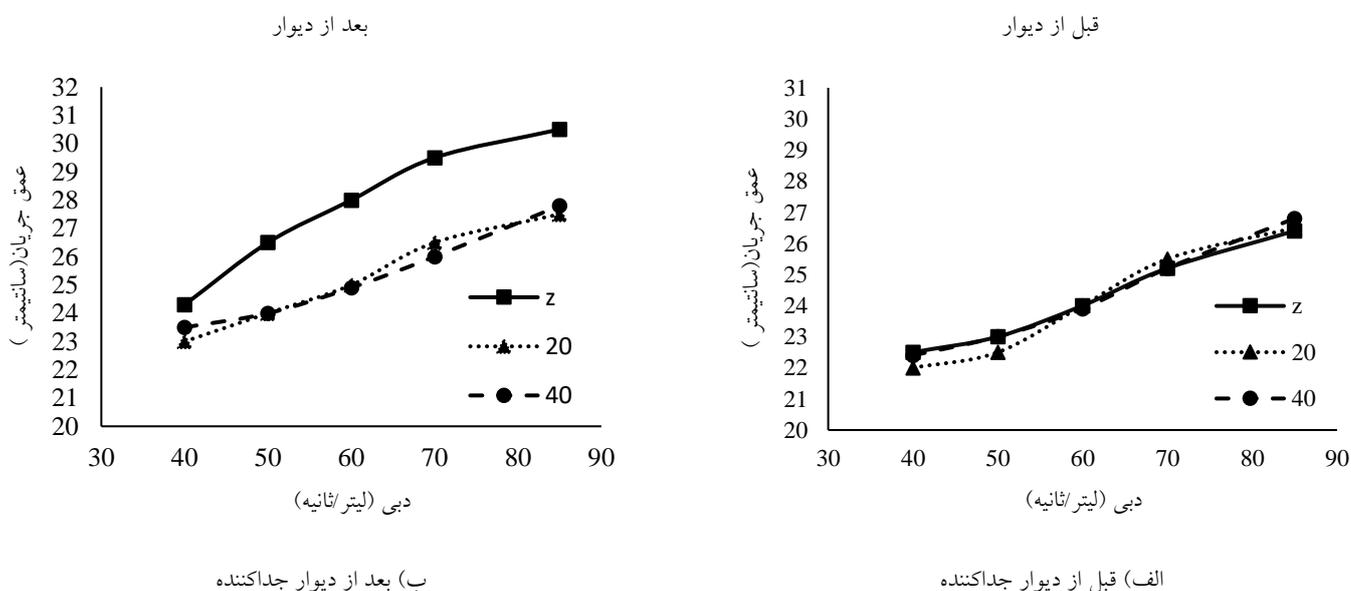
#### یافته‌ها

با بررسی نمودار الف و ب در شکل (۵) مشاهده می‌شود که مقدار عمق جریان در ابتدا و انتهایی دیوار جداکننده با افزایش دبی کل در حالتی که دریاچه‌های انتهایی کاملاً بسته است، افزایش می‌یابد. با مقایسه عمق جریان در ابتدا و انتهایی دیوار جداکننده می‌توان مشاهده کرد عمق جریان بعد از سازه در تمامی دبی‌ها کاهش یافته است. که نشان‌دهنده کاهش سرعت جریان در بعد از دیوار است همچنین دیواره جداکننده در دو حالت مستغرق و غیرمستغرق تأثیری محسوس بر عمق جریان نسبت به حالت شاهد ندارد. در واقع تغییرات عمق ابتدا و انتهایی دیوار جداکننده به عنوان یک معیار سنجش راندمان آبگیری می‌تواند مورد ارزیابی واقع شود. موقعی که در انتهایی دیوار و نزدیک کانال جانبی عمق افزایش یابد در واقع خطوط جریان در نزدیکی آبگیری جانبی دارای انحنای کمتر بوده و به این لحاظ راندمان آبگیری افزایش می‌یابد.

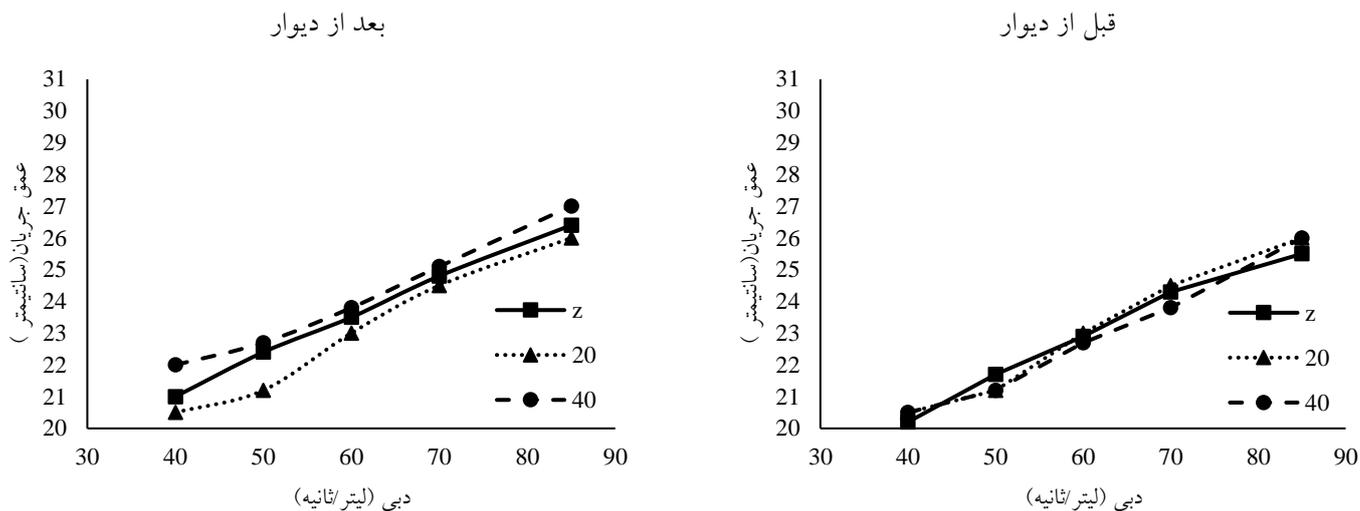


شکل ۵. اثرات دیواره جداکننده بر عمق جریان در ابتدا و انتهای دیوار جداکننده در حالت دریچه بسته (Z آزمایش شاهد و ۲۰ و ۴۰ آزمایش‌های با ارتفاع دیواره ۲۰ و ۴۰ سانتیمتر است)

شکل (۶) نیز مقادیر عمق جریان در دبی‌های اندازه‌گیری شده و در سه حالت شاهد، دیوار مستغرق و غیر مستغرق به ترتیب در نمودارهای الف و ب برای قبل و بعد از دیوار جداکننده در حالت ۳۰ درصد گشودگی (۷۰٪ انتقال آب به کانال جانبی) را نشان می‌دهد. با بررسی نمودار الف و ب مشاهده می‌گردد دیوارهای جداکننده تأثیر محسوسی بر عمق جریان داشته است و در تمامی دبی‌ها موجب کاهش عمق جریان شده است. شکل (۷) عمق جریان در حالت جریان آزاد با بازگشایی کامل دریچه‌ها را نشان می‌دهد. در حالت آزاد عمق جریان بعد از دیوار در کل دبی‌ها نسبت به قبل از دیوار کاهش داشته است. با بررسی نمودار ب شکل ۷ و مقایسه عمق جریان در حالت شاهد و کارگذاری دیوار جداکننده مستغرق و غیر مستغرق، در تمامی دبی‌ها برای مانع مستغرق کاهش عمق و برای مانع غیر مستغرق افزایش عمق جریان رخ می‌دهد.



شکل ۶. اثرات دیواره جداکننده بر عمق جریان در ابتدا و انتهای دیوار جداکننده در حالت ۳۰ درصد بازگشایی دریچه



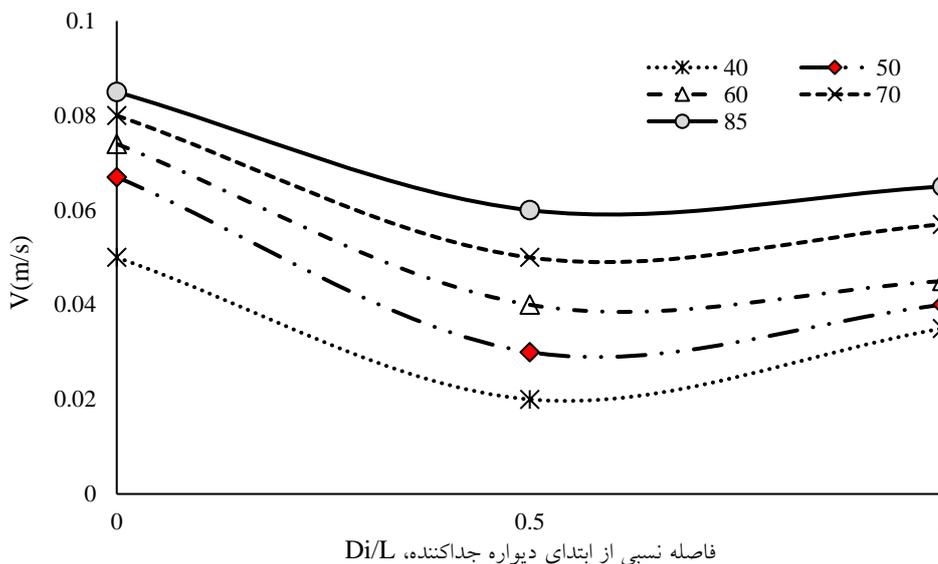
ب) بعد از دیوار جداکننده

الف) قبل از دیوار جداکننده

شکل ۷. اثرات دیواره جداکننده بر عمق جریان در ابتدا و انتهای دیوار جداکننده در حالت ۱۰۰ درصد بازشدگی دریچه

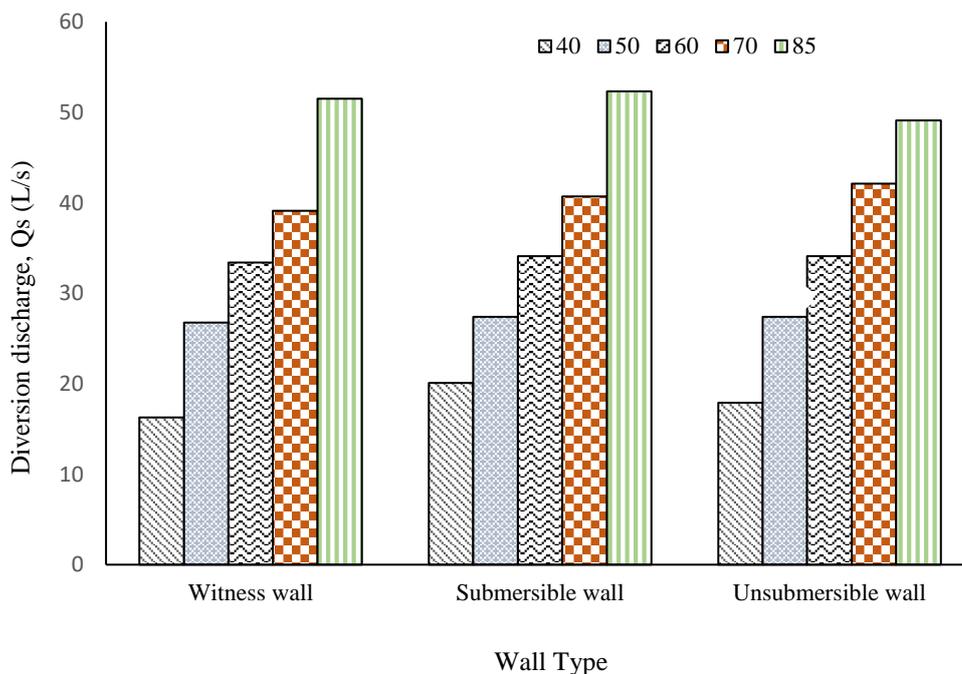
نتایج اندازه‌گیری عمق جریان در قبل و بعد دیوار در حالات مختلف بازشدگی دریچه، نشان می‌دهد در هر سه حالت یا کارگذاری دیوار جداکننده عمق جریان در بعد از دیوار افزایش داشته است. در حالتی که دریچه کاملاً بسته است اختلاف اثرگذاری دیوار مستغرق و غیره مستغرق بسیار کم بوده است و بیشترین تأثیر نوع استغراق این دیوار در حالت بازشدگی ۳۰ درصد اتفاق افتاده است. در شکل (۸) سرعت جریان که در سه نقطه توسط سرعت‌سنج تراسونیک اندازه‌گیری شده نشان داده شده است. نقطه اول در ابتدای دیوار، نقطه دوم در وسط دیوار و نقطه سوم در انتهای دیوار انتخاب گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود با ورود جریان به مسیر دیوار جداکننده سرعت جریان کاهش می‌یابد و کمترین سرعت ثبت شده در وسط دیوار است. با حرکت جریان به سمت انتهای دیوار سرعت جریان روند صعودی خواهد داشت. در پنج دبی ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۵ لیتر بر ثانیه، کاهش سرعت به ترتیب برابر ۶۰، ۵۵/۲، ۴۵/۹، ۳۷/۵ و ۲۹/۴ درصد به دست آمد.

در نمودارهای شکل (۹) مقادیر دبی عبوری از آبگیر جانبی و اثرات دیوار جداکننده بر مقدار دبی عبوری از آبگیر جانبی نشان داده شده است. در نمودار الف مربوط به دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه مشاهده می‌شود کارگذاری دیوار جداکننده در حالت مستغرق موجب افزایش دبی در آبگیر جانبی گردیده است. دیوار غیر مستغرق نیز در همان حالت مشابه نتیجه عکس داشته و کاهش دبی در آبگیر جانبی را به همراه داشته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دبی اثر دیوارها بر افزایش دبی آبگیر جانبی نیز کمتر شده است و این امر می‌تواند ناشی از افزایش سرعت در کانال اصلی باشد. در تمام حالات اثر مانع مستغرق نسبت به غیر مستغرق در افزایش دبی آبگیر محسوس‌تر است. به‌طور کلی اثر دیوار جداکننده بر افزایش دبی فقط در دبی‌های پایین اثرگذاری داشته است. در جدول (۳) خلاصه‌ای از نتایج آزمایش‌های آورده شده است که شامل آزمایش‌های شاهد، آزمایش‌های مربوط به دیوار مستغرق و آزمایش‌های دیوار غیر مستغرق را نشان می‌دهد.



شکل ۸. نمودار سرعت جریان در دبی های مختلف

در شکل (۸)، محور X ها در واقع نشان دهنده اثر دیوار از ابتدا تا انتهای طولی آن بر مقادیر سرعت ورودی به کانال آبیگر است. بدین صورت که عدد صفر نشان دهنده ابتدای دیوار، ۰/۵ نشان دهنده فاصله وسط از ابتدای دیوار و عدد یک در واقع انتهای دیوار می باشد. در ادامه شکل (۹) آمده است که نشان دهنده اثرگذاری نوع دیوار بر دبی انحرافی برای یک مقدار ثابت دبی جریان اصلی است.



شکل ۹. نمودار اثر دیوار جداکننده بر دبی ورودی به آبیگر جانبی

در شکل (۹) در واقع اثرگذاری نوع دیوار بر تغییرات دبی انحرافی به آبیگر جانبی بررسی شده است. بر اساس این شکل به عنوان مثال در دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه برای جریان اصلی، میزان دبی انحرافی به ازای نوع دیوار شاهد، دیوار مستغرق و دیوار غیر مستغرق به ترتیب برابر با ۲۶/۲۶، ۲۰/۱ و ۱۷/۹ لیتر بر ثانیه خواهد بود. بهر حال نتایج نشان می دهد اثرگذاری دیوار مستغرق نسبت به سایر حالات بهتر بوده و توانسته

دبی بیشتری را به سمت آبگیر منحرف نماید. برای دبی‌های بیشتر جریان اصلی، این اثرگذاری کمی کمتر خواهد شد که دلیل اصلی آن ایجاد تلاطم و آشفتگی بیشتر در ناحیه داخلی دیوار طولی بوده که منجر به افت انرژی بیشتر جریان و کاهش راندمان آبگیری می‌شود.

جدول ۲. خلاصه نتایج آزمایش‌های شاهد

$y_2$	$y_1$	$Q_{ab}$	$Q_{tot}$	بازشدگی دریچه
22.5	23	30	40	30%
20.2	21	17.9	40	100%
23	23.5	35	50	30%
21.7	22.4	27.41	50	100%
24	24.7	40	60	30%
22.9	23.5	34.11	60	100%
25.2	26.3	47	70	30%
24.3	24.8	42.1	70	100%
26.4	27.2	55	85	30%
25.5	26.4	49.1	85	100%

در جدول (۲)،  $Q_{tot}$  مقدار کل دبی وارد شده به کانال،  $Q_{ab}$  مقدار دبی وارد شده به آبگیر جانبی،  $y_1$  مقدار عمق جریان در بالادست محل کارگذاری دیوار و  $y_2$  مقدار عمق جریان در پایین دست محل کارگذاری دیوار است. لازم به توضیح است که در آبگیرهای جانبی منتهی به ایستگاه پمپاژ دبی ورودی به آبگیر از طریق پایین دست و هماهنگی آن با دریچه ورودی به کانال آبگیر کنترل می‌شود. به عبارتی تنظیم دبی ورودی به کانال آبگیر با توجه به دبی پمپاژ مشخص می‌شود. در تحقیق حاضر با توجه به شرایط دبی بهره‌برداری با فرض آزاد بودن جریان به درون کانال آبگیر آزمایش‌ها دنبال شده است. در واقع با فرض عدم کنترل دریچه آبگیر دبی تحت شرایط کانال جانبی کنترل شده است. در واقع دبی ورودی به کانال جانی در دو حالت آزاد و غیرآزاد و از طریق دریچه‌های کانال اصلی و یک حالت به صورت جریان آزاد با بازشدگی کامل دریچه‌های کانال اصلی کنترل گردیده است.

جدول ۳. خلاصه نتایج آزمایش های اصلی با دیوار جداکننده

نوع آزمایش	بازشدگی دريچه	$Q_{tot}$	$Q_{ab}$	$y_1$	$y_2$	افزایش ارتفاع بعد از دیوار (%)	افزایش ارتفاع قبل از دیوار (%)	افزایش دبی (%)
دیوار مستغرق	30%	40	30	23	22	0.00	2.22	0.00
	100%	40	20.1	22	20.5	-4.76	-1.49	12.29
	30%	50	35	24	22.5	-2.13	2.17	0.00
	100%	50	27.4	22.7	21.2	-1.34	2.30	-0.04
	30%	60	40	25	24	-1.21	0.00	0.00
	100%	60	34.11	24	23	-2.13	-0.44	0.00
	30%	70	47	26.5	25.5	-0.76	-1.19	0.00
	100%	70	40.7	25.5	24.5	-2.82	-0.82	-3.33
	30%	85	56.5	27.5	26.5	-1.10	-0.38	2.73
	100%	85	52.33	27	26	-2.27	-1.96	6.58
دیوار غیر مستغرق	30%	40	30	23.5	22.4	-2.17	-1.82	0.00
	100%	40	16.26	22	20.5	0.00	0.00	-19.10
	30%	50	35	24	23	0.00	-2.22	0.00
	100%	50	26.77	22.7	21.2	0.00	0.00	-2.30
	30%	60	40	24.9	23.9	0.40	0.42	0.00
	100%	60	33.41	23.8	22.7	0.83	1.30	-2.05
	30%	70	47	26	25.2	1.89	1.18	0.00
	100%	70	39.11	25.1	23.8	1.57	2.86	-3.91
	30%	85	50.7	27.8	26.8	-1.09	-1.13	-10.27
	100%	85	51.51	27	26	0.00	0.00	-1.57

### بحث

در این تحقیق به بررسی اثر دیوار جداکننده بر هیدرولیک جریان رودخانه قبل از آبگیر جانبی پرداخته شد. دیوار جانبی در دو حالت مستغرق (ارتفاع ۲۰ سانتیمتر) و غیر مستغرق (ارتفاع ۴۰ سانتیمتر) در وسط کانال اصلی کارگذاری شد. آزمایش ها در دبی ۵، ۷۰، ۵۰، ۴۰ و ۸۵ لیتر بر ثانیه و در دو حالت بازشدگی دريچه انتهای کانال اصلی به مقدار ۳۰ و ۱۰۰ درصد انجام پذیرفت. مقدار عمق جریان در قبل و بعد از دیوار مستغرق و غیرمستغرق با حالت شاهد مقایسه گردید.

### نتیجه گیری

نتایج نشان داد که دیوار مستغرق اثر بیشتری نسبت به دیوار غیر مستغرق نسبت به عمق جریان از خود نشان داد و در بسیاری از دبی ها موجب کاهش عمق جریان در پایین دست گردید. بیشترین کاهش در دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۱۰۰ دريچه در اثر کارگذاری دیوار مستغرق و به مقدار ۴/۷۶٪ کاهش عمق بود. جهت بررسی اثر دیوار مستغرق بر سرعت جریان در سه نقطه ابتدا، وسط و انتهای دیوار مورد بررسی قرار گرفت و در پنج دبی ۷۰، ۵۰، ۴۰، ۸۵ و ۳۷/۵ درصد کاهش سرعت به ترتیب برابر ۶۰، ۵۵/۲، ۴۵/۹، ۳۷/۵ و ۲۹/۴ درصد به دست آمد و با افزایش دبی اثر دیوار بر سرعت نیز کاهش یافت. با توجه به نمودارهای سرعت برداشت شده بیشترین سرعت در ابتدای دیوار و کمترین سرعت در میانه های دیوار ثبت گردید، با کاهش مساحت کانال در محل دیوار این نتایج معقول به نظر می رسد با حرکت جریان در بین دیوار، مقدار افت جریان نیز افزایش خواهد بود؛ به طوری که حداقل سرعت ثبت شده در میانه های دیوار جداکننده ثبت گردید و در خروجی دیوار با توجه به افزایش دوباره سطح کانال سرعت جریان نیز افزایش خواهد بود. اثر دیوار جداکننده در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق بر مقدار دبی آبگیر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مانع غیر مستغرق در تمامی دبی ها به طور نامحسوسی موجب کاهش دبی آبگیر شده است؛ اما دیوار مستغرق در دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه موجب افزایش دبی به مقدار ۱۲/۳۹ درصد گردید. با افزایش دبی اثر این دیوار بر دبی آبگیر نیز کاهش پیدا کرد که دلیل این امر می تواند ناشی از افزایش مقدار افت جریان در بین دیواره جداکننده باشد.

## منابع

- جلیلی، حمیدرضا، حسین زاده دلیر، علی، و فرسادی زاده، داوود. (۱۳۹۰). تاثیر هندسه دهانه آبگیر بر مقدار و الگوی رسوب گذاری در آبگیر جانبی. *مجله پژوهش آب ایران*، ۵(۹)، ۱-۱۰. [https://iwrij.sku.ac.ir/article\\_10847.html](https://iwrij.sku.ac.ir/article_10847.html)
- حبیبی، حسین، مسجیدی، علیرضا، پورمحمدی، محمدحسین، کمان بدست، امیرعباس، و بردبار، امین. (۱۳۹۸). بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل هندسی صفحات مستغرق بر جریان حاوی رسوب ورودی به آبگیر جانبی در قوس رودخانه. *نشریه علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)*، ۴۲(۲)، ۱۳۳-۱۱۹. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.22614.1614>
- حسن پور، فرزاد، ایوب زاده، سیدعلی، و قدسیان، مسعود. (۱۳۹۰). عملکرد کنترل رسوب صفحات مستغرق مرکب در دهانه آبگیر جانبی ۹۰ درجه. *نشریه پژوهش های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)*، ۲۴(۳) (پیاپی ۹۲)، ۱-۱۲. <https://www.sid.ir/paper/200550/fa>
- حسینی زاده، سیدعلی، علامتیان، ابراهیم، امیری دلویی، مهدی، و افضل نیا، سیدمهدی. (۱۴۰۰). تعیین زاویه و ارتفاع مناسب تیغه های مستغرق به منظور کنترل رسوب ورودی به کانال آبگیر جانبی در تبدیل ها با استفاده از مدل سازی عددی. *هفتمین کنگره سالانه بین المللی عمران، معماری و توسعه، تهران، ایران*. <https://civilica.com/doc/1374294>
- رستم آبادی، معصومه. (۱۳۹۹). مطالعه عددی تاثیر تغییر پارامترهای هندسی آبگیر و آرایش صفحات مستغرق بر ضریب پادرسوبی آبگیر. *نشریه هیدرولیک*، ۱۵(۴)، ۹۵-۱۱۱. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2020.252014.1481>
- سراجیان، محمدتقی، مسجیدی، علیرضا، حیدر نژاد، محمد، و حسونی زاده، هوشنگ. (۱۴۰۱). بررسی اثر ترکیب همگرایی و صفحات مستغرق بر روی هیدرولیک جریان ورودی به آبگیر جانبی در قوس ۹۰ درجه رودخانه ها. *مجله علوم و فنون دریایی ایران*، ۳۱(۳)، ۳۳-۴۳. <https://doi.org/10.22113/jmst.2021.250222.2394>
- سیدیدیان، سیدمرتضی، شفاعی بجستان، محمود، و فراستی، معصومه. (۱۳۹۲). بررسی تغییر الگوی جریان در آبگیر جانبی با مایل شدن دیواره کانال اصلی. *مجله علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)*، ۳۶(۲)، ۱-۱۲. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1392.36.2.1.4>
- عطارزاده، علی، و قدسیان مسعود. (۱۳۹۹). بررسی تاثیر سامانه های مختلف کنترل رسوب بر توپوگرافی بستر در آبگیر جانبی ۹۰ درجه. *نشریه مهندسی عمران مدرس*. ۲۰(۳)، ۱۱۷-۱۲۸. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24766763.1399.20.3.7.7>
- کریمی مقدم، مهدی، کشاورزی، علیرضا، و سبزواری، تورج. (۱۳۹۷). اثر دبی انحرافی، شکل دهانه ی آبگیر، توپوگرافی و زبری بستر بر ابعاد جداولدگی جریان و تنش برشی در آبگیر جانبی. *نشریه تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی*، ۱۹(۷۳)، ۱۱۳-۱۲۶. <https://doi.org/10.22092/idser.2018.116852.1286>
- گوهری، سعید، ایوب زاده، سیدعلی، قدسیان، مسعود، و صالحی نیشابوری، سیدعلی اکبر. (۱۳۸۹). بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در آبگیر جانبی با استفاده همزمان از صفحات مستغرق و آبشکن در بسترهای آبرفتی. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*، ۱۱(۴)، ۱-۱۸. [https://journals.areeo.ac.ir/article\\_102311.html](https://journals.areeo.ac.ir/article_102311.html)
- مرادی نژاد، امیر، حمزه حقی آبی، امیر، صانعی، مجتبی، و یونسی، حجت اله. (۱۳۹۷). مطالعه آزمایشگاهی تاثیر زاویه دیوار جدا کننده روی کنترل رسوب در دهانه آبگیر. *نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۰(۱)، ۲۸-۴۲. <https://sid.ir/paper/234592/fa>
- معروفی نیا، ادریس، اثنی عشری، عادل، حسن زاده، یوسف، خوش طینت، سعید، و امین نژاد، بابک. (۱۳۹۵). شبیه سازی تاثیر صفحات مستغرق و آبشکن در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی با استفاده از نرم افزار SSIIM2. *علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)*، ۳۹(۴)، ۱۸۰-۱۶۹. <https://doi.org/10.22055/jise.2016.12505>

## References

- Al-Zubaidy, R., & Hilo, A. (2022). Numerical investigation of flow behavior at the lateral intake using Computational Fluid Dynamics (CFD). *Materials Today: Proceedings*, 56(4), 1914-1926. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.172>
- Attarzadeh, A., & Ghodsian, M. (2020). Study of the effect of the various layout of sediment control on bed topography at the 90° lateral intake. *MCEJ*, 20 (3), 117-128. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24766763.1399.20.3.7.7> [In Persian]

- Barkdoll, B.D., Ettema, R., & Odgaard, J. (1999). Sediment control at lateral diversion: limits and enhancements to vane use. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(8), 862-870. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:8\(862\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:8(862))
- Gohari, S., Ayyoubzadeh, S. A., Ghodsian, M., & Salehi Neishabouri, S. A. A. (2011). Laboratory investigation of the flow pattern in the lateral catchment with the simultaneous use of submerged and breakwater plates in alluvial beds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 11(4), 1-18. [https://journals.areeo.ac.ir/article\\_102311.html](https://journals.areeo.ac.ir/article_102311.html)[In Persian]
- Habibi, H., Masjedi, A., Purmohammadi, M. H., Kamanbedast, A. A., & Bordbar, A. (2019). Experimental Analysis of the Effect of Geometric Shape of Submerged Vanes on Sedimentation Flows at Lateral Intake Entrance in River Bends. *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(2), 119-133. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.22614.1614>[In Persian]
- Hasanizadeh, S. A., Alamatian, E., Amiri Deloui, M., & Afzal Nia, S.M. (2021). Determining the appropriate angle and height of submerged blades in order to control the sediment input to the side catchment channel in transformations using numerical modeling. *7th National Congress on civil engineering, architecture and urban development*, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/1374294>[In Persian]
- Hassan pour, F., Ayyoubzadeh, S. A., & Ghodsian, M. (2011). Performance of compound submerged vanes in sediment control at 90° lateral intake. *Watershed management researches ( pajouhesh- vazandegi)*, 24(3(92)), 1-12. <https://sid.ir/paper/200550/en>[In Persian]
- Jalili, H. R., Dalir, A., & Farsadi, D. (2011). Effect of Intake Geometry on the Sediment Transport and Flow Pattern at lateral Intake. *Iranian Water Researches Journal*, 5(2), 1-10. [https://iwrij.sku.ac.ir/article\\_10847.html?lang=en](https://iwrij.sku.ac.ir/article_10847.html?lang=en) [In Persian]
- Karami Moghadam, M., Keshavarz, A., & Sabzevari, T. (2019). The Effect of Diversion Flow, Intake Inlet Shape, Topography and Bed Roughness on the Flow Separation Dimensions and Shear Stress at the Lateral Intake. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 19(73), 113-126. <https://doi.org/10.22092/idser.2018.116852.1286>[In Persian]
- Khaled, K., Afzal, A., Ghumman, A.R., Hashmi, H.N., & Ashraf, M. (2014). Sediment transport investigations using three-dimensional numerical modeling in a large Canal: Marala Ravi Link Canal (Pakistan). *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(3),1-13. <https://www.researchgate.net/publication/261361149>
- Maroofi nia, E., Asna Ashari, A., Hassan Zadeh, Y., Khosh tinat, S., & Amin nejad, B. (2016). Investigation of the Effects of Submerged Vanes and Spur Dikes on Sediment Control at Lateral Intakes by SSIIM2 Software. *Irrigation Sciences and Engineering*, 39(4), 169-180. <https://doi.org/10.22055/jise.2016.12505>[In Persian]
- Moradinejad, A., Hamzeh Haghiabi, A., Saneie, M., & Yonesi, H. (2018). Experimental study on the effect of skimming wall angle on sediment control in lateral intake. *Watershed engineering and management*, 10(1), 28-42. <https://sid.ir/paper/234592/en>[In Persian]
- Neary, V.S., Sotiropoulos, F., & Odgaard, A.J. (1999). Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *Hydraulic Engin*, 125(2), 126-140. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:2\(126\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:2(126))
- RostamAbadi, M. (2020). Numerical study of the effect of changing the geometric parameters of intake and the arrangement of submerged vanes on the anti-sediment coefficient. *Journal of Hydraulics*, 15(4), 95-111. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2020.252014.1481>[In Persian]
- Serajian, M. T., Masjedi, A., Heidarnejad, M., & Hasonizadeh, H. (2022). Investigating the Effect of Convergence and Submerged Vanes Composition on the Hydraulic of the Lateral Intakes' Inlet Flow at 90° River Bends. *Journal of Marine Science and Technology*, 21(3), 33-43. <https://doi.org/10.22113/jmst.2021.250222.2394>[In Persian]
- Syedean, S., Shafai Bejestan, M., & Farasati, M. (2014). Investigation of Flow Pattern Change at Lateral Intake due to Inclination of Channel Bank. *Irrigation Sciences and Engineering*, 36(2), 1-12. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1392.36.2.1.4>[In Persian]

- Sruthi, T.K., Ranjith, K.B., & Chandra, V. (2017). Control of sediment entry into an intake canal by using submerged vanes. *AIP Conference Proceedings*, 1875(1), 030007. <https://doi.org/10.1063/1.4998378>
- Wei, H., Feng, S., Zhang, J., Tang, H., Xiao, Y., Chen, S., & Liu, C. (2023). Hydrodynamic characteristics and particle tracking of 90° lateral intakes at an inclined river slope. *Water Science and Engineering*, 17(2), 197-208. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.11.004>



## Efficiency of CCHE2D numerical model in flow and sediment modeling (case study: Karun River)

Sheyda Osivand<sup>1</sup> , Javad Zahiri<sup>2</sup> , Ahmad Jafari<sup>3</sup> , Fereshteh Porasaf<sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Department of Water structures, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: osivand.h@gmail.com

<sup>2</sup> Corresponding Author, Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: j.zahiri@asnrkh.ac.ir

<sup>3</sup> Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: ajafari@asnrkh.ac.ir

<sup>4</sup> Khuzestan Water and Power Authority (KWPA), Ahvaz, Iran. E-mail: fporasaf@gmail.com

### ABSTRACT

Flow hydraulics is considered as the most important factor in the morphological changes of the river by influencing the sediment transport and the shape of the waterway. Accordingly, the hydraulic simulation is very critical in all river engineering projects. In order to model the river flow, many and diverse models with different hypotheses and numerical methods are developed and used. The case study is about 110 km and the three hydrometric stations are located on this reach of the Karun River. Molasani and Farsiat stations were considered as upstream and downstream boundary conditions, and Ahvaz station was used as a control station to validate the model. The information used in this research includes information on the elevation of the Karun River, the flow rate and the water level in three hydrometric stations were obtained from the Khuzestan Water & Power Authority (KWPA). The CCHE2D model was developed in 1997 at the Center for Computational Science and Engineering under the supervision of the University of Mississippi, USA. This model is an analytical system for two-dimensional, unsteady and turbulent river flows, sediment transport and water quality assessment. The model is designed with the purpose of application in the areas related to the prediction of the river bed and erosion of its banks, meander movement and water quality. Numerical models in the field of two-dimensional hydraulic simulation of flow and sediment usually need extensive and complete input information. The reason for this is the dependence of the turbulent flow process in natural channels on various factors. The accuracy of the results obtained from the execution of the model will be directly related to the quality, quantity and accuracy of the input data. To simulate the flow in CCHE2D, it is necessary to determine the duration of the simulation and time steps in performing the numerical calculation process. In this research, different time steps has been used in different stages, and the time steps in most of the simulation stages were considered equal to 150 seconds, and in some situations, smaller time steps have been used in order to solve the instability of the model. In order to check and analyze the model in relation to the mesh size and choose its optimal size, modeling was performed for three different sizes of 150,000, 270,000 and 350,000 mesh nodes. The results obtained for the mesh size of 150,000 nodes show a significant difference with the sizes of 270,000 and 350,000 nodes. This difference is occurred due to the fact that at the beginning and end of the hydrograph, the water level in the network is low and the number of calculation nodes that are located in the dry area is more than the nodes that are located in the wetter area. This problem is partially solved by increasing the flow rate in the hydrograph and increasing the water level. Also, in order to choose the appropriate flow turbulence model for three modes of k- $\epsilon$  model, Parabolic Eddy Viscosity and Mixing Length, simulation was done and the observed water level difference was compared with the measured results at Ahvaz hydrometric station. Based on the obtained results, the k- $\epsilon$  turbulence model has the best match with the observed values with an error of 2% and was chosen as the base model for further modeling. It is worth noting that most of the conducted studies also show that the k- $\epsilon$  model is more capable of modeling the flow in rivers and provides more accurate results. In order to implement the sediment model, the suspended sediment rating curve of Ahvaz station was used as total load sediments. Based on the obtained results, the Ackers - White sediment transport model with a coefficient of 0.1 adaptation factor shows a better agreement with the observational results. The CCHE2D simulations show that the eddy viscosity distribution in the meanders is more intense, which can have a direct effect on the erosion process of the outer bends. Based on the investigations, the maximum erosion and sedimentation took place upstream of the Ahvaz hydrometric station and in the meandering areas of the river. The intensity of erosion in the downstream area of Ahvaz station has decreased significantly. One of the most important reasons for this issue is the low slope of the river bed downstream of the river. In general, the process of modeling, distribution and pattern of flow and sediment parameters by CCHE2D model is reasonable and has acceptable accuracy, and this model can be used for other processes such as changes in the river morphology and displacement of meanders, flow analysis and erosion at the structures.

**Keywords:** CCHE2D model, sediment transport, flow turbulence, k- $\epsilon$  model, parabolic Eddy Viscosity model, mixing Length model

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 13 June 2024 Revised: 28 September 2024 Accepted: 16 November 2024 Published: 21 December 2024

### 1. Introduction

Flow hydraulics is considered as the most important factor in the morphological changes of the river by influencing the sediment transport and the shape of the waterway (Adamsson et al, 2003). Accordingly, the hydraulic simulation is very critical in all river engineering projects. In order to model the river flow, many and diverse models with different hypotheses and numerical methods are developed and used. Due to the complexity of hydraulic and sedimentary phenomena in rivers, it is not possible to solve the governing equations by analytical methods, so numerical methods are usually used. In mathematical models, due to the fact that the real size of the river is modeled, there is no scale limitation,

---

although in some cases, fine networks cause the duration of model execution to be longer(Liu et al, 2010). The application and accuracy of mathematical models depends on the definition of the equations governing the phenomenon and the numerical methods used. The aim of the current study is to simulate the hydraulic flow and sediment with CCHE2D software in the Karun River in the Molasani to Farsiat hydrometric stations. In this study, the effect of meshing dimensions and different turbulence models on the accuracy of flow hydrodynamic modeling as well as different sediment equations on river bed changes using CCHE2D model has been investigated.

## 2. Methodology

The case study is about 110 km and the three hydrometric stations are located on this reach of the Karun River. Molasani and Farsiat stations were considered as upstream and downstream boundary conditions, and Ahvaz station was used as a control station to validate the model. The information used in this research includes information on the elevation of the Karun River, the flow rate and the water level in three hydrometric stations were obtained from the Khuzestan Water & Power Authority (KWPA). The CCHE2D model was developed in 1997 at the Center for Computational Science and Engineering under the supervision of the University of Mississippi, USA. This model is an analytical system for two-dimensional, unsteady and turbulent river flows, sediment transport and water quality assessment. The model is designed with the purpose of application in the areas related to the prediction of the river bed and erosion of its banks, meander movement and water quality. Numerical models in the field of two-dimensional hydraulic simulation of flow and sediment usually need extensive and complete input information. The reason for this is the dependence of the turbulent flow process in natural channels on various factors. The accuracy of the results obtained from the execution of the model will be directly related to the quality, quantity and accuracy of the input data. To simulate the flow in CCHE2D, it is necessary to determine the duration of the simulation and time steps in performing the numerical calculation process. In this research, different time steps has been used in different stages, and the time steps in most of the simulation stages were considered equal to 150 seconds, and in some situations, smaller time steps have been used in order to solve the instability of the model.

## 3. Results and discussion

In order to check and analyze the model in relation to the mesh size and choose its optimal size, modeling was performed for three different sizes of 150,000, 270,000 and 350,000 mesh nodes. The results obtained for the mesh size of 150,000 nodes show a significant difference with the sizes of 270,000 and 350,000 nodes. This difference is occurred due to the fact that at the beginning and end of the hydrograph, the water level in the network is low and the number of calculation nodes that are located in the dry area is more than the nodes that are located in the wetter area. This problem is partially solved by increasing the flow rate in the hydrograph and increasing the water level. Also, in order to choose the appropriate flow turbulence model for three modes of k- $\epsilon$  model, Parabolic Eddy Viscosity and Mixing Length, simulation was done and the observed water level difference was compared with the measured results at Ahvaz hydrometric station. Based on the obtained results, the k- $\epsilon$  turbulence model has the best match with the observed values with an error of 2% and was chosen as the base model for further modeling. It is worth noting that most of the conducted studies also show that the k- $\epsilon$  model is more capable of modeling the flow in rivers and provides more accurate results. In order to implement the sediment model, the suspended sediment rating curve of Ahvaz station was used as total load sediments. Based on the obtained results, the Ackers - White sediment transport model with a coefficient of 0.1 adaptation factor shows a better agreement with the observational results.

## 4. Conclusions

The CCHE2D simulations show that the eddy viscosity distribution in the meanders is more intense, which can have a direct effect on the erosion process of the outer bends. Based on the investigations, the maximum erosion and sedimentation took place upstream of the Ahvaz hydrometric station and in the meandering areas of the river. The intensity of erosion in the downstream area of Ahvaz station has decreased significantly. One of the most important reasons for this issue is the low slope of the river bed downstream of the river. In general, the process of modeling, distribution and pattern of flow and sediment parameters by CCHE2D model is reasonable and has acceptable accuracy, and this model can be used for other processes such as changes in the river morphology and displacement of meanders, flow analysis and erosion at the structures.

## 5. References

- Adamsson, A., Stovin, V., & Bergdahi, L. (2003). Bed shear stress boundary condition for storage tank sedimentation. *Journal of Environmental Engineering*, 129(7), 651-658. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2003\)129:7\(651\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2003)129:7(651))
- Liu, B.C., Ma, J., Luo, L., Bai, Y., Wang, S., & Zhang, J. (2010). Two-dimensional LDV measurement, modeling, and optimal design of rectangular primary settling tanks. *Journal of Environmental Engineering*, 136(5), 501-507. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000186](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000186)

## 6. Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

## 7. Acknowledgments

The authors would like to thank the Khuzestan Water and Electricity Organization for providing the information required for this study to them.

---

**Cite this article:** Osivand, Sh., Zahiri, J., Jafari, A., & Pourasaf, F. (2024). Efficiency of CCHE2D numerical model in flow and sediment modeling (case study: Karun River), *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(4), 68-89. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10855.1131>





## بررسی کارایی مدل عددی CCHE2D در مدل سازی جریان و رسوب (مطالعه موردی: رودخانه کارون)

شیدا اوسیوند<sup>۱</sup>، جواد ظهیری<sup>۲</sup>✉، احمد جعفری<sup>۳</sup>، فرشته پورآصف<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> گروه سازه های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: osivand.sh@gmail.com

<sup>۲</sup> گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: j.zahiri@asnrkh.ac.ir

<sup>۳</sup> گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: ajafari@asnrkh.ac.ir

<sup>۴</sup> سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: fporasaf@gmail.com

### چکیده

باتوجه به پیچیدگی پدیده های هیدرولیکی و رسوبی در رودخانه ها، امکان حل معادلات حاکم به روش های تحلیلی ممکن نیست و معمولاً از روش های عددی استفاده می شود. مدل های عددی در زمینه شبیه سازی هیدرولیک دوی بعدی جریان و رسوب، معمولاً به اطلاعات ورودی گسترده و کاملی نیاز دارند. علت این امر وابستگی فرایند حرکت آشفته جریان در مجاری طبیعی به عوامل گوناگون است. مقدار دقت نتایج حاصل از اجرای مدل، به کیفیت، کمیت و صحت داده های ورودی ارتباط مستقیم خواهد داشت. هدف از مطالعه حاضر شبیه سازی هیدرولیک جریان و رسوب با نرم افزار CCHE2D در رودخانه کارون در بازه ملاثانی تا فارسیات است. در این مطالعه تأثیر ابعاد مش بندی و مدل های مختلف تلاطم بر دقت مدل سازی هیدرودینامیک جریان و نیز اثر معادلات مختلف رسوب بر روی تغییرات بستر رودخانه با استفاده از مدل CCHE2D مورد بررسی قرار گرفته شده است. محدوده طرح مورد مطالعه حدود ۱۱۰ کیلومتر بوده که سه ایستگاه هیدرومتری در این بازه از رودخانه کارون قرار گرفته اند. سه ایستگاه آب سنجی مورد مطالعه شامل ایستگاه های ملاثانی، اهواز و فارسیات هستند که ایستگاه های ملاثانی و فارسیات به عنوان شرایط مرزی در بالادست و پایین دست در نظر گرفته شدند و ایستگاه اهواز به عنوان ایستگاه شاهد جهت صحت سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. برای شبیه سازی جریان در CCHE2D، تعیین مدت زمان شبیه سازی و گام های زمانی در انجام فرایند محاسبات عددی، لازم و ضروری است. در این تحقیق در مراحل مختلف، زمان شبیه سازی متفاوت بوده است و گام های زمانی در اغلب مراحل شبیه سازی برابر با مقدار ۱۵۰ ثانیه در نظر گرفته شد و در برخی شرایط به منظور رفع ناپایداری مدل، از گام های زمانی کوچک تر استفاده شده است. شبیه سازی های صورت گرفته با استفاده از مدل CCHE2D نشان می دهد که لزجت گردابی در مائندرها مقدار بیشتری داشته که می تواند بر روند فرسایشی قوس خارجی، اثر مستقیم داشته باشد. بر اساس بررسی های انجام شده، حداکثر فرسایش و رسوب گذاری صورت گرفته در بالادست ایستگاه هیدرومتری اهواز و در محدوده های مائندری رودخانه است. شدت فرسایش در بازه پایین دست ایستگاه اهواز به طرز چشمگیری کاهش داشته است. یکی از مهم ترین دلایل این مسئله کم بودن شیب بستر رودخانه در پایین دست رودخانه است. به طور کلی روند محاسبات، توزیع و الگوی پارامترهای جریان و رسوب توسط مدل CCHE2D منطقی و از دقت قابل قبولی برخوردار است و می توان از این مدل برای سایر فرایندها از جمله تغییرات مسیر رودخانه و جابه جایی مائندرها، تحلیل جریان و فرسایش در پای سازه ها و... استفاده نمود.

واژه های کلیدی: مدل CCHE2D، مدل انتقال رسوب، مدل  $k-\epsilon$ ، مدل Parabolic Eddy Viscosity، مدل Mixing Length

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۴ خرداد ۱۴۰۳ اصلاح: ۰۷ مهر ۱۴۰۳ پذیرش: ۲۶ آبان ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ دی ۱۴۰۳

استناد: اوسیوند، ش.، ظهیری، ج.، جعفری، ا.، و پورآصف، ف. (۱۴۰۳). بررسی کارایی مدل عددی CCHE2D در مدل سازی جریان و رسوب (مطالعه موردی: رودخانه

کارون)، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۴(۴)، ۸۹-۶۸. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10855.1131>



### مقدمه

هیدرولیک جریان با تأثیر گذاشتن بر روی انتقال رسوبات و شکل آبراهه به‌عنوان مهم‌ترین عامل تغییرات مرفولوژی رودخانه به‌حساب می‌آید (آدامسون و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳). بر همین اساس شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در رودخانه‌ها از جمله موارد مهم در تمامی پروژه‌های مهندسی رودخانه به‌حساب می‌آید. جهت مدل‌سازی جریان رودخانه مدل‌های متعدد و متنوعی با فرضیات و روش‌های عددی مختلف توسعه یافته و مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های نوین ارائه شده از تکنیک‌های مختلفی از قبیل سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی جهت مدل‌سازی جریان رودخانه سود می‌برند (لیو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰). اکثر مدل‌های ارائه شده که به طور متداول مورد استفاده قرار می‌گیرند، جریان را به صورت یک‌بعدی فرض کرده و پارامترهای هیدرولیکی جریان را بر اساس معادلات یک‌بعدی سنت و نانت شبیه‌سازی می‌نمایند. فرض یک‌بعدی بودن جریان در اغلب بازه‌های رودخانه قابل توجه بوده ولی در بخش‌های خاصی از رودخانه مکانیسم جریان از شرایط دوبعدی و یا حتی سه‌بعدی تبعیت می‌کند. دلیل استفاده از مدل‌های یک‌بعدی، ساده بودن این مدل‌ها و سرعت بالای اجرای آن‌هاست که امروزه با توسعه روش‌های عددی و افزایش سرعت پردازش رایانه‌ها می‌توان از مدل‌های دوبعدی در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در رودخانه‌ها بهره برد. یکی دیگر از مشکلات استفاده از مدل‌های دو و سه‌بعدی، نیاز به نقشه ارتفاعی رودخانه و محدوده اطراف آن است که می‌تواند به شدت بر روی نتایج به دست آمده از مدل عددی تأثیرگذار باشد. تهیه نقشه ارتفاعی شامل دو بخش است که بخش اول آن مربوط به دشت‌های سیلابی رودخانه بوده که می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد و بخش دوم نقشه ارتفاعی مربوط به توپوگرافی بستر رودخانه است که تهیه آن بسیار مشکل بوده و نیاز به تکنیک‌های نوین سنجش از راه دور و یا اندازه‌گیری در محل است (وانگ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸).

قوس رودخانه‌ها از جهات مختلف از قبیل یافتن محل مناسب آبگیرها، تثبیت کناره‌ها یا بستر فرسایشی، انحراف جریان و کشتیرانی دارای اهمیت بوده و این مسائل به ضعف و قوت جریان‌های ثانویه، توزیع سرعت، توپوگرافی بستر و مشخصات هندسی پیچان رود بستگی دارد. جریان‌های مارپیچی از مشخصه‌های اصلی جریان در قوس رودخانه‌ها بوده که در اثر برخورد جریان ثانویه با بردار سرعت متوسط به وجود می‌آید. جریان‌های مارپیچی یکی از عوامل مؤثر در فرسایش قوس بیرونی رودخانه به‌حساب می‌آیند (ولی‌زاده و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۲۳). از این رو تحلیل هیدرودینامیکی جریان در پیچان رودها، در طراحی و اجرای طرح‌های مهندسی رودخانه و سیلاب، مؤثر بوده و باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد (سامرای و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۹). بدین منظور، استفاده از مدل‌های عددی به دلیل سهولت اجرا، انعطاف‌پذیری بالا در تغییر پارامترهای جریان و هزینه‌های کمتر نسبت به مدل‌های فیزیکی، جایگاه ویژه‌ای دارند. بهره‌گیری از مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای مدل‌سازی جریان آب، ما را یک گام به پیش‌بینی‌های کلی‌تر برای فرایندهای حاکم بر جریان در رودخانه‌های پیچان‌رودی نزدیک‌تر می‌کند. در دهه‌های اخیر، فرایندهای حاکم بر جریان آب و حمل رسوب به صورت دقیق‌تر، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین، با پیشرفت‌های به وجود آمده در توانمندی رایانه‌ها و توسعه روش‌های محاسبات عددی، استفاده از مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی به صورت چشمگیری افزایش یافته است. امروزه کاربرد مدل‌های CFD به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای مهندسی هیدرولیک در بررسی کانال‌های روباز و فرایندهای رودخانه‌ای محسوب می‌شود. مدل CCHE2D علاوه بر شبیه‌سازی دوبعدی جریان، از قابلیت خوبی جهت پیش‌بینی مشخصات جریان در رودخانه‌های مائندی برخوردار است.

### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

باتوجه به پیچیدگی پدیده‌های هیدرولیکی و رسوبی در رودخانه‌ها، امکان حل معادلات حاکم به روش‌های تحلیلی ممکن نیست و معمولاً از روش‌های عددی استفاده می‌شود. امروزه با پیشرفت سیستم‌های کامپیوتری و توسعه هر چه بیشتر روش‌های عددی، مدل‌های ریاضی

<sup>1</sup> Adamsson et al

<sup>2</sup> Liu et al

<sup>3</sup> Wang et al

<sup>4</sup> Valizadeh et al

<sup>5</sup> Sammarraee et al

<sup>6</sup> Center for Computational Hydroscience and Engineering

در مطالعات مهندسی رودخانه کاربرد زیادی یافته‌اند. در مدل‌های ریاضی باتوجه‌به اینکه اندازه واقعی رودخانه مدل می‌شود، محدودیت مقیاس وجود ندارد، هرچند در بعضی موارد شبکه‌های ریز باعث طولانی‌شدن مدت‌زمان اجرای مدل می‌شوند (فنگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۳). کاربرد و دقت مدل‌های ریاضی بستگی به تعریف معادلات حاکم بر پدیده و روش‌های عددی به‌کارگرفته‌شده دارد (جعفرزاده، ۱۳۷۱). مدل‌های ریاضی به‌طور گسترده‌ای در حل موضوعات پیچیده هیدرودینامیکی در مقیاس‌های وسیعی استفاده شده است. متداول‌ترین مدل‌های عددی مورد استفاده مهندسی، مدل‌های هیدرودینامیکی هستند. این مدل‌ها شرایط جریان را با استفاده از روش‌های عددی تحلیل می‌کنند. شبیه‌سازی ویژگی‌های جریان حداقل نیاز به یک مدل دوبعدی دارد (شهیدان و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲). اخیراً مدل‌های عددی دوبعدی و سه‌بعدی متعددی برای مدل‌سازی جریان و فرایندهای انتقال رسوب ایجاد شده‌اند. اکثر مدل‌های دوبعدی هزینه محاسباتی کمتری نسبت به مدل‌های سه‌بعدی دارند؛ بنابراین در بسیاری از مسائل از مدل‌های دوبعدی استفاده می‌شود (نصار<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱). با این حال، تحلیل و مدل‌سازی برخی مسائل مانند شبیه‌سازی گرداب نعل‌اسبی و آشستگی موضعی اطراف پایه‌ها و تکیه‌گاه پل‌ها، نیاز به استفاده از مدل‌های سه‌بعدی دارد و استفاده از مدل‌های عددی دوبعدی در چنین مواردی منطقی نیست (ژانگ<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶).

محبوب و همکاران (۱۳۹۵) کاربرد مدل‌های عددی در شبیه‌سازی رفتار رودخانه‌های مشرف به مسیر راه را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که استفاده از مدل‌های دوبعدی نظیر مدل CCHE2D با قابلیت بهره‌گیری از انواع مدل‌های آشفتگی و شبیه‌سازی هم‌زمان بار معلق و بار بستر در حالت غیر تعادلی، غیریکنواخت و رسوب چسبنده و غیر چسبنده، مناسب است. نیکنام و همکاران (۱۳۹۵) از مدل عددی دوبعدی CCHE2D برای شبیه‌سازی الگوی جریان آب در بازه‌ای از پیچان رود طبیعی رودخانه کر در حدفاصل پل عباس‌آباد و سد درود زن استان فارس استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که این مدل در پیش‌بینی مقادیر سرعت و عمق جریان به‌خصوص در قوس‌های قلمرو مورد مطالعه از دقت مناسبی برخوردار بوده و داده‌های شبیه‌سازی شده به داده‌های اندازه‌گیری شده شباهت زیادی دارند. عباسی و اکبری (۱۳۹۵) شرایط هیدرولیکی جریان برای بازه‌ای از رودخانه شهر چای میانه را با استفاده از مدل هیدرودینامیکی CCHE2D و مدل HEC-RAS و الحاقیه‌ی آن HEC-GEORAS در محیط GIS شبیه‌سازی و نتایج حاصل را با یکدیگر مقایسه کردند. آرمان و همکاران (۱۳۹۶) الگوی جریان و رسوب در یک قوس ۹۰ درجه ملایم، همراه و بدون حضور آبشکن‌ها با تغییر موقعیت قرارگیری و طول آبشکن‌ها با آرایش‌های ۱۵٪، ۲۰٪ و ۲۵٪ عرض فلوم با استفاده از مدل عددی CCHE2D بررسی نمودند و با در نظر گرفتن عملکرد هیدرولیکی آبشکن، ترکیب بهینه پارامترهای طول و موقعیت آبشکن در قوس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر قابلیت بالای مدل عددی در شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب در قوس است. نتایج حاصل از مقایسه سرعت‌ها در مدل و نتایج آزمایشگاهی بیانگر دقتی بیش از ۹۴٪ می‌باشد. همچنین در صحت‌سنجی رسوبی مشخص شد که دقت مدل در برآورد فرسایش و رسوب‌گذاری بیش از ۹۰٪ می‌باشد. نصار (۲۰۱۱) مدل CCHE2D را برای بازه‌ای از رودخانه نیل اجرا کرده و با استفاده از آنالیز حساسیت چند پارامتر نشان داد که جریان در رودخانه نیل بیشتر توسط ضریب زبری بستر کنترل می‌شود. کردی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۵) با ارائه یک مدل ریاضی شبه دوبعدی برای تعیین توزیع عرضی سرعت در مقاطع مرکب، آن را در مختصات منحنی الخط به‌صورت عددی حل نمودند. روش ارائه‌شده بر اساس شبیه‌سازی سلول‌های جریان ثانویه در رودخانه‌های مئاندری می‌باشد. برای بهبود پیش‌بینی سرعت متوسط در عمق، جریان ثانویه به‌عنوان تابعی از تنش برشی بستر و سرعت جریان تعریف شده است. در مقاطع مئاندری روش پیشنهادی دارای خطای نسبی کمتری بوده و ضریب تبیین بهتری ( $R^2 = 0.94$ ) نسبت به روش اروین و همکاران با ضریب ۷۰ درصد ارائه کرده است. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل پیشنهادی از دقت مناسبی برخوردار است. شریفان و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۷) برای شبیه‌سازی توزیع عرضی سرعت و رسوب در محل قوس رودخانه‌ها، از حل عددی مدل ریاضی شیونو و نایت<sup>۷</sup> استفاده کردند. برای واسنجی ضریب زبری مانینگ در این مدل از داده‌های توزیع

<sup>1</sup> Feng et al

<sup>2</sup> Shahidan et al

<sup>3</sup> Nassar

<sup>4</sup> Zhang

<sup>5</sup> Kordi et al

<sup>6</sup> Sharifan et al

<sup>7</sup> Shiono and Knight Method

عرضی سرعت اندازه‌گیری شده در محل یکی از قوس‌های رودخانه کارون در مجاورت ایستگاه هیدرومتری اهواز استفاده شد. همچنین با انتخاب ۳ رابطه تجربی انتقال کل رسوب (معادلات اکرز-وایت، انگلوند-هانسن و یانگ)، بخش رسوبی این مدل نیز به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده توزیع عرضی غلظت رسوب در محل قوس واسنجی شد. نتایج حل عددی مدل ریاضی شیونو و نایت به روش تفاضل‌های محدود نشان داد که از میان روابط رسوبی مورد استفاده، رابطه رسوبی یانگ مطابقت خوبی با مقادیر غلظت رسوب اندازه‌گیری شده در عرض رودخانه داشته و نسبت به روابط رسوبی اکرز-وایت و انگلوند-هانسن، از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. سلماسی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) الگوی جریان رودخانه بشار را با استفاده از مدل CCHE2D تحلیل کردند. برای این منظور، مسیری به طول ۱۲ کیلومتر در بالادست ایستگاه هیدرومتری شاه‌مختار در حوالی شهر یاسوج در نظر گرفته شد. مدل CCHE2D با استفاده از ضرایب زبری مختلف مانینگ و مدل‌های مختلف تلاطم کالیبره شد. برای این منظور، نتایج عددی با داده‌های مشاهده‌ای برای سه دبی مختلف مقایسه شد. نتایج نشان داد که برای دبی‌های متوسط و زیاد، ضرایب زبری مانینگ کمتر ( $0.15 < n < 0.25$ ) و برای دبی‌های کم، ضرایب زبری مانینگ بالاتر ( $n > 0.35$ ) مناسب‌تر است. همچنین مدل آشفته  $k-\epsilon$  در این مطالعه مناسب‌تر از بقیه مدل‌ها معرفی گردید. داس و بیسوال<sup>۲</sup> (۲۰۲۳) از مدل CCHE2D جهت تحلیل جریان غیرماندگار در قوس رودخانه گوماتی<sup>۳</sup> استفاده کردند. این محققین برای اعتبارسنجی مدل CCHE2D از فاکتورهای مختلف زبری مانینگ و مدل‌های آشفتگی استفاده کردند. برای دو دبی جریان مختلف، نتایج شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی مقایسه شد. نتایج مدل عددی نشان داد که وجود نیروی گریز از مرکز و جریان‌های حلزونی به شدت بر تغییرات ساختار جریان در قوس رودخانه تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این در مقاطع عرضی قوس رودخانه، شیب عرض جغرافیایی سطح آب توسط جریان حلزونی و سرعت متوسط تغییر می‌کند. بر اساس مؤلفه‌های ضریب تبیین و ضریب همبستگی خطی، رابطه خطی و مستقیم بین سرعت و تنش برشی در کل محدوده مطالعه مشاهده شده است. لی و نگویان<sup>۴</sup> (۲۰۲۳) از ترکیب مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی جهت شبیه‌سازی تغییرات بستر رودخانه هایو<sup>۵</sup> استفاده کردند. نتایج این محققین نشان می‌دهد که استفاده از مدل هیبریدی یک‌بعدی-دوبعدی باعث کاهش ملموس مدت‌زمان اجرای مدل شده و علاوه بر این دقت آن نسبت به مدل دوبعدی کامل تغییرات چندان نداشته است. دوال و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۲۳) از معادلات دوبعدی جریان کم‌عمق<sup>۷</sup> جهت مدل‌سازی سیلاب‌های شهری استفاده کردند. در این تحقیق ساختار جریان در معابر شهری و نیز جریان عبوری از پنجره‌ها و درهای شکسته با استفاده از معادلات دوبعدی مذکور مورد مطالعه قرار گرفت. دو مدل آشفتگی شامل مدل آشفتگی بر اساس عمق جریان و سرعت اصطکاک و نیز مدل تلاطم  $k-\epsilon$  مورد استفاده قرار گرفت. سیزده منطقه شهری با جریان پایدار و پنج منطقه با جریان ناپایدار در نظر گرفته شد. هر دو مدل تلاطم، عمق جریان را به دقت برای جریان‌های ماندگار شبیه‌سازی کردند. توزیع دبی و سرعت جریان در خیابان‌ها با دقت کمتری به‌ویژه در فضاهای باز بزرگ پیش‌بینی شد. میانگین انحراف توزیع دبی مدل‌سازی شده در خروجی‌ها برای مدل اول و دوم به ترتیب ۲/۵ و ۷/۳ درصد بود. ژانگ و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۲۴) از یک مدل هیدرودینامیکی یک‌بعدی به عنوان جایگزینی برای مدل‌های دو بعدی جهت شبیه‌سازی جریان سطحی در حوزه‌های پیچیده دو بعدی استفاده کردند. با کاهش یک بعد، شبیه‌سازی مدل جایگزین با دقت قابل قبول و راندمان محاسباتی بسیار بالاتر انجام شد. جایگزینی از طریق تقلید از مدل‌های دو بعدی در تولید شبکه انجام می‌شود، به طوری که شبکه کانال یک بعدی به گونه‌ای ایجاد می‌شود که از نظر هندسی کل دامنه را بدون همپوشانی و تقاطع پوشش دهد و از نظر هیدرولوژیکی از شیب‌های تند پیروی کند. مقایسه نتایج مدل یک بعدی ارائه شده با مدل دو بعدی CCHE2D نشان می‌دهد که مدل یک بعدی پیشنهادی پتانسیل شبیه‌سازی کارآمد جریان سطحی در حوزه‌های پیچیده دو بعدی را با دقتی قابل مقایسه با مدل‌های دو بعدی دارد. ژانگ و تیفور<sup>۹</sup> (۲۰۲۴) اقدام به شبیه‌سازی دوبعدی انتقال رسوب با استفاده از مدل CCHE2D-SED، در نتیجه شکست سرریز سد خاکی در مناطق

<sup>1</sup> Salmasi et al

<sup>2</sup> Das & Biswal

<sup>3</sup> Gomati River

<sup>4</sup> Le & Nguyen

<sup>5</sup> Hau

<sup>6</sup> Dewals et al

<sup>7</sup> 2D shallow water equations (SWE)

<sup>8</sup> Zhang et al

<sup>9</sup> Tayfur

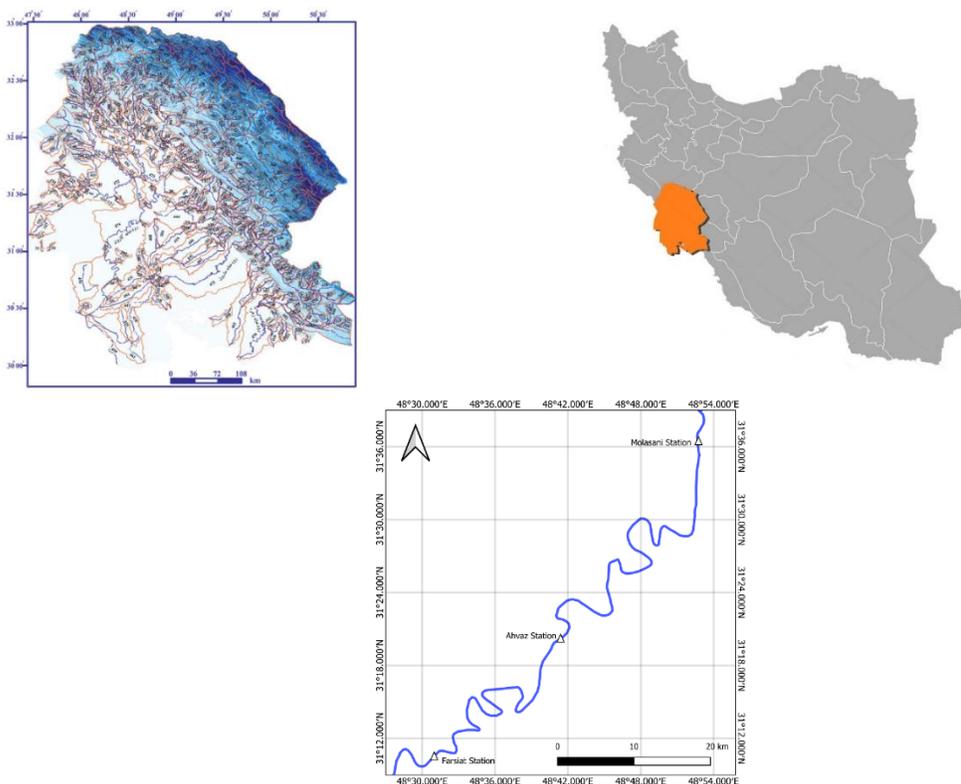
شهری، نمودند. این مدل قادر به در نظر گرفتن شکاف بدنه سد و انتقال رسوب است. این مدل ابتدا با شبیه‌سازی داده‌های آزمایشگاهی، شامل اندازه‌گیری سطوح، پروفیل‌های طولی رسوب و توزیع رسوب، اعتبارسنجی شد. قسمت پایین دست کانال آزمایشی به صورت بستر صاف و بستر زبر با بلوک‌های بتنی طراحی شد. برای هر دو مورد، نتایج شبیه‌سازی مدل رضایت‌بخش بوده است. سپس این مدل برای شبیه‌سازی سناریوهای شکست سرریز دو سد خاکی واقعی به کار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پایین دست سدها می‌تواند در معرض فرسایش، در شروع شکست سد، و رسوب‌گذاری قابل توجه پس از تخلیه کامل مخزن، قرار گیرد.

در مطالعه حاضر تأثیر ابعاد مش‌بندی و مدل‌های مختلف تلاطم از قبیل مدل  $k - \epsilon$ ، Parabolic Eddy Viscosity و Mixing Length بر دقت مدل‌سازی هیدرودینامیک جریان مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این میزان کارایی معادلات مختلف رسوب بر روی تغییرات بستر رودخانه با استفاده از مدل CCHE2D ارزیابی شده است.

## روش پژوهش

### مشخصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

رودخانه کارون به طول ۸۹۰ کیلومتر طولانی‌ترین رودخانه ایران بوده که در جهت عمومی جنوب شرقی- شمال غربی جریان دارد. این رودخانه پس از ورود به دشت خوزستان در شمال گتوند، به سمت جنوب جریان می‌یابد. در شوشتر، توسط بند میزان که توسط شاپور اول ساخته شده، رودخانه به دوشاخه شطیپ یا دجیل و گرگر تقسیم می‌شود. در بند قیر دو شاخه مذکور به علاوه رودخانه دز به هم ملحق شده و به سمت جنوب جریان می‌یابد. رودخانه پس از عبور از شهر اهواز، همچنان مسیر جنوبی را ادامه داده تا در نزدیکی خرمشهر به بهم‌شیر و اروندرود متصل می‌شود که موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در رودخانه کارون در شکل (۱) نشان داده شده است (ظهیری و آشناور، ۱۳۹۸).



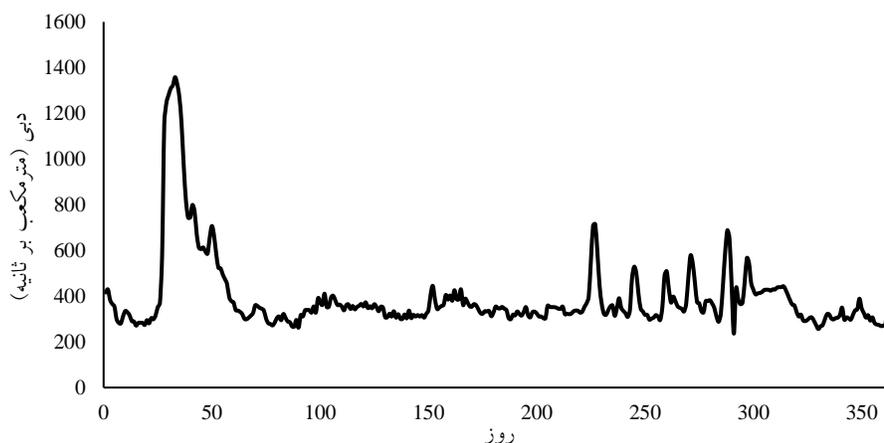
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بر روی رودخانه کارون

## اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری

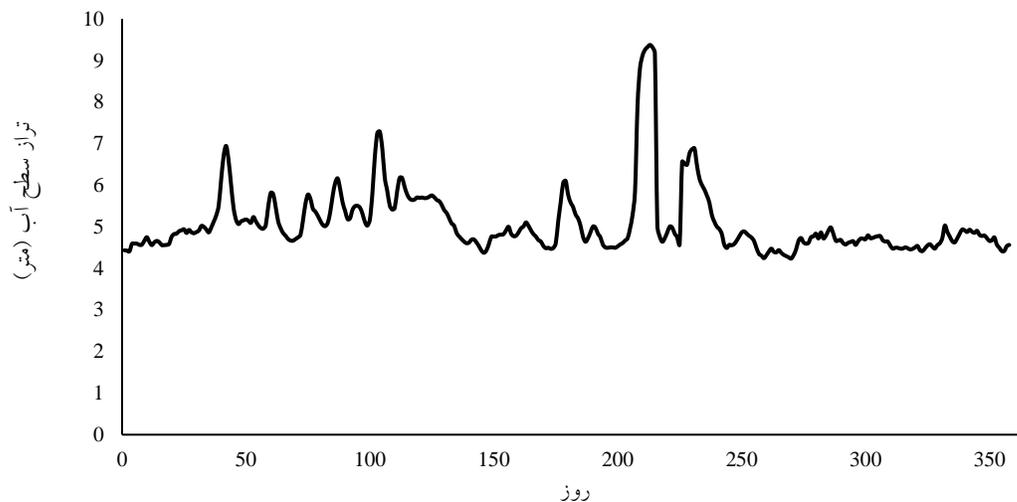
محدوده طرح مورد مطالعه حدود ۱۱۰ کیلومتر است و سه ایستگاه مورد مطالعه بر روی این بازه از رودخانه کارون قرار گرفته‌اند. سه ایستگاه آب‌سنجی مورد مطالعه شامل ایستگاه‌های ملاثانی، اهواز و فارسیات هستند که ایستگاه‌های ملاثانی و فارسیات به‌عنوان شرایط مرزی در بالادست و پایین‌دست در نظر گرفته شدند و ایستگاه اهواز به‌عنوان ایستگاه شاهد جهت صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول (۱) نشان داده شده است. اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق شامل اطلاعات مقاطع ارتفاعی رودخانه کارون، دبی جریان و تراز سطح آب در سه ایستگاه آب‌سنجی ملاثانی، اهواز و فارسیات است که از سازمان آب و برق استان خوزستان تهیه گردید. قابل ذکر است که مدل عددی برای کل دوره آماری اشاره شده در جدول (۱) اجرا گردید. شرط مرزی بالادست که شامل هیدروگراف دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی است تنها برای سال اول دوره آماری (۱۳۹۵) در شکل (۲) ارائه شده است. تراز سطح آب در ایستگاه فارسیات به‌عنوان شرط مرزی پایین‌دست برای همین دوره زمانی در شکل (۳) نشان داده است. هیدروگراف دبی رسوب در ایستگاه ملاثانی نیز جهت اجرای مدل رسوب در شکل (۴) ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری منطقه

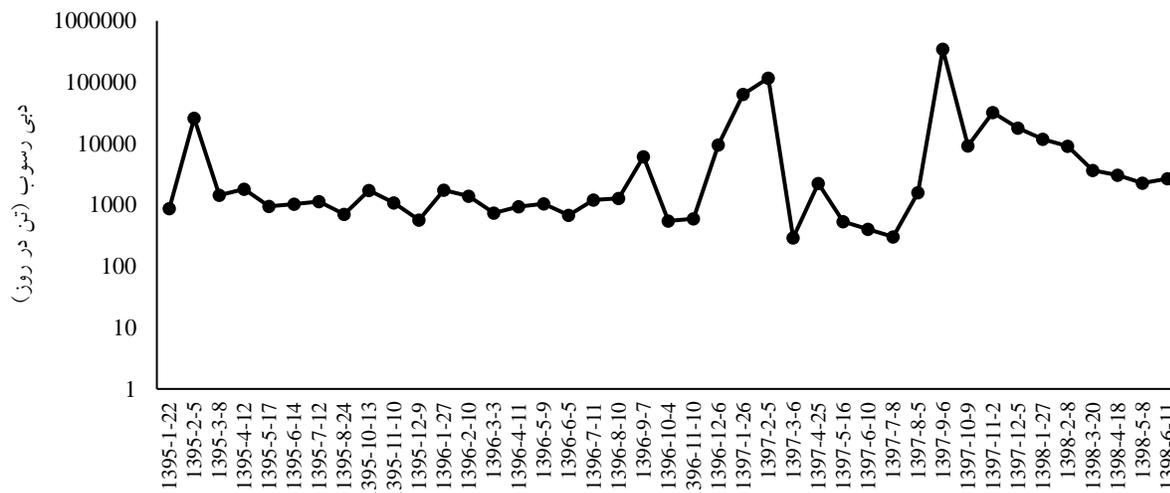
ردیف	ایستگاه	اطلاعات مورد استفاده	دوره آماری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	ملاثانی	هیدروگراف	۹۷-۱۳۹۵	۲۹۸۶۴۹	۳۴۹۶۲۲۵
۲	اهواز	هیدروگراف و اشل	۹۷-۱۳۹۵	۲۷۹۵۸۲	۳۴۶۸۸۶۳
۳	فارسیات	اشل	۹۷-۱۳۹۵	۲۶۲۸۹۴	۳۴۵۱۵۵۲



شکل ۲. بخشی از هیدروگراف دبی جریان در ایستگاه ملاثانی به‌عنوان شرط مرزی بالادست



شکل ۳. بخشی از تراز سطح آب در ایستگاه فارسیات به عنوان شرط مرزی پایین دست



شکل ۴. هیدروگراف دبی رسوب در ایستگاه ملاثانی جهت اجرای مدل انتقال رسوب

### معادلات جریان و رسوب در مدل CCHE2D

معادلات دوبعدی بکار رفته در مدل CCHE2D عبارت اند از:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left[ \frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{cor \cdot v} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left[ \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - f_{cor} \cdot u \quad (3)$$

که در آن‌ها  $u$  و  $v$  سرعت‌های متوسط عمقی در راستای  $x$  و  $y$  هستند،  $G$  شتاب ثقل،  $Z$  تراز سطح آب،  $\rho$  چگالی آب،  $h$  عمق آب،  $f_{cor}$

پارامتر کوریولیس،  $\tau_{xx}$ ،  $\tau_{xy}$ ،  $\tau_{yx}$  و  $\tau_{yy}$  تنش‌های برشی رینولدز متوسط عمقی و  $\tau_{bx}$  و  $\tau_{by}$  تنش‌های برشی در سطح بستر هستند.

مدل دوبعدی CCHE2D جهت شبیه‌سازی انتقال رسوبات معلق و بستر از معادلات زیر استفاده می‌کند:

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(uhC)}{\partial x} + \frac{\partial(vhC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( hD_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( hD_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + S_s \quad (4)$$

در رابطه بالا،  $C$  غلظت رسوبات،  $Dx$  و  $Dy$  ضرایب انتشار در راستای  $x$  و  $y$  و  $S_s$  ترم اضافه‌شدن/حذف رسوبات<sup>۱</sup> است.

$$q_b = A\tau^n \quad (5)$$

در رابطه فوق که مربوط به محاسبه بار بستر است،  $q_b$  نرخ انتقال بار بستر،  $\tau$  تنش برشی بستر و  $A$  و  $n$  ضرایب تجربی هستند (ژانگ، ۲۰۰۶).

### مدل آشفتگی

مدل CCHE2D از مدل‌های مختلف آشفتگی استفاده می‌کند. برای مدل آشفتگی  $k - \epsilon$  نیازی به تعیین ضریب لزجت آشفتگی<sup>۲</sup> نیست ولی اگر مدل‌های Parabolic Eddy Viscosity یا مدل طول اختلاط Wind-Driven Flow، Mixing Length یا مدل Smagorinski را انتخاب کنیم لازم است ضریب لزجت آشفتگی را نیز تعیین نماییم. این پارامتر به‌عنوان ضریبی عمل می‌کند که بیانگر این است که ویسکوزیته آشفتگی چند برابر مقدار محاسباتی آن از مدل آشفتگی انتخابی می‌باشد. به‌عنوان مثال اگر ضریب لزجت آشفتگی برابر ۱۰ در نظر گرفته شود بدین معنی است که ویسکوزیته آشفتگی ۱۰ برابر مقدار محاسبه‌شده از مدل آشفتگی انتخابی است. معمولاً ضریب لزجت آشفتگی را برابر ۱ در نظر می‌گیرند (ژانگ، ۲۰۰۶). ضرایب لزجت آشفتگی مورد استفاده توسط مدل CCHE2D به صورت زیر هستند:

$$v_t = A_{xy} C_s \kappa u_* h \quad (6)$$

$$C_s = \int_0^1 \xi(1-\xi) d\xi = \frac{1}{6} \quad (7)$$

که  $u_*$  سرعت برشی جریان،  $\kappa$  ضریب ثابت فان کارمن<sup>۳</sup> (۰/۴۱) و  $\xi$  عمق نسبی جریان می‌باشد.  $A_{xy}$  ضریبی جهت تنظیم لزجت گردابی بوده که مقدار پیش‌فرض آن برابر با ۱ است ولی می‌تواند بین ۱ تا ۱۰ تغییر کند. روش دیگری که مدل CCHE2D جهت محاسبه لزجت آشفتگی مورد استفاده قرار می‌دهد، مدل متوسط عمقی لزجت گردابی طول اختلاط<sup>۴</sup> است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$v_t = \Gamma^2 \sqrt{2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2} \quad (8)$$

$$\Gamma = \frac{1}{h} \int \kappa z \sqrt{\left( 1 - \frac{z}{h} \right)} dz = \kappa z \int_0^1 \xi \sqrt{(1-\xi)} d\xi \sim 0.267 \kappa h \quad (9)$$

<sup>1</sup> sediment source/sink term

<sup>2</sup> Turbulence Viscosity Coefficient

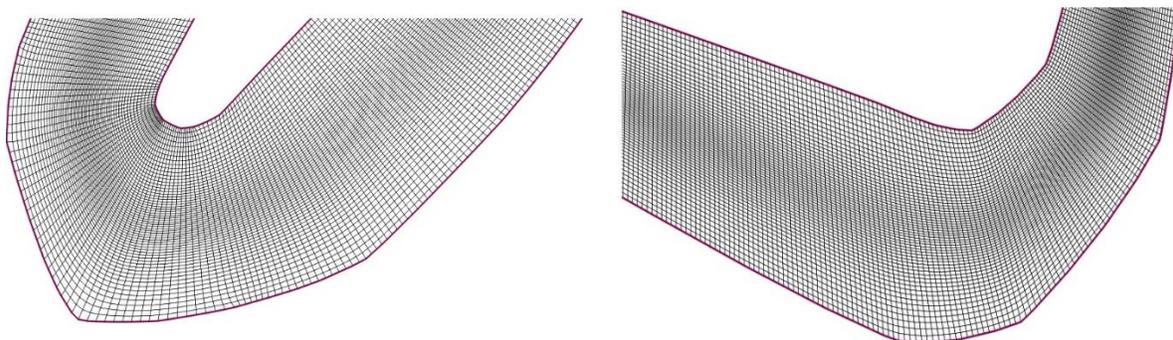
<sup>3</sup> Von Karman's constant

<sup>4</sup> depth integrated mixing length eddy viscosity

گردایان سرعت در امتداد مختصات عمودی  $\frac{\partial U}{\partial z}$  جهت نشان دادن تاثیر آشفتگی ناشی از سطح بستر مورد استفاده قرار گرفته شده است. بدون در نظر گرفتن این ترم، میزان لزجت گردابی در جریان یکنواخت برابر با صفر خواهد شد (ژانگ، ۲۰۰۶).

### شبیه‌سازی عددی

زمانی که منطقه مورد مطالعه شبکه‌بندی گردید و شرایط مرزی نیز تعیین شد، مدل آماده شبیه‌سازی است. چون انجام محاسبات در مدل CCHE2D بر اساس گام‌های زمانی است، کاربر باید در زمان‌های مختلف شرایط اولیه را بازبینی کند. به دلیل اینکه شرایط اولیه برای جریان آب در شرایط طبیعی نامشخصی است، باید مراقب بود که شرایط اولیه تخمین زده شده تا حد امکان منطقی و قابل توجیه باشند. این حالت بخصوص هنگامی که شرایط جریان به صورت غیرماندگار است، اهمیت بیشتری دارد. پایداری حل نیز مسئله‌ای است که کاربر هنگام شبیه‌سازی باید کاملاً به آن واقف باشد. اگرچه حل عددی معادلات مربوطه به صورت ضمنی صورت می‌گیرد، ولی گام‌های زمانی نمی‌توانند به صورت دلخواه به مدل معرفی گردند. اگر گام‌های زمانی برای یک حالت خاصی بزرگ منظور گردند، شبیه‌سازی نمی‌تواند به صورت کامل انجام گیرد و یا در صورت انجام، نتایج کاملاً غیرمنطقی حاصل می‌گردد. در این وضعیت، کاربر باید گام‌های زمانی را کم کرده و دوباره تلاش کند تا حل مسئله پایدار گردد. یکی از پارامترهای مهم در سرعت اجرای مدل، شبکه‌بندی مناسب حوضه‌ای که جریان در آن برقرار است. در این مدل‌سازی پس از امتحان مقادیر مختلف ابعاد شبکه و حساسیت سنجی نسبت به ابعاد شبکه و باهدف بررسی عدم وابستگی میدان حل به شبکه‌بندی، یک سیستم شبکه‌بندی به روش RL Orthogonal Mesh with smoothness controls ایجاد شد. این روش برای رودخانه‌ها با هندسه نامنظم بسیار کاربردی بوده و برای ساخت یک شبکه محاسباتی باکیفیت، مناسب است. شکل (۵) آرایش شبکه را در محل دو قوس از رودخانه کارون نشان می‌دهد.



شکل ۵. آرایش شبکه محاسباتی در محل دو قوس از رودخانه کارون

### انتقال رسوب

بر اساس طبقه‌بندی قراردادی، حرکت رسوب به دو صورت بار معلق و بار بستر تقسیم می‌شود. بار بستر به آن قسمت از حرکت رسوب گفته می‌شود که دانه‌های رسوب در نزدیکی بستر (کف) بغلتند. بار معلق به آن قسمت از حرکت رسوب گفته می‌شود که رسوب در راستای عمق جریان معلق باشند و به لایه بالایی بار بستر نیز گفته می‌شود. نرم‌افزار CCHE2D قابلیت شبیه‌سازی بار کل انتقال رسوب را دارد.

### انتقال غیرتعادلی<sup>۱</sup>

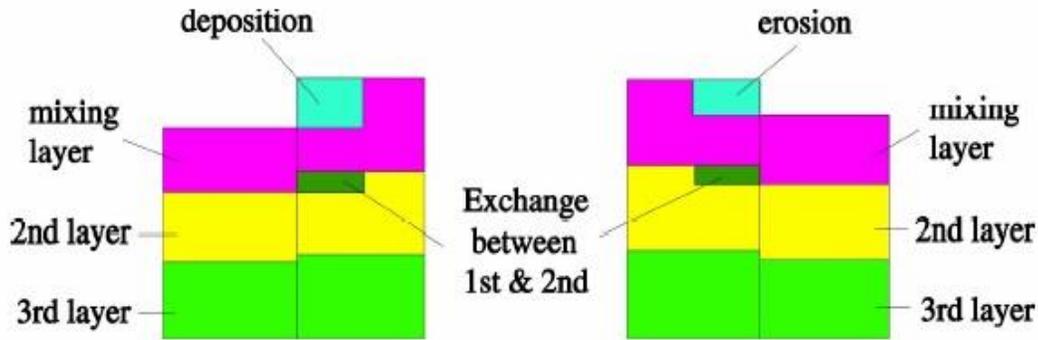
انتقال رسوب به دو حالت تعادلی یا غیرتعادلی در رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد که حالت تعادلی مربوط به شرایط ماندگار رسوب بوده که در آن نرخ انتقال رسوب در تعادل با شدت جریان است. این در حالی است که در شرایط غیرتعادلی، نرخ انتقال رسوب در تعادل با جریان نبوده و باعث فرسایش یا رسوب‌گذاری می‌شود. از آنجایی که انتقال رسوب بیشتر در شرایط غیرتعادلی اتفاق می‌افتد، پس لازم است شبیه‌سازی بار معلق انتقال

<sup>۱</sup> Non-Equilibrium Transport

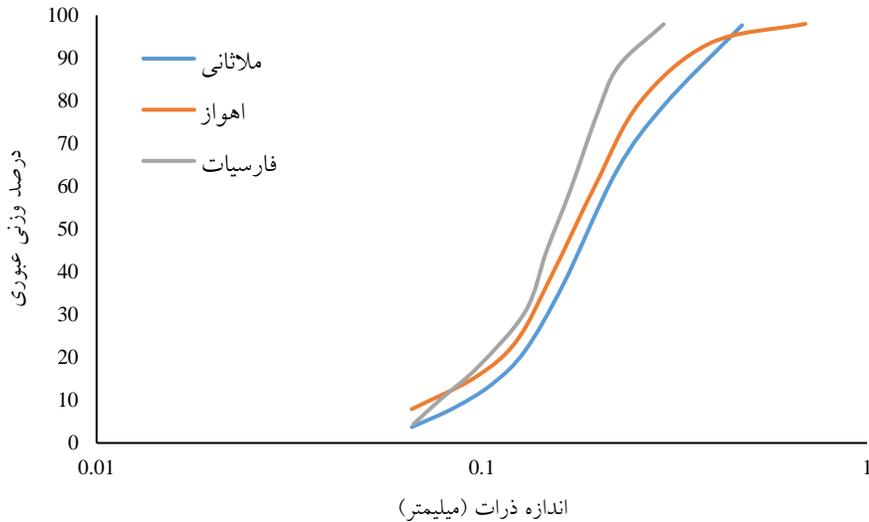
رسوب بر اساس مدل انتقال غیرتصادفی باشد. نرم‌افزار CCHE2D قابلیت شبیه‌سازی انتقال رسوب در شرایط غیرتصادفی برای هر دو حالت (بار بستر و بار معلق) را دارا است. این نرم‌افزار از معادله انتقال - پخش برای مدل‌سازی بار معلق و از معادله پیوستگی برای مدل‌سازی بار بستر استفاده می‌کند.

### طبقه‌بندی رسوب بستر

طبقه‌بندی رسوب بستر در راستای عمودی بسیار متغیر است. از این رو رسوب بستر بالای لایه غیر قابل فرسایش<sup>۱</sup> به چند لایه تقسیم می‌شود. در شکل (۶)، mixing layer بیانگر لایه مختلط<sup>۲</sup> است و 2nd layer بیانگر لایه زیرسطحی است. تغییر (نوسانات) طبقه‌بندی رسوب بستر در لایه مختلط با استفاده از معادلات دیفرانسیل جزئی و تخمین طبقه‌بندی رسوب بستر در لایه‌های پایینی با استفاده از قانون بقای جرم صورت می‌گیرد. منحنی دانه‌بندی رسوبات بستر برای سه ایستگاه هیدرومتری ملاثانی، اهواز و فارسیات مطابق شکل (۷) به مدل معرفی گردید.



شکل ۶. طبقه‌بندی رسوب بستر در راستای عمودی



شکل ۷. منحنی دانه‌بندی رسوبات بستر برای سه ایستگاه هیدرومتری ملاثانی، اهواز و فارسیات

<sup>1</sup> Non-Erodible

<sup>2</sup> Mixing Layer

### کالیبراسیون مدل هیدرولیک جریان و رسوب

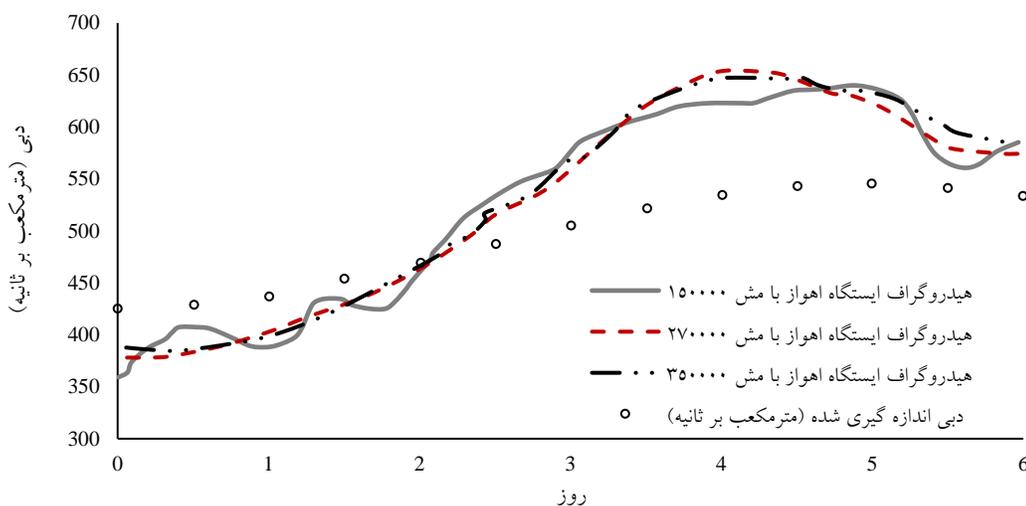
مدل‌های عددی در زمینه شبیه‌سازی هیدرولیک دوبعدی جریان و رسوب، معمولاً به اطلاعات ورودی گسترده و کاملی نیاز دارند. علت این امر وابستگی فرایند حرکت آشفته جریان در مجاری طبیعی به عوامل گوناگون است. مقدار دقت نتایج حاصل از اجرای مدل، به کیفیت، کمیت و صحت داده‌های ورودی ارتباط مستقیم خواهد داشت. برای شبیه‌سازی جریان در CCHE2D، تعیین میزان مدت‌زمان شبیه‌سازی و گام‌های زمانی در انجام فرایند محاسبات عددی، لازم و ضروری است. در این تحقیق در مراحل مختلف، زمان شبیه‌سازی متفاوت بوده است و گام‌های زمانی در اغلب مراحل شبیه‌سازی برابر با مقدار ۱۵۰ ثانیه در نظر گرفته شد و در برخی شرایط به‌منظور رفع ناپایداری مدل، از گام‌های زمانی کوچک‌تر استفاده شده است.

### یافته‌ها

#### کالیبراسیون مدل CCHE2D

##### آنالیز حساسیت مش‌بندی

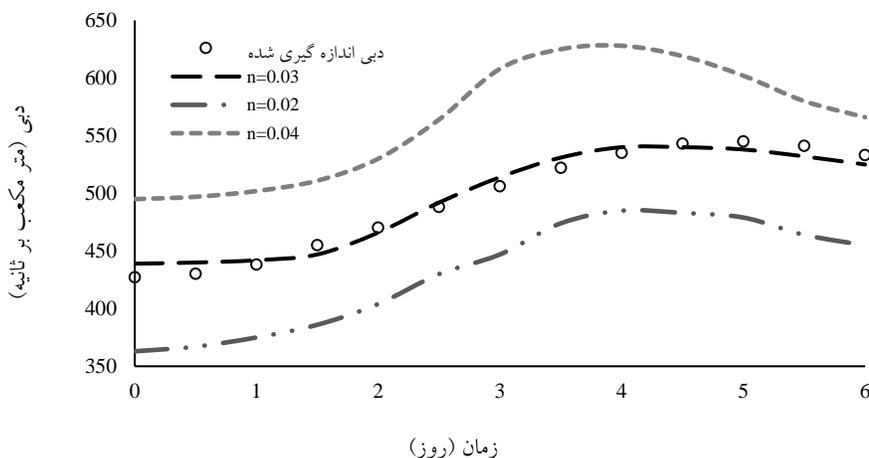
جهت بررسی و آنالیز مدل نسبت به اندازه شبکه محاسباتی (Mesh) و انتخاب مقدار اندازه بهینه آن، مدل‌سازی برای سه اندازه مختلف ۱۵۰،۰۰۰، ۲۷۰،۰۰۰ و ۳۵۰،۰۰۰ تعداد نقاط شبکه اجرا گردید. پس از اجرای مدل CCHE2D برای سه اندازه‌ی شبکه‌بندی مختلف، نتایج حاصل برای هیدروگراف ایستگاه هیدرومتری اهواز مطابق شکل (۸) استخراج گردید. چنانچه مشاهده می‌گردد، نتایج به‌دست‌آمده برای اندازه‌ی مش ۱۵۰،۰۰۰ گره، اختلاف معنی‌داری با اندازه‌های ۲۷۰،۰۰۰ و ۳۵۰،۰۰۰ گره نشان می‌دهد. علت این اختلاف می‌تواند به این دلیل باشد که در ابتدا و انتهای هیدروگراف، تراز سطح آب در بستر شبکه پایین بوده و تعداد نقاط محاسباتی که در منطقه‌ی خشک قرار می‌گیرند بیش از نقاطی است که در منطقه‌ی تر (زیر سطح آب) قرار دارند که این مسئله با بالا رفتن مقدار دبی در هیدروگراف و اوج گرفتن تراز سطح آب تا حدی حل می‌گردد. بر همین اساس مشاهده می‌شود که در میانه‌ی زمان محاسبه، هیدروگراف مربوط به مش ۱۵۰،۰۰۰ گره، تا حدی به دو هیدروگراف مربوط به دو شبکه دیگر نزدیک‌تر شده است. از سوی دیگر تفاوت معنی‌داری میان هیدروگراف خروجی ناشی از مش ۲۷۰،۰۰۰ گره نسبت به ۳۵۰،۰۰۰ گره، دیده نمی‌شود و تنها اختلاف در زمان اجرای مدل می‌باشد. بنابراین بهینه‌ترین اندازه شبکه‌بندی محاسباتی، برابر با ۲۷۰ هزار گره در نظر گرفته شد.



شکل ۸. هیدروگراف‌های متناظر با مقادیر مختلف شبکه‌بندی در ایستگاه هیدرومتری اهواز

### کالیبراسیون مدل هیدرولیک جریان

برای انجام کالیبراسیون مدل هیدرولیک جریان، چند سناریو با ضریب زبری‌های مختلف تعریف گردید به گونه‌ای که در هر سناریو یک مقدار زبری مشخص برای کل مجرای رودخانه تعریف شد و بر اساس آن، پس از انجام شبیه‌سازی، هیدروگراف دبی خروجی مدل با هیدروگراف دبی موجود در ایستگاه هیدرومتری اهواز مقایسه شد. براین اساس مناسب‌ترین ضریب زبری بستر که هیدروگراف خروجی متناظر با آن، بیشترین تطابق و کمترین خطا را با هیدروگراف موجود داشت، برابر با  $0.03$  تعیین گردید. در شکل (۹) هیدروگراف ایستگاه هیدرومتری اهواز به‌عنوان ایستگاه شاهد نشان داده شده است.



شکل ۹. مقایسه هیدروگراف جریان در ایستگاه هیدرومتری اهواز با ضرایب زبری مختلف

همچنین جهت انتخاب مدل مناسب آشفتگی جریان برای سه حالت مدل  $k - \epsilon$  و Parabolic Eddy Viscosity و Mixing Length شبیه‌سازی صورت گرفت و اختلاف سطح آب مشاهده‌ای با نتایج اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری شهر اهواز مورد مقایسه قرار گرفت. همان‌گونه که در جدول (۲) نشان داده شده است مدل آشفتگی  $k - \epsilon$  بهترین تطابق با مقادیر مشاهداتی را با خطای ۲ درصد داشته و به‌عنوان مدل مبنا جهت ادامه مدل‌سازی‌ها انتخاب گردید. شایان ذکر است که مطالعات دیگر نیز نشان می‌دهد که مدل  $k - \epsilon$  از قابلیت بیشتری برای مدل‌سازی جریان در رودخانه‌ها برخوردار بوده و نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد (سلماسی و همکاران، ۲۰۲۰).

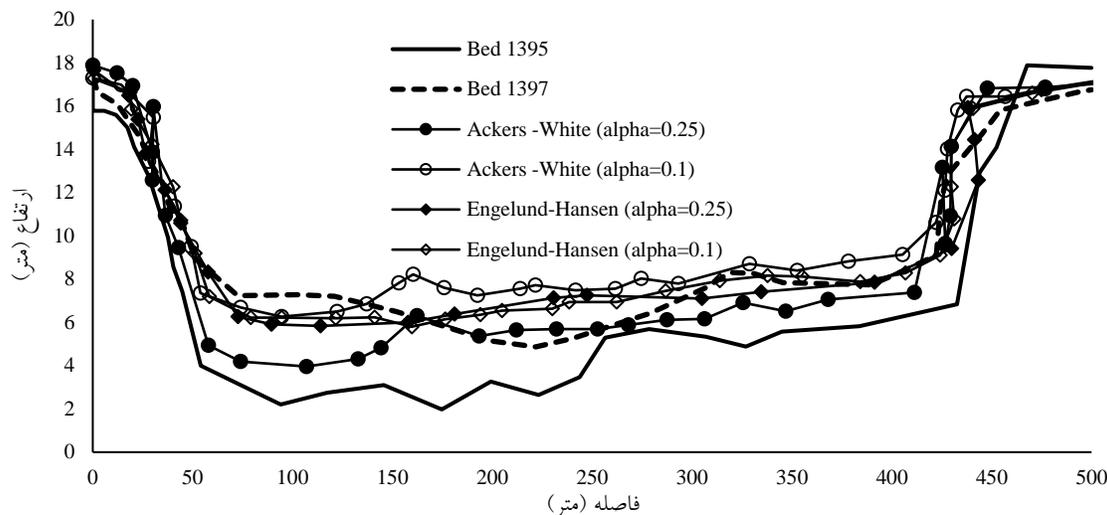
جدول ۲. نتایج انواع مدل‌های آشفتگی جهت محاسبه عمق جریان در ایستگاه اهواز

درصد خطا		مدل آشفتگی
دبی جریان	ارتفاع سطح آب	
۱۱/۳۴	۶/۴۵	Parabolic eddy viscosity model
۱۴/۶۲	۹/۶۲	Mixing length model
۷/۲۳	۲/۲۷	K-epsilon model

### کالیبراسیون مدل رسوب

جهت اجرای مدل رسوب، منحنی سنج رسوب معلق ایستگاه ملاثانی به‌عنوان رسوبات کل ورودی بکار گرفته شد. همچنین باتوجه به اینکه اطلاعات منحنی دانه‌بندی مصالح بستر نقش مهمی در شبیه‌سازی هیدرولیک رسوب دارد، لذا منحنی‌های دانه‌بندی در چند سال گذشته مورد

تجزیه و تحلیل قرار گرفته و از آن‌ها در مدل استفاده شد. نتایج مدل رسوب در بازه سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ در ایستگاه هیدرومتری اهواز به‌ازای مدل‌های انتقال رسوب اکرز وایت و انگلند هانسن با ضرایب مختلف فاکتور انطباق بار معلق در شکل (۱۰) ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مدل انتقال رسوب اکرز - وایت با ضریب ۰/۱ فاکتور انطباق، مطابقت بهتری را با نتایج مشاهداتی نشان می‌دهد.



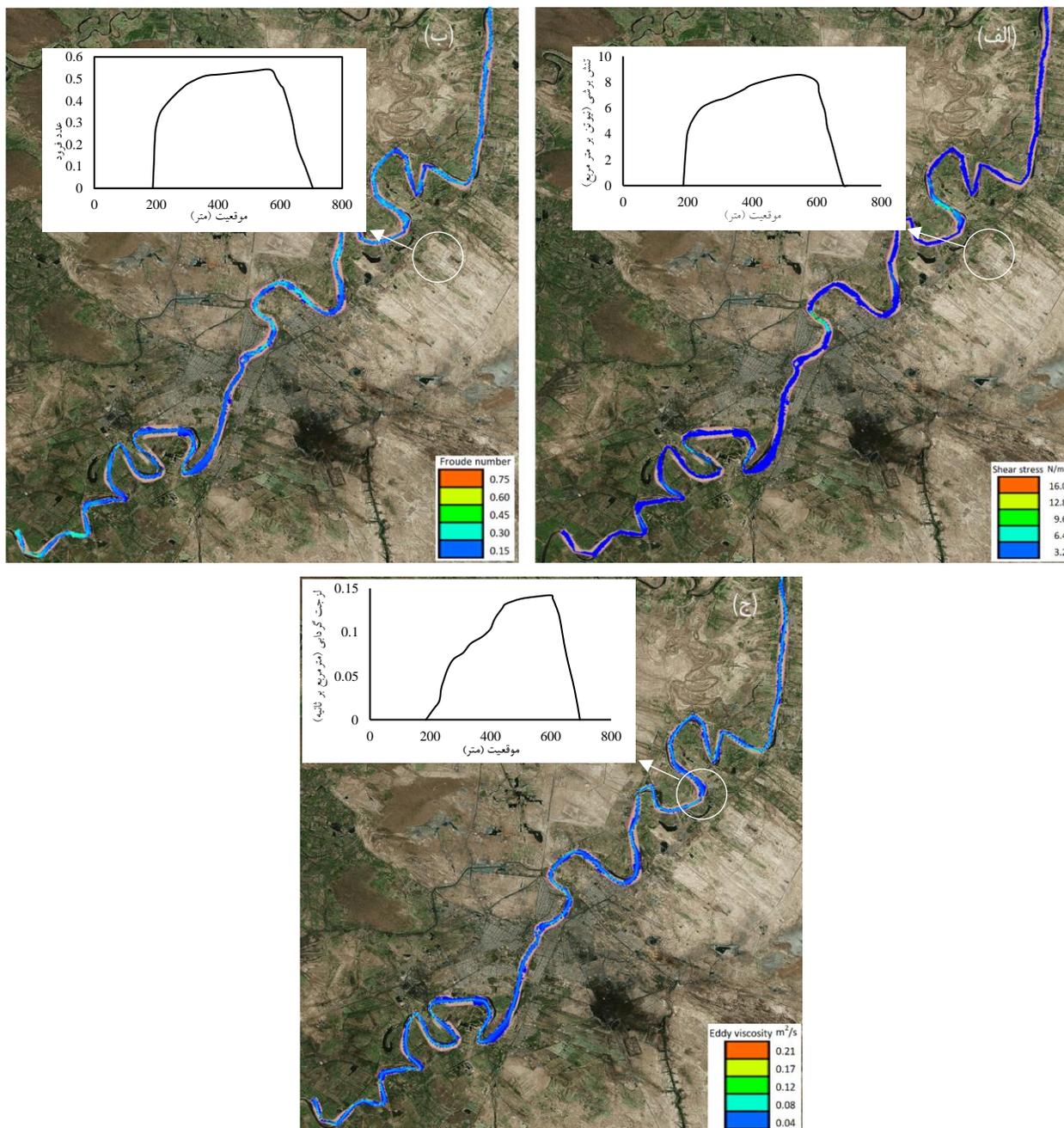
شکل ۱۰. تغییرات مقطع عرضی در ایستگاه اهواز به ازای توابع مختلف انتقال رسوب

## بحث

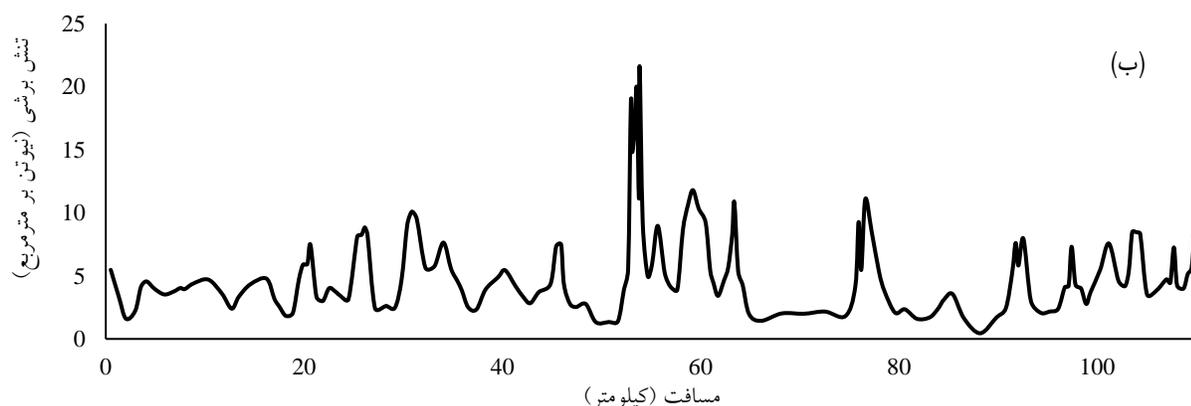
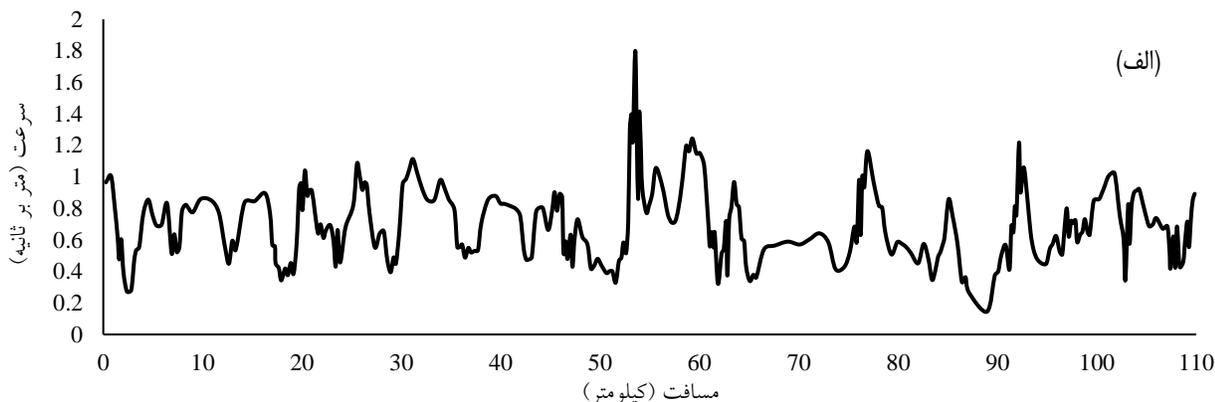
### تحلیل نتایج هیدرولیک جریان

در شکل (۱۱) متغیرهای تنش برشی، عدد فرود و لزجت گردابی به‌صورت دوبعدی در پلان رودخانه در کل بازه مورد مطالعه نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد مقادیر پارامترهای تنش برشی، عدد فرود و لزجت گردابی در تنگ‌شدگی‌ها و یا قوس‌های رودخانه افزایش می‌یابند. این افزایش گاهی تا حدود ۴ برابر مقادیر متوسط پارامترها نیز محاسبه شده است. نقش و اثرگذاری لزجت گردابی بر فرایند فرسایشی دیواره‌ها به‌ویژه در قوس‌ها، از میان پارامترهای فوق، بیشتر و مشهودتر می‌باشد. در شکل (۱۱، الف) که نشان‌دهنده توزیع تنش برشی در بازه مورد مطالعه است، تنش برشی در بالادست ایستگاه اهواز و در بخش مائندری رودخانه مقادیر بزرگ‌تری را نشان می‌دهد، این در حالی است که در پایین‌دست ایستگاه اهواز، تنش برشی مقادیر کوچک‌تری را ارائه می‌دهد. علاوه بر این شیب رودخانه کارون در بخش بالادست ایستگاه اهواز به‌مراتب بیشتر از پایین‌دست این ایستگاه می‌باشد. همین مسئله در مورد عدد فرود جریان مشهودتر است. مقادیر عدد فرود جریان در بالادست ایستگاه اهواز بسیار بزرگ‌تر از بازه پایین‌دست آن می‌باشد. در شکل (۱۱، ج) توزیع لزجت گردابی در بازه مورد مطالعه نشان داده شده است. بر اساس این شکل در قوس‌ها مقادیر لزجت گردابی به‌وضوح بزرگ‌تر از مسیر مستقیم می‌باشد. لزجت گردابی از جمله پارامترهای مؤثر بر فرسایش در قوس‌ها به‌حساب می‌آید. در شکل (۱۲) پروفیل طولی سرعت و تنش برشی برای گام زمانی انتهایی در نیم‌رخ طولی که از خط القعر رودخانه عبور می‌کند، ارائه شده است. بر اساس گراف‌های ارائه شده، حداکثر سرعت جریان در بالادست ایستگاه اهواز بوده و حدود ۱/۹ متر بر ثانیه محاسبه شده است. در بقیه مقاطع عرضی تفاوت‌چندانی بین مقاطع بالادست و پایین‌دست ایستگاه اهواز مشاهده نمی‌شود که دلیل آن ارائه سرعت جریان در خط القعر رودخانه است. این نمودارها نشان می‌دهند که تفاوت زیادی میان پارامترهای جریان در قسمت‌های مختلف مقاطع عرضی وجود داشته و مدل‌های یک‌بعدی قادر به مدل‌سازی توزیع متغیرها در عرض رودخانه نیستند. این در حالی است که مدل‌های دوبعدی، قادر به مدل‌سازی

توزیع متغیرهای مختلف هیدرولیکی در عرض رودخانه هستند. این مسئله به‌ویژه در مورد رودخانه‌های مئاندری از قبیل رودخانه کارون بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با مقایسه نمودارهای (۱۲، الف و ب) می‌توان مشاهده نمود که میان پارامترهای سرعت و تنش برشی ارتباط معنی‌داری وجود دارد. به عبارت دیگر مقدار تنش برشی ارتباط مستقیمی با اندازه و بزرگی سرعت در بازه‌ی محاسباتی دارد. همچنین می‌توان دریافت که در فاصله ۱۳ کیلومتر بالادست ایستگاه هیدرومتری اهواز بیشترین مقدار سرعت و تنش برشی مشاهده می‌شود که پتانسیل این محدوده از رودخانه را جهت فرسایش نشان می‌دهد.



شکل ۱۱. توزیع الف) تنش برشی، ب) عدد فرود، ج) لزجت گردابی در منطقه مورد مطالعه از رودخانه کارون



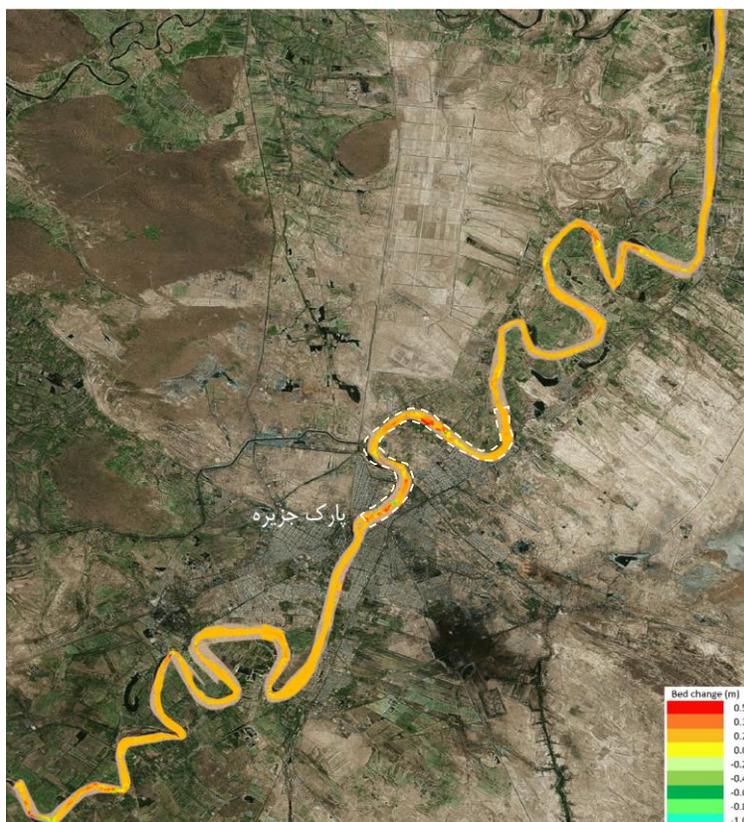
شکل ۱۲. پروفیل طولی سرعت و تنش برشی در محدوده کل بازه مورد مطالعه

### تحلیل نتایج هیدرولیک رسوب

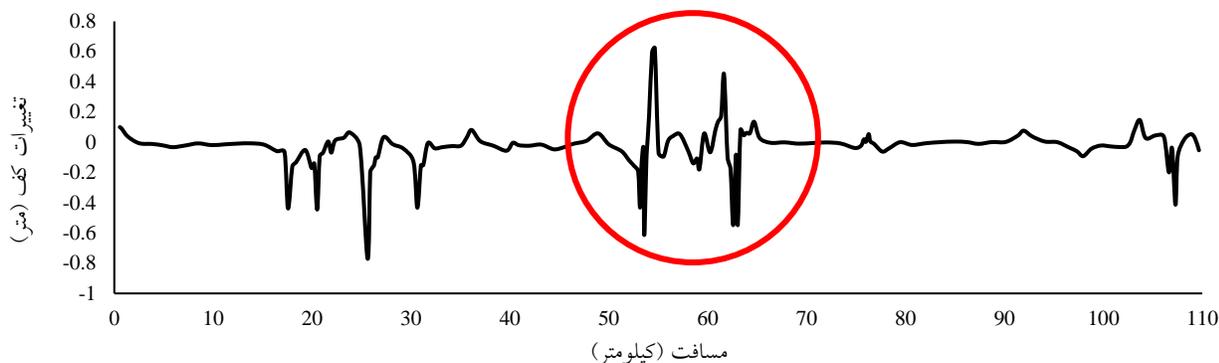
در شکل (۱۳) تغییرات بستر (فرسایش یا رسوب‌گذاری) در محدوده مورد مطالعه پس از اجرای مدل رسوب CCHE2D نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تنگ‌شدگی‌ها و قوس‌های رودخانه پتانسیل فرسایش یا رسوب‌گذاری افزایش یافته است. در قسمت بالادست پارک جزیره که بر روی شکل (۱۳) مشخص شده است، پدیده رسوب‌گذاری به‌وضوح دیده می‌شود. در محل برخورد جریان به جزیره اشاره‌شده، سرعت جریان کاهش یافته و این مسئله باعث رسوب‌گذاری شده است. همچنین در محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری اهواز به دلیل شیب بالای بستر رودخانه پدیده فرسایش و رسوب‌گذاری شدت بیشتری در مقایسه با بازه پایین‌دست رودخانه دارد.

به‌منظور بررسی بیشتر، نیمرخ طولی تغییرات بستر در خط‌القدر رودخانه در شکل (۱۴) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در بخش مستقیم رودخانه، بخش ابتدایی حد فاصل ایستگاه ملاثانی تا اهواز کمترین تغییرات در بستر را شاهد هستیم ولی با ورود جریان در مسیر قوس‌ها و شدت گرفتن تلاطم شاهد پدیده فرسایش و رسوب‌گذاری در محدوده مئاندری رودخانه هستیم. در این بخش شدت فرسایش به‌وضوح از میزان رسوب‌گذاری بیشتر است. حضور قوس‌های متوالی و شیب بالای بستر رودخانه از جمله عوامل مهم در این پدیده به‌حساب می‌آید. در

محدوده‌ای که با دایره قرمز مشخص شده است و مربوط به بازه بالادست پارک جزیره است، بین فرسایش و رسوب‌گذاری تا حد زیادی تعادل وجود داشته که دلیل آن حضور پارک جزیره است. البته در بالادست پارک جزیره سرریز طبیعی سنگی وجود داشته که بر روی تغییرات بستر در این ناحیه تأثیرگذار بوده است. در بخش پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری اهواز، به دلیل کاهش شیب رودخانه میزان فرسایش و رسوب‌گذاری از شدت بسیار کمتری برخوردار می‌باشد.



شکل ۱۳. پلان دوبعدی تغییرات بستر در منطقه مورد مطالعه از رودخانه کارون



شکل ۱۴. تغییرات بستر رودخانه کارون در محدوده مورد مطالعه

جهت بررسی دقیق تر روند فرسایش و رسوب گذاری، ناحیه ای در بالادست پارک جزیره به طول ۱۶ کیلومتر که بیشترین تغییرات بستر را دارا است و در شکل (۱۵) مشخص شده است، انتخاب گردید. بر اساس نتایج به دست آمده توسط مدل دو بعدی CCHE2D، میزان رسوب گذاری در این ناحیه ۵۱۸ متر مکعب و میزان فرسایش ۲۵۲ متر مکعب برآورد شده است که نشان دهنده رسوب گذار بودن رودخانه در این بازه است. میزان خالص رسوب گذاری در این بازه ۲۶۶ متر مکعب محاسبه شده است.



شکل ۱۵. روند فرسایش و رسوب گذاری در بالادست پارک جزیره

### نتیجه گیری

در این مطالعه از مدل دوبعدی CCHE2D جهت شبیه سازی جریان و رسوب در محدوده ملاثانی تا فارسیات از رودخانه کارون استفاده شده است. بر اساس شبیه سازی های صورت گرفته نتایج زیر به دست آمد:

- لزجت گردابی در مئاندرها، به دلیل میزان بالای انرژی جنبشی و تلاطم زیاد جریان، مقدار بیشتری داشته که می‌تواند بر روند فرسایشی قوس خارجی، اثر مستقیم داشته باشد.

- بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، حداکثر فرسایش و رسوب‌گذاری صورت‌گرفته در بالادست ایستگاه هیدرومتری اهواز و در محدوده‌های مئاندردی رودخانه است. شدت فرسایش در بازه پایین‌دست ایستگاه اهواز به طرز چشمگیری کاهش داشته است. یکی از مهم‌ترین دلایل این مسئله کم‌بودن شیب بستر رودخانه در پایین‌دست رودخانه است.

- نتایج محاسبات مدل CCHE2D نشان می‌دهد که این مدل در قوس‌ها به‌خوبی توانسته پارامترهای جریان را مدل‌سازی نماید و مقادیر تنش برشی و لزجت گردابی را شبیه‌سازی کند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نقاطی را که پتانسیل فرسایش‌پذیری یا رسوب‌گذاری دارند را مشخص نمود. با توجه به‌دقت نتایج مدل CCHE2D می‌توان از این مدل برای سایر فرایندها از جمله تغییرات مسیر رودخانه و جابه‌جایی مئاندرها، تحلیل جریان و فرسایش در پای سازه‌ها و... استفاده نمود.

### تقدیر و تشکر

در پایان از سازمان آب و برق خوزستان که اطلاعات موردنیاز این پژوهش را در اختیار نویسندگان قرار دادند، سپاسگزاری می‌گردد.

### منابع

- اکبری، شهلا. (۱۳۹۵). ارزیابی دقت روش‌های معمول تعیین حریم رودخانه‌ها با استفاده از مدل‌های دویعدی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.  
<https://ganj.randoc.ac.ir/#/articles/ace7be3bfe14a6611572ab18c26ab2b7>
- آرمان، علی، فتاحی، پریا، و ظهیری، جواد. (۱۳۹۶). شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب با حضور سری آبشکن‌ها در قوس ۹۰ درجه ملایم با استفاده از مدل CCHE2D. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۴(۳)، ۳۹-۲۱.  
<https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.12018.2654>
- ظهیری، جواد، و آشناور، مهران. (۱۳۹۸). مدل‌سازی دویعدی هیدرولیک جریان در رودخانه کارون. نشریه علوم آب و خاک دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۳(۴)، ۳۳۱-۳۴۴.  
<http://dx.doi.org/10.47176/jwss.23.4.36151>
- محبوب، امیر، عباس‌نیا، امیرحسین، و کیلانتهی، فواد. (۱۳۹۵). کاربرد مدل‌های عددی در شبیه‌سازی رفتار رودخانه‌های مشرف به مسیر راه. فصلنامه جاده، ۲۴(۸۹)، ۲۷۷-۲۹۱.  
[https://road.bhrc.ac.ir/article\\_50954.html](https://road.bhrc.ac.ir/article_50954.html)
- نیکنام، ابوزر، خسروی، غلام‌رضا، نوحه‌گر، احمد، و حلی‌ساز، ارشک. (۱۳۹۷). مدل‌سازی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه‌ی کر با استفاده از مدل CCHE2D در پیچان رودهای سراب سد درودزن. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۱(۴)، ۸۳-۶۹.  
<https://doi.org/10.22092/wmej.2018.100548.1000>

### References

- Adamsson, A., Stovin, V., & Bergdahi, L. (2003). Bed shear stress boundary condition for storage tank sedimentation. *Journal of Environmental Engineering*, 129(7), 651-658.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2003\)129:7\(651\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2003)129:7(651))
- Akbari, Sh. (2016). Investigation of accuracy of traditional methods in river terrain assessment utilizing 2D models. *Master Thesis*, Civil Engineering College, Zanjan University, Zanjan, Iran.  
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/ace7be3bfe14a6611572ab18c26ab2b7> [In Persian]
- Arman, A., Fattahi, P., & Zahiri, J. (2017). Simulation of flow and sediment pattern with spur dikes series in a 90-degree mild bend using CCHE2D model. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(3), 21-39.  
<https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.12018.2654> [In Persian]

- Das, A., & Biswal, S. K. (2023). Numerical Modeling of Flow Pattern at a Right-angled River Bend Using CCHE2D Model. *Scientific Research Communications*, 3(1). <https://doi.org/10.52460/src.2023.005>
- Dewals, B., Kitsikoudis, V., Mejía-Morales, M. A., Archambeau, P., Mignot, E., Proust, S., ... & Paquier, A. (2023). Can the 2D shallow water equations model flow intrusion into buildings during urban floods? *Journal of Hydrology*, 619, 129231. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129231>
- Feng, D., Tan, Z., & He, Q. (2023). Physics-Informed Neural Networks of the Saint-Venant Equations for Downscaling a Large-Scale River Model. *Water Resources Research*, 59(2), e2022WR033168. <https://doi.org/10.1029/2022WR033168>
- Kordi, H., Amini, R., Zahiri, A., & Kordi, E. (2015). Improved Shiono and Knight method for overflow modeling. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 20(12), 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001239](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001239)
- Le, G. S., & Nguyen, H. T. T. (2023). Study on the Change of Riverbed of Hau River at Chau Phu District, a Giang Province by 1D2D3D Combined Numerical Model. In *The International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture*. Singapore: Springer Nature Singapore, 1928-1938. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-7434-4\\_208](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-7434-4_208)
- Liu, B.C., Ma, J., Luo, L., Bai, Y., Wang, S., & Zhang, J. (2010). Two-dimensional LDV measurement, modeling, and optimal design of rectangular primary settling tanks. *Journal of Environmental Engineering*, 136(5), 501-507. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000186](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000186)
- Mahjoob, A., Abbasnia, A., & Kilanehei, F. (2016). Applying Numerical Models to Simulate the Behavior of Rivers in the Vicinity of Road. *Road*, 24(89), 277-291. [https://road.bhrc.ac.ir/article\\_50954.html](https://road.bhrc.ac.ir/article_50954.html) [In Persian]
- Nassar, M. A. (2011). Multi-parametric sensitivity analysis of CCHE2D for channel flow simulations in Nile River. *Journal of hydro-environment research*, 5(3), 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2010.12.002>
- Niknam, A., Khosravi, G., Nohegar, A., & Holisaz, A. (2018). Simulation of the Kor River Morphological Changes Using the CCHE2D Model (Case Study: Meanders Upstream the Dorudzan Dam). *Watershed Management Research*, 31(4), 69-83. <https://doi.org/10.22092/wmej.2018.100548.1000> [In Persian].
- Salmasi, F., Ayaseh, A., Dalir, A. H., & Arvanaghi, H. (2020). Flow pattern study in Beshar River and its two straight and meander reaches using CCHE2D model. *Applied Water Science*, 10(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1107-5>
- Sammaraee, M.A., Chan, A., Salim, S.M., & Mahabaleswar, U.S. (2009). Large-eddy simulations of particle sedimentation in a longitudinal sedimentation basin of a water treatment plant. Part I: Particle settling performance. *Chemical Engineering Journal*, 152, 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.04.062>
- Shahidan, N. F., Hasan, Z. A., Abdullah, M. Z., & Ghani, A. A. (2012). Mathematical modelling of flow and sediment pattern at Ijok Intake, Ijok River, Perak, Malaysia. *International Journal of Modelling and Simulation*, 32(3), 165-170. <http://dx.doi.org/10.2316/Journal.205.2012.3.205-5595>
- Valizadeh, R., Arman, A., & Ghobadian, R. (2023). The effect of the pipe angle and protective inclined apron on the scouring and sedimentation pattern around a semi-buried pipe in a 90° mild bend. *Ocean Engineering*, 286, 115711. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115711>
- Wang, X., Yang, L., Sun, Y., Song, L., Zhang, M., & Cao, Y. (2008). Three-dimensional simulation on the water flow field and suspended solids concentration in the rectangular sedimentation tank. *Journal of Environmental Engineering*, 134(11), 902-911. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2008\)134:11\(902\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2008)134:11(902))

- Zahiri, J., & Ashnavar, M. (2019). Two-dimensional hydraulic modeling of Karun River. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 23(4), 331-344. <http://dx.doi.org/10.47176/jwss.23.4.36151> [In Persian].
- Zhang, Y. (2006). CCHE-GUI-Graphical users' interface for NCCHE model user's manual. Version 3.0 Technical Report No. NCCHE-TR-2006-02. *National Center for Computational Hydroscience and Engineering*, University of Mississippi, Oxford. <https://www.ncche.olemiss.edu/cche-model-graphic-user-interface/>
- Zhang, Y., & Tayfur, G. (2024). Sediment transport modelling in densely populated urban areas due to earthfill dam break. *Journal of Ecohydraulics*, 1-24. <https://doi.org/10.1080/24705357.2024.2363765>
- Zhang, Y., Al-Hamdan, M. Z., Bingner, R. L., Chao, X., Langendoen, E., O'Reilly, A. M., & Vieira, D. A. (2024). Application of 1D model for overland flow simulations on 2D complex domains. *Advances in Water Resources*, 188, 104711. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2024.104711>



## Integrated assessment of the water resources system using water accounting framework in water stressed areas: A case study of Karkhe sofa.

Alimohammad Akhondali<sup>1</sup> , Rahim Avarand<sup>2</sup> , Abdolrasol Shirvanian<sup>3</sup> , Amin Khoramian<sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: [aliakh@scu.ac.ir](mailto:aliakh@scu.ac.ir)

<sup>2</sup> *Corresponding Author*, Department of Hydrology and water resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: [avarandrahim@gmail.com](mailto:avarandrahim@gmail.com)

<sup>3</sup> Department of Economic, Social and Extension Research, Fars Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shiraz, Iran. E-mail: [rasoolshirvanian@yahoo.com](mailto:rasoolshirvanian@yahoo.com)

<sup>4</sup> Department of Technical and Engineering Faculty of Water and Environmental Sciences. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: [khoramian.a@gmail.com](mailto:khoramian.a@gmail.com)

### ABSTRACT

Water accounting systems provide essential data for managing decisions that aim to reduce poverty, enhance food security, safeguard public health, foster economic development, and protect ecosystem integrity. This study examines the Lower Karkheh area's water accounts for 1400 and 1401, both years marked by high water stress in the basin. With over 96% of water use attributed to agriculture, this sector significantly exacerbates water stress. In 1400, complete instability was noted, as demonstrated by comparing available and consumed water resources. Per capita renewable water availability increased from 1,302 cubic meters in 1400 to 1,812 cubic meters in 1401 due to better management downstream of the Karkheh Dam, with 169 million cubic meters more water released than in the previous year. Although the agricultural sector remains highly productive, the focus on short-term gains overlooks the strategic importance of sustainable water resources.

**Keywords:** Karkheh, SEEA, water accounting

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 20 July 2024 Revised: 28 September 2024 Accepted: 16 November 2024 Published: 21 December 2024

#### 1. Introduction

The Water Environmental Economic Accounting System (SEEAW) is a comprehensive framework for integrating economic and environmental data on water. This system clarifies the conceptual and economic aspects of water, demonstrating the critical relationship between water and the economy and highlighting water resources' role in environmental health. Aligned with the United Nations System of National Accounts (SNA), SEEAW provides a framework for global macroeconomic statistics. Established by the United Nations Statistical Commission (UNSC) in 2007 and revised in 2011, the SEEAW system aids in establishing standards for water-related statistical data worldwide, including methodologies and application guidance (UNESCO Division of Water Sciences, 2011).

#### 2. Methodology

The SEEA-W accounting framework categorizes water accounts into several types, including physical supply and use accounts, pollutant accounts, economic accounts, hybrid accounts, asset accounts, quality accounts, and water valuation (economic and social) (Edens et al, 2014). Two types of tables are used for compiling these accounts: standard tables, tested globally and widely accepted, and supplementary tables, still under review. Social and qualitative accounts are among those in the supplementary category. When assessing water resource systems, it is vital to select appropriate and accurate indicators. Indicators are tools that gauge the status of the studied system against desired goals. In water resource system evaluations, indicators are produced within specific frameworks, helping to provide a systematic understanding of resource status and usage. This refined text is now clearer, with improved flow and coherence, and is suitable for publication in an academic or professional journal. Let me know if you need further customization.



Figure 1. Flowchart of research steps

---

## 2.1. Introduction of the study area

The Karkheh River watershed is located between 46°23' to 49°12' E longitude and 33°40' to 35°00' N latitude. Approximately 17% of this watershed area lies within Khuzestan Province. Positioned in the western part of the country, the watershed extends across the central and western regions of the Zagros mountain range, covering about 50,764 square kilometers. This area consists of 27,645 square kilometers of mountainous terrain and 23,119 square kilometers of plains and foothills. Within the Karkheh basin in Khuzestan Province, the region spans over 1.2 million hectares. The Karkheh River's average discharge at Hamidieh station is approximately 132 cubic meters per second. Figure 2 illustrates the study area's location.

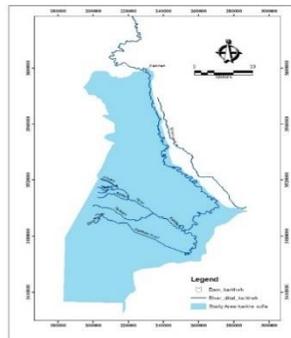


Figure 2. Map of the study area of Lower Karkheh

The Karkheh River can be divided into three sections based on its longitudinal slope. In the first section, extending approximately 100 kilometers downstream from the Karkheh Dam, the river has a steeper slope of about 0.08%, with numerous meanders. The second section spans another 100 kilometers to the Hamidieh regulatory dam, where the river slope decreases to about 0.013%. In the third section, from the Hamidieh dam to its endpoint in Sosangerd City, the river splits into two branches, Hofel and Nissan, with the slope dropping to around 0.002%. Numerous irrigation canals branch off from the river in this lower section, which continues into the Horul Azim Wetland as the elevation decreases.

## 3. Results and discussion

Implementing the extraction method for water security indicators alongside demographic and economic data poses significant challenges. Results from the relative water stress index and renewable water per capita indicate severe water stress in the study area for the year 1400 (2021/22), leading to instability and imbalance between water sources and uses. In 1401 (2022/23), however, water management efforts helped to stabilize the water balance, with a water stress index of 0.2 and consumption intensity nearing a borderline instability at 0.4.

However, water stress remains critical due to high water consumption in agriculture, where the economic efficiency of water use is lower. To address this, the economic sector's focus should shift away from agriculture to other industries. Presently, in the study area, water tariffs set by the government in 1401 are below cost recovery: agricultural water is priced at under 1,670 Rials per cubic meter, household and service water (post-treatment) under 2,650 Rials per cubic meter, and industrial water under 46,000 Rials per cubic meter. Such low rates discourage efforts to improve economic water efficiency. Annual growth in economic productivity of water was 0.6%, 0.65%, and 0.97% for agriculture, services, and industry, respectively. Effective water accounting could enhance reporting processes and serve as a valuable tool for evaluating water policy impacts.

### 3.1. Analysis of Water Security and Resource Management

The study of water security in the Lower Karkheh basin emphasizes the critical need for coordinated management between water supply and demand. In recent years, water stress in the area has escalated, particularly in 1400, when a combination of overuse and inefficient management practices led to acute water scarcity. This situation has highlighted the pressing need for sustainable practices that balance water availability with consumption needs across various sectors, especially agriculture, which accounts for over 96% of total water use. In 1401, strategic interventions, including regulated water releases downstream of the Karkheh Dam, resulted in notable improvements. Water availability per capita rose from 1,302 cubic meters in 1400 to 1,812 cubic meters in 1401, underscoring the positive impact of improved water management on regional stability. However, these short-term gains must be maintained through policies that prioritize long-term water sustainability, especially given the intense pressures from agricultural demand.

### 3.2. Economic Considerations in Water Management

Current water pricing structures in the Lower Karkheh region reflect significant underpricing, particularly within the agricultural sector. Set at a mere 1,670 Rials per cubic meter, agricultural water rates are insufficient to cover even basic supply costs, creating little incentive to optimize water usage or improve agricultural water productivity. In contrast, service sector water costs, after treatment, reach 2,650 Rials per cubic meter, while industrial water pricing is much higher, at around 46,000 Rials per cubic meter. This discrepancy highlights a potential policy gap, where subsidized rates for agriculture encourage overuse and inefficiency. To address these issues, the study recommends revising water tariffs to more accurately reflect the cost of supply, thereby fostering a shift toward higher economic productivity in water use. By adjusting prices, water-intensive industries, particularly agriculture, may be encouraged to adopt more efficient practices, potentially redirecting water resources toward sectors with higher economic returns.

### 3.3. Environmental Impact and Ecological Sustainability

Water stress and intensive agricultural activities in the Lower Karkheh basin also pose significant threats to local ecosystems. The Karkheh River and its surrounding wetlands, including the Horul Azim Wetland, are highly vulnerable to both water scarcity and pollution from agricultural

---

---

runoff. The wetland ecosystems are vital for biodiversity, providing habitats for various species and offering natural flood control benefits. Continued water shortages may lead to ecological degradation, adversely affecting both the local environment and communities' dependent on these resources. Therefore, a comprehensive approach that integrates environmental conservation with water resource management is essential. Restoration of natural habitats, combined with sustainable water practices, can help maintain ecological balance and preserve these critical ecosystems for future generations.

#### 3.4. Recommendations for Policy and Future Research

Given the complex interplay between water resources, economic demands, and environmental concerns, the following recommendations are proposed: **Enhanced Water Pricing Mechanisms:** Revise water tariffs to align closer with the true cost of supply, particularly within agriculture. This policy change could encourage water savings and improve productivity. **Increased Investment in Water-Efficient Technologies:** Support and incentivize the use of water-saving technologies in agriculture, such as drip irrigation systems, to reduce overall demand. **Strengthened Water Resource Governance:** Establish a multi-sectoral governance model to coordinate water allocation across agricultural, industrial, and domestic sectors, with clear guidelines for sustainable usage. **Environmental Conservation Initiatives:** Implement targeted conservation efforts to protect wetland ecosystems, ensuring that policies support both human and ecological needs. **Continued Research on Water-Economic-Ecological Links:** Conduct further studies on the interconnections between water resources, economic activities, and ecosystem health, focusing on sustainable development in water-scarce regions.

#### 4. Conclusion

This research underscores the urgent need for a holistic approach to water resource management in the Lower Karkheh basin. High agricultural water demand, coupled with insufficient economic incentives, continues to strain regional water security. By adopting integrated strategies that address water pricing, resource allocation, and environmental conservation, policymakers can help ensure a more sustainable and balanced future for the region. Water accounting frameworks like SEEA-W provide valuable insights into the relationships between water usage, economic productivity, and environmental impact. Implementing these frameworks enables more informed decisions, promoting not only economic growth but also environmental sustainability and social welfare. As such, water accounting should be further developed and applied in water-scarce areas to improve resource management and achieve sustainable development goals.

#### 5. References

- Edens, b., & Graveland, c. (2014). Experimental valuation of Dutch water resources according to SNA and SEEA. *Water Resources & Economic*, 7, 66-81. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2014.10.003>
- UNESCO. (2011). Division of water Sciences. Digital library, Unesco. 1-4. <https://www.unesco.org/archives/multimedia/producer/unesco,+division+of+water+sciences>

#### 6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

#### 7. Acknowledgments

The authors thank Khuzestan Water and Electricity Organization for providing statistics and information for this article

---

**Cite this article:** Akhondali, A.M., Avarand, R., Shirvanian, A.R., & Khoramian, A. (2024). Integrated assessment of the water resources system using water accounting framework in water stressed areas: A case study of Karkheh sofla., *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(4), 90-111. DOI: <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10899.1133>

**Publisher:** Razi University

© The Author(s)





## ارزیابی یکپارچه سیستم منابع آب بر اساس سیستم حسابداری اقتصادی - زیست محیطی آب (محدوده مطالعاتی کرخه سفلی)

علی محمد آخوندعلی<sup>۱</sup> ID، رحیم آورند<sup>۲</sup> ID، عبدالرسول شیروانیان<sup>۳</sup> ID، امین خرمیان<sup>۴</sup> ID

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی علوم آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: aliakh@scu.ac.ir

<sup>۲</sup> گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: avarandrahim1@gmail.com

<sup>۳</sup> بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

رایانامه: rasoolshirvanian@yahoo.com

<sup>۴</sup> دانشکده مهندسی علوم آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: khoramian.a@gmail.com

### چکیده

کمبود آب یکی از نگرانی‌های اصلی مدیران منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل تقاضای آب در بخش بزرگی از منابع آب تجدیدپذیر در بازه های زمانی و مکانی محسوب می‌گردد. سیستم حسابداری آب می‌تواند به عنوان داده‌های پایه‌ای مفید در تصمیمات مدیریتی جهت کاهش فقر، اطمینان از امنیت غذایی، سلامت جمعیت بشری، توسعه اقتصادی و نیز حفظ حیات اکوسیستمها مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق برای محدوده مطالعاتی کرخه سفلی با استفاده از چارچوب حساب‌های آب مربوط به منطقه متناظر با سالهای ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ که سالهای دارای تنش آبی در حوضه مورد مطالعه بوده پرداخته شده است. با استخراج نشانگرهای ابعاد مختلف منابع آب، اقتصادی و اجتماعی، به ارزیابی یکپارچه امنیت آبی محدوده مطالعاتی پرداخته شده است. با توجه به نشانگرهای بعد منابع آب بخش کشاورزی با بیش از ۹۶ درصد مصرف آب بیشترین تأثیر را در تشدید تنش آبی محدوده دارد. با توجه به نشانگر شدت مصرف آب در سالهای ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ و مقایسه میزان منابع آب موجود و مصرف شده، ناپایداری کامل در محدوده وجود دارد. سهم سرانه منابع آب تجدیدپذیر این محدوده از ۱۳۰۲ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۱۴۰۰ به ۱۸۱۲ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۱۴۰۱ افزایش یافته است این در حالی است که مجموع خروجی سد کرخه و اسپیل کرخه در سال ۱۴۰۰ به میزان ۱۶۹ میلیون مترمکعب بیشتر از سال ۱۴۰۰ بوده است که دلیل آن مدیریت مصرف بهینه در پایین دست سد کرخه است. تغییرات حاشیه‌ای بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی نشان می‌دهد نیروی محرکه قوی اقتصادی در بخش کشاورزی در محدوده مطالعاتی کرخه سفلی باعث شده در این محدوده توجه زیادی به منافع کوتاه مدت در بخش کشاورزی نسبت به منافع استراتژیک منابع آب معطوف گردد. علیرغم کاهش روند مصرف آب در بخش خدمات وثابت بودن مصرف آب در صنعت، افزایش درآمد بخش خدمات و صنعت منجر به افزایش بهره وری اقتصادی آب در این بخشها می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** حسابداری اقتصادی اجتماعی آب، سیستم یکپارچه منابع آب، کرخه سفلی

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**سابقه مقاله:** دریافت: ۳۰ تیر ۱۴۰۳ اصلاح: ۰۷ مهر ۱۴۰۳ پذیرش: ۲۶ آبان ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ دی ۱۴۰۳

**استناد:** آخوندعلی، م. ع.، آورند، ر.، شیروانیان، ع. ر.، و خرمیان، ا. (۱۴۰۳). ارزیابی یکپارچه سیستم منابع آب بر اساس سیستم حسابداری اقتصادی - زیست محیطی آب

(محدوده مطالعاتی کرخه سفلی)، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، (۴)، ۱۱-۱۱۳.۹۰-۱۱۳.۹۰. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10899.1133.90-111>



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه رازی

### مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل جهانی در قرن بیست و یکم کمبود آب با کیفیت مناسب جهت پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی ملتهاست. افزایش رقابت برای استفاده از آب شیرین در کشاورزی، بخش‌های شهری و صنعتی به دلیل رشد جمعیت، منجر به فشار بی‌سابقه‌ای بر منابع آب در بسیاری از کشورها شده است. علاوه بر این کیفیت بد آب در کشورها دسترسی به منابع آب شیرین را بیشتر محدود نموده است (هونکسترا<sup>۱</sup>، ۲۰۱۹، و مالوین و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۱)

ارزیابی منابع و مصارف آب یکی از مهم‌ترین اقداماتی است که برای افزایش آگاهی و شناخت درباره شرایط منابع آب کشور می‌توان انجام داد. نتایج این‌گونه بررسی‌ها ضمن تأمین اطلاعات و گسترش میزان و درجه آگاهی از شرایط متحول آب کشور، زمینه را برای اخذ تصمیمات معقول مدیریتی مهیا می‌سازد (سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۴۰۰). در این راستا بحث تهیه بیان منابع آب برای ارزیابی منابع و مصارف را می‌توان به‌گونه‌ای شمایی از حسابداری آب دانست. سیستم حسابداری اقتصادی - زیست‌محیطی آب مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها را برای ایجاد سیستم اطلاعاتی به شکلی یکپارچه جهت مطالعه تأثیرات مصرف و توسعه منابع آب ارائه می‌دهد. این سیستم چارچوبی مفهومی را بر اساس چشم‌اندازی جامع و یا سیستماتیک از مدیریت منابع آب پیشنهاد می‌نماید (یونسکو<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱).

سیستم حسابداری اقتصادی زیست‌محیطی آب (SEEA<sup>۴</sup>) چارچوبی کلی برای سازمان‌دهی داده‌های اقتصادی و محیطی مربوط به آب، محسوب می‌شود. این سیستم، مفاهیم ادراکی و اقتصادی مربوط به آب را تعریف می‌کند. این اطلاعات رابطه بین آب و اقتصاد و اهمیت منابع آب در محیط را نشان می‌دهد. سیستم مذکور، رابطه مستقیمی با داده‌های مربوط به آب در نظام حساب‌های ملی SNA برقرار می‌کند و چارچوبی را برای آمار اقتصاد کلان در سراسر جهان معرفی می‌نماید (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۸).

### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

سیستم حسابداری اقتصادی زیست‌محیطی آب در سال ۲۰۰۷ توسط UNSC تهیه شد که در حال حاضر نسخه بازبینی شده مربوط به سال ۲۰۱۱ آن در دسترس می‌باشد. انجمن UNSC بزرگترین هیأت تصمیم‌گیری برای فعالیت‌های آماری بین‌المللی به خصوص برای تنظیم استانداردهای آماری، توسعه مفاهیم و روشها و پیاده‌سازی آنها در سطوح ملی و بین‌المللی می‌باشد (یونسکو، ۲۰۱۱). بخشی از پیاده‌سازی چارچوب حسابداری آب، IRWS<sup>۵</sup> به‌صورت مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های مورد توافق، برای تدوین اطلاعات قابل مقایسه بین‌المللی مرتبط با آب توسعه یافته است. دستورالعمل‌ها لیست توافق شده‌ای از موارد مرتبط با آب برای پشتیبانی از جمع‌آوری، تدوین و انتشار آمارهای آب و همچنین یکپارچه‌سازی آنها درون حساب‌های آب ارائه می‌نمایند (یونسکو، ۲۰۱۱).

بخش آماری ملل متحد با همکاری گروه لندن، سیستم حسابداری اقتصادی - زیست‌محیطی را برای آب توسعه دادند. این سیستم به‌عنوان یک چارچوب مفهومی برای سازماندهی اطلاعات فیزیکی و اقتصادی مرتبط با مصرف آب با استفاده از تعاریف، مفاهیم و طبقه‌بندی‌های سازگار با سیستم حساب‌های ملی توصیف می‌شود (دانگ و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۴).

این سیستم آماده‌سازی و تهیه اطلاعات را در بسیاری از سطوح از محلی و بومی تا حوضه رودخانه و سطوح ملی و یا چند ملتی را آسان می‌کند. حساب‌های SEEA-Water برای ارائه داده به منظورهای سیاست‌گذاری، مدیریت منابع آب، گزارش‌دهی برای سازمان‌های بین‌المللی، تحقیق و مدل‌سازی استفاده می‌شود (باقری و بابائیان<sup>۷</sup>، ۲۰۲۰، و بلازکوئز و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۲۳). این حساب‌ها در اصل در سطح کلان در روش‌های مختلف مثلاً ورودی برای توسعه سیاست‌های ملی آب، قیمت‌گذاری آب، تخصیص، بهبود راندمان مصرف آب، حسابرسی و طراحی پروژه‌های آبی، پیش‌بینی تقاضای آب برای آینده، تحلیل‌های داده - ستانده، پیش‌بینی مفاهیم مربوط به بهسازی‌های مربوط به آب برای اقتصاد ملی، پیش‌بینی سیلاب و مدل‌سازی سناریوهای تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرند (یونسکو، ۲۰۱۱).

با استفاده از اصول حسابداری آب ارزش‌گذاری منابع آب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستمی مرتبط با آب می‌تواند به‌عنوان بخشی از توسعه حساب‌های جامع اکوسیستمی انجام شود (ادنز و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۴، کریمی و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۳، کریمی و همکاران،

<sup>1</sup> Hoekstra

<sup>2</sup> Malvin et al

<sup>3</sup> UNESCO, Division of water Sciences

<sup>4</sup> System of Environmental-Economic Accounting for Water

<sup>5</sup> International Recommendations for Water Statistics

<sup>6</sup> Dang et al

<sup>7</sup> Bagheri & Babaeian

<sup>8</sup> Blazquez et al

<sup>9</sup> Edens et al

<sup>10</sup> Karimi et al

۲۰۱۳، و کریموو و همکاران<sup>۱</sup>، (۲۰۱۲) هدف اصلی رویکرد حسابداری آب، استخراج داده‌های مهم از منابع آب و اقتصاد، دسته‌بندی آنها در قالب تعدادی حساب، در کنار هم قراردادن حساب‌ها و ایجاد بستری مناسب جهت استخراج نشانگرهای تحلیلی است (کاترین و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۱، چالمرز و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲، و فردوس<sup>۴</sup>، ۲۰۲۰). نشانگرهای استخراج شده از چارچوب حسابداری آب به‌خصوص نشانگر کارایی آب به‌عنوان ابزار مهمی در تحلیل و ارزیابی سیستم‌های منابع آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### روش پژوهش

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کرخه در محدوده مختصات جغرافیائی ۲۳' - ۴۶° تا ۱۲' - ۴۹° طول شرقی و ۴۰' - ۳۳° تا ۰۰' - ۳۵° عرض شمالی واقع شده است. ۱۷ درصد از وسعت این حوزه آبریز در استان خوزستان قرار دارد. این حوزه در غرب کشور در مناطق میانی و غربی رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. مساحت حوضه در حدود ۵۰۷۶۴ کیلومترمربع است که حدود ۲۷۶۴۵ کیلومترمربع آن را مناطق کوهستانی و ۲۳۱۱۹ کیلومترمربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند.

زیر حوضه کرخه سفلی به مساحت ۱۲۰۱۰۰۰ هکتار کلاً در استان خوزستان واقع شده است. متوسط آبدهی دراز مدت رود کرخه در ایستگاه حمیدیه ۱۳۲ مترمکعب در ثانیه است. سهم استانهای ذینفع از مساحت حوضه آبریز کرخه در جدول (۱) بر اساس اطلاعات اخذ شده از معاونت مطالعات جامع منابع آب سازمان آب و برق خوزستان آورده شده است. موقعیت منطقه مطالعاتی در شکل (۲) نشان داده شده است. رودخانه کرخه از نظر شیب طولی به سه بازه تقسیم می‌شود در بازه اول که از پایین دست سد کرخه شروع و حدود ۱۰۰ کیلومتر طول دارد، شیب طولی رودخانه تندتر و حدود ۰/۰۸ درصد است. در این بازه رودخانه حالت شریانی داشته و دارای مئاندرهای فراوان است در بازه دوم که شامل ۱۰۰ کیلومتر تا سد تنظیمی انحرافی حمیدیه (۲۰۰ کیلومتر شیب رودخانه ملایم و حدود ۰/۱۳ درصد است. در بازه سوم شامل پایین دست سد حمیدیه تا انتهای آن در شهر سوسونگرد محل تقسیم شدن رودخانه کرخه به دو شاخه هوفل و نیسان (شیب رودخانه باز کاهش یافته و در حدود ۰/۰۲ درصد است) تقسیم می‌گردد. رودخانه کرخه در شهر سوسونگرد به دو شاخه هوفل و نیسان تقسیم می‌شود. در شکل (۳) بازه‌های رودخانه کرخه تا هورالعظیم نشان داده شده است.

جدول ۱. وضعیت منابع آب سطحی و زیر زمینی بر اساس آماربرداری سال ۱۴۰۰ (میلیون مترمکعب)

منابع آب	سطحی	زیر زمینی
سد کرخه	۱۹۳۳	۰
اسپیل کرخه	۵۳۱	۰
زیر زمینی	۰	۷۷.۵

<sup>1</sup> Karimov et al

<sup>2</sup> Catherine et al

<sup>3</sup> Chalmers et al

<sup>4</sup> Firdaus



### مصارف نرمال ماهانه منطقه مطالعاتی

سهم مصرف آب بخش‌های مختلف در حوضه مطالعاتی بر اساس سال ۱۴۰۰ در جدول (۲) بر اساس اطلاعات اخذ شده از معاونت حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب سازمان آب و برق خوزستان نشان داده شده است.

جدول ۲. سهم مصرف آب بخشهای مختلف (میلیون مترمکعب)

نوع مصرف	آب سطحی	آب زیر زمینی
کشاورزی	۱۶۱۴/۸	۱۰۸
شرب	۲۵۴/۹	۱۴.۶
پرورش ماهی	۴۴/۶	۰

بخش کشاورزی با مصرف ۹۴ درصد از منابع آب سطحی و ۶ درصد آب زیر زمینی بیشترین سهم مصرف منابع آبی منطقه مطالعاتی را داراست. در جدول (۳) بر اساس آمار اخذ شده از جهاد کشاورزی استان خوزستان محصولات زراعی آمده است.

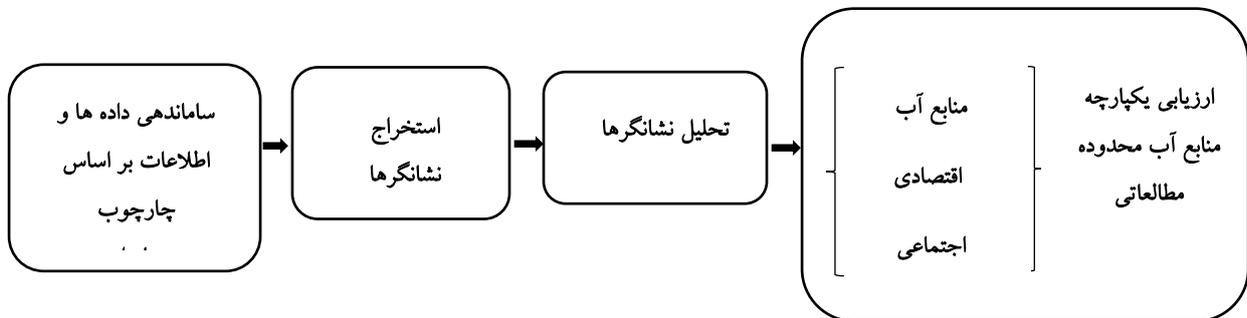
جدول ۳. مشخصات سطح کشت در منطقه (هکتار)

جمع کل	کشت‌های دائمی				جمع محصولات فصلی	محصولات فصلی زراعی پاییزه									
	جمع کشت‌های دائمی	بیشکر	باغات	یونجه دائمی		باقلا	پنبه	سایر سبزی و صیفی	پياز	سببازمنی	گرچانه‌زنگی	کلزا	چغندرقد	سویا	گندم
۶۱۳	۳۳	۰	۲۷	۶	۵۸	۳	۱	۱۱	۲	۰	۵	۹۱	۰	۷	۴۶۰

حساب‌های چارچوب حسابداری SEEA-W شامل حساب‌های عرضه و مصرف فیزیکی، حساب آلاینده‌ها، حساب‌های اقتصادی و هیبریدی، حساب دارایی‌ها، حساب‌های کیفیت، و نهایتاً موضوع ارزش‌گذاری آب (اعم از اقتصادی و اجتماعی) هستند. به‌منظور تکمیل این حساب‌ها دو نوع جدول، جداول استاندارد و جداول تکمیلی هستند. جداول استاندارد در مطالعات موردی در کشورهای مختلف مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و در مورد شکل ارائه آنها اجماع عمومی حاصل شده است. جداول تکمیلی هنوز در سطح استاندارد مورد اجماع جهانی قرار نگرفته و مطالعات موردی برای آنها هنوز ادامه دارد. از جداول این دسته می‌توان به حساب‌های کیفی و اجتماعی اشاره کرد.

ساختار پیمان‌های حساب‌های آب که در چارچوب حساب‌های زیست‌محیطی - اقتصادی سازمان ملل بکار رفته است، این امکان را فراهم می‌آورد تا با هر میزان فراوانی داده‌ها حساب‌های آب را تشکیل داد و به‌مرور با توسعه سیستم تولید و جمع‌آوری داده‌ها به تکمیل حساب‌ها پرداخت. عملیاتی نمودن و کارا تر کردن نحوه استخراج شاخص‌های امنیت آبی در تلفیق با داده‌های جمعیت و اقتصاد با توجه به پتانسیل‌های اطلاعاتی یک چالش است. به‌منظور پیاده‌سازی این چارچوب، محدوده مطالعاتی کرخه سفلی به‌عنوان مطالعه موردی در این تحقیق در نظر گرفته شده است. جداول حسابداری آب این محدوده برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ تنظیم شدند و تغییرات امنیت آبی منطقه بر اساس آنها مورد ارزیابی قرار گرفت.

در ارزیابی موضوعات سیستم منابع آب، لازم است نشانگرهای مناسب و دقیقی برای این ارزیابی شناسایی و انتخاب شوند. نشانگرها ابزاری هستند که موقعیت سیستم مورد مطالعه را در مقایسه با اهداف یا سطوح مطلوب آن مورد سنجش قرار می‌دهند. در ارزیابی سیستم‌های منابع آب به‌وسیله چارچوب‌ها، نشانگرها در انواع مختلفی تولید می‌شوند. در این تحقیق نشانگرهای تعیین وضعیت منابع آب محدوده مورد مطالعه بر مبنای مفهوم امنیت آبی SEEA-W اساس چارچوب حسابداری در سه بعد منابع آب، بعد اقتصادی و بعد اجتماعی بر اساس فلوجارت شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳. فلوجارت مراحل انجام تحقیق

## جمع‌آوری و محاسبه اطلاعات و داده‌های جداول حسابداری آب

### نیاز آبی - تبخیر و تعرق

جهت برآورد نیاز آبی منطقه مورد مطالعه از اطلاعات مربوط به تاریخ کاشت و برداشت، طول دوره رشد محصولات زراعی و باغی، ضرایب گیاهی بر اساس مطالعات صحرائی انجام شده در دشت و داده‌های هواشناسی روزانه بلندمدت ایستگاه سینوپتیک شوش، استفاده شده است (گزارش نیاز آبی حوزه کرخه حوضه کرخه، مشاور مهتاب قدس). برای محاسبه نیاز ناخالص آبیاری از راندمان آبیاری متوسط منطقه استفاده شده است. با استفاده از رابطه تورنت - وایت رابطه (۱) مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه محاسبه و با مقدار بارندگی ماهانه مقایسه و نهایتاً مقدار تبخیر و تعرق واقعی تعیین می‌گردد.

(۱)

$$I_m = \left( \frac{T_m}{5} \right)^{1.514}$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} i_m$$

$$a = (675 \times (10)^{-9} \times I^3) - (771 \times (10)^{-7} \times I^2) + (179 \times (10)^{-4} \times I) + 0.492$$

$$ET = 16Nm \left( \frac{10T_m}{I} \right)^a$$

Tm- متوسط دمای هوا بر حسب سلسیوس

Ti- دمای هوا در ماه مورد نظر بر حسب سلسیوس

I- نمایه حرارتی سالانه

### نفوذ از بارندگی

مقدار نفوذ ناشی از بارش از رابطه (۲) محاسبه می‌شود

$$F = 0.8(P - C \times \log E)^{0.5}$$

(۲)

F: نفوذ (میلیمتر)

E: تبخیر و تعرق پتانسیل (میلیمتر)

P بارندگی (میلیمتر)

C: درجه حرارت ماهانه (درجه سلسیوس)

### آب سطحی ورودی از خارج حوضه و خروجی به خارج حوضه

آب سطحی ورودی از خارج حوضه توسط کانالی به طول حدود ۶ کیلومتر از کانال غرب شبکه آبیاری و زهکشی دز به کانال W2 به طول ۵ کیلومتر و از آن به کانال موسوم به اسپیل کرخه به طول ۱۰۲ کیلومتر منتقل می‌گردد که این میزان ورودی به صورت روزانه از آمار سازمان آب و برق خوزستان به دست آمده است. آب خروجی به هورالعظیم از طریق ایستگاه‌های منتهی به هور شامل هوفل، نیسان و وصیله اندازه گیری شده است.

### آب برداشتی

آب برداشت شده توسط بخش‌های خدمات و صنعت از آمار معاونت حفاظت از منابع آب سازمان آب و برق خوزستان به دست آمده است. لازم به توضیح است در خصوص برداشت از رودخانه توسط انهار سنتی جهت کشاورزی اگرچه در برخی سال‌ها آمار برداری توسط سازمان آب و برق خوزستان صورت گرفته ولی این آمار قابل اعتماد نمی‌باشد. در این تحقیق این آمارها از طریق داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری صحت سنجی و اصلاح شده‌اند. در خصوص برداشت از آب زیرزمینی توسط چاه و چشمه و قنات برای کشاورزی، آمار سال‌های ۱۴۰۰ از بخش آب‌های زیر زمینی معاونت مطالعات جامع منابع آب سازمان آب و برق خوزستان اخذ شده است. سهم آب‌های زیر زمینی یک درصد حجم کل مصارف سالانه حوضه مورد مطالعه را شامل می‌گردد.

### آب برگشتی

مقدار آب برگشتی مصارف بخش‌های مختلف و آب مبادله شده بین آبخوان و رودخانه از گزارش‌های مطالعاتی مهندسی مشاور در محدوده مورد مطالعه اقتباس شده است.

### درآمد

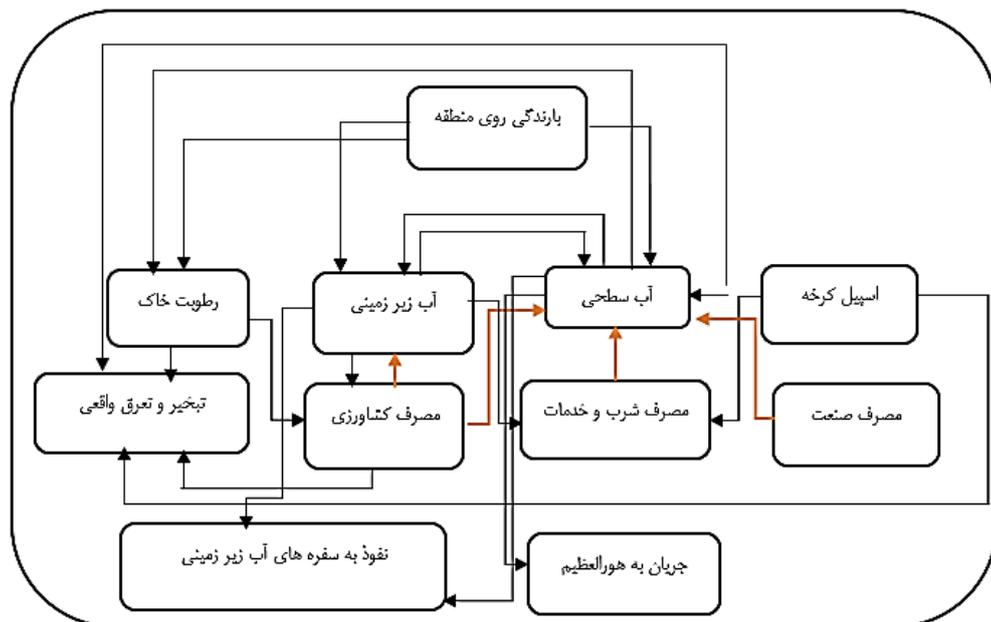
در تعیین درآمد خالص از مقدار درآمد ناخالص در بخش کشاورزی از نتایج تحقیقات جهاد کشاورزی تحت عنوان "هزینه تولید محصولات کشاورزی" استفاده شد و برای سایر بخش‌های اقتصادی از ارقام کلی ارائه شده در طرح مطالعات جامع استفاده شد و از آنجایی که این ارقام ممکن است دقت کافی نداشته باشند در تولید نشانگرهای بهره‌وری نیروی کار و بهره‌وری اقتصادی آب از درآمد ناخالص استفاده شده است.

### جمعیت و سطح کشت

داده‌های مربوط به جمعیت و کشاورزی که توسط مرکز آمار ایران تهیه می‌شود در مقیاس سیاسی است این داده‌ها با استفاده از GIS به محدوده مطالعاتی مورد تحقیق از حوضه آبریز تفکیک شدند.

برای برآورد دقیق جریان مبادله شده بین سه بخش منابع آب (آب سطحی، زیرزمینی و رطوبت خاک) مطالعات دقیق‌تری در آینده ضرورت دارد. برای تخمین رطوبت خاک استفاده از داده‌های سنجنش ماهواره‌ای مبتنی بر GIS پیشنهاد می‌گردد (سینگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۲). شکل (۳) اجزای بیلان منابع آب را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> Singh et al



شکل ۳. اجزای بیلان منابع آب منطقه مطالعاتی

#### یافته‌ها

#### تهیه جداول استاندارد حسابداری اقتصادی - اجتماعی آب

از داده‌های سال آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ که سالهای دارای تنش آبی حوضه مورد مطالعه محسوب می‌شوند اقدام به تهیه حساب‌های عرضه و مصرف فیزیکی و هیبریدی و همچنین جدول دارایی‌ها مطابق با چارچوب حسابداری زیست‌محیطی و اقتصادی آب گردید.

جداول مصرف و عرضه فیزیکی بیانگر جریان‌های آبی بین محیط‌زیست و بخش اقتصادی و جداول عرضه و مصرف هیبریدی نشان‌دهنده درآمد ناخالص و هزینه کاربری‌های مختلف است. جدول دارایی‌ها، توصیف‌کننده ذخایر آبی در ابتدا و انتهای دوره حسابداری و تغییرات ذخایر در طول دوره است. نهایتاً جداول حساب اجتماعی نشان‌دهنده هزینه‌ها و منافع اجتماعی آب است.

طبقه‌بندی فعالیت‌های اقتصادی در واقع همان طبقه‌بندی استفاده شده در سیستم حسابداری ملی با نام استاندارد بین‌المللی طبقه‌بندی صنعتی و فعالیت‌های اقتصادی<sup>۱</sup> ISIC است که در آن، ISIC36 مربوط به فعالیت جمع‌آوری، تصفیه و عرضه آب و ISIC37 مربوط به شبکه جمع‌آوری فاضلاب است. در این مقاله کاربری‌ها در قالب سه فعالیت کشاورزی، صنعت و خدمات دسته‌بندی شده‌اند. نشانگرهای پیشنهادی در این تحقیق مطابق جدول (۴) هستند که در ادامه با سایر نشانگرها به معرفی آنها پرداخته خواهد شد. به منظور تولید نشانگرهای اجتماعی پیشنهادی حسابداری SEEA-W و طراحی جداول حساب اجتماعی از نشانگرهای پیشنهادی بابائیان و همکاران (۱۳۹۵) جدول (۵) با سایر نشانگرها ارائه شده است.

<sup>۱</sup> International Standard Industrial Classification

## جدول ۴. نشانگرهای پیشنهادی

نشانگرها	جداول حسابداری مرتبط
کارایی اقتصادی آب در منطقه	جدول مصرف فیزیکی و عرضه هیبریدی
کارایی اقتصادی آب در کشاورزی	جدول مصرف فیزیکی و عرضه هیبریدی
کارایی اقتصادی آب در صنعت	جدول مصرف فیزیکی و عرضه هیبریدی
کارایی اقتصادی آب در شهر و خدمات	جدول مصرف فیزیکی و عرضه هیبریدی
حجم پساب تصفیه شده به کل پساب تولیدی	جدول عرضه فیزیکی
سهم مصرف در بخش کشاورزی به کل مصارف (درصد)	جدول عرضه فیزیکی
سهم مصرف در بخش صنعت به کل مصارف (درصد)	جدول عرضه فیزیکی
سهم مصرف در بخش شهر و خدمات به کل مصارف (درصد)	جدول عرضه فیزیکی
حجم منابع آب تجدیدپذیر داخلی (میلیون مترمکعب)	جدول دارایی‌ها
حجم منابع آب تجدیدپذیر خارجی (میلیون مترمکعب)	جدول دارایی‌ها
جریان انتقالی به خارج حوضه (میلیون مترمکعب)	جدول دارایی‌ها
مجموع منابع آب تجدیدپذیر طبیعی (میلیون مترمکعب)	جدول دارایی‌ها
وابستگی به منابع آب برون مرزی (درصد)	جداول مصرف فیزیکی و دارایی‌ها
سرانه آب تجدیدپذیر (میلیون مترمکعب بر نفر)	جدول مصرف فیزیکی
وابستگی به آب زیرزمینی درصد	جدول مصرف فیزیکی
شدت مصرف	جداول مصرف فیزیکی و دارایی‌ها
تنش آبی نسبی (RWSI)	جداول مصرف فیزیکی و دارایی‌ها
اهمیت نسبی کشاورزی در اقتصاد	جدول عرضه هیبریدی
بهره‌وری اشتغال در بخش کشاورزی (نفر بر میلیون مترمکعب)	-
بهره‌وری اشتغال در بخش صنعت (نفر بر میلیون مترمکعب)	-
بهره‌وری اشتغال در بخش خدمات (نفر بر میلیون مترمکعب)	-
بهره‌وری اشتغال در محدوده (نفر بر میلیون مترمکعب)	-

جدول ۵. نشانگرهای منابع آب، اقتصادی و اجتماعی آب در محدوده مطالعاتی در سالهای ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

نشانگرها	فرمول	سال ۱۴۰۰	سال ۱۴۰۱	معیار به کاررفته	مقدار آستانه	ابعاد
حجم منابع آب تجدیدپذیر داخلی (میلیون مترمکعب)	بارندگی منهای تبخیر	۱۴۳۴	۲۵۸۴	_____	_____	
حجم منابع آب تجدیدپذیر خارجی (میلیون مترمکعب)	حجم آب سالانه اسپیل کرخه	۵۳۱	۹۷۱	_____	_____	
جریان انتقالی به خارج حوضه (میلیون مترمکعب)	ورودی به هورالعظیم	۶۰۰	۷۷۷	_____	_____	
مجموع منابع آب تجدیدپذیر طبیعی (میلیون مترمکعب)	مجموع آب تجدیدپذیر منهای ورودی به هورالعظیم	۱۳۶۵	۲۷۷۸	_____	_____	
وابستگی به منابع آب برون مرزی (درصد)	نسبت تجدید پذیر خارجی به تجدیدپذیر طبیعی	۰/۴	۰/۳	جهانی	بزرگ تر از ۰/۵ وابستگی بالا (UNSD2012)	۳ ۲ ۱
وابستگی به منابع آب زیر زمینی (درصد)	نسبت برداشت آب زیر زمینی به کل آب برداشت شده*	۰/۰۱	۰/۰۱	جهانی	بزرگ تر از ۰/۵ وابستگی بالا (UNSD2012)	
شدت مصرف آب	کل مصرف به تجدیدپذیر داخلی	۰/۶	۰/۴	جهانی	بزرگ تر از ۰/۴ ناپایداری کامل بیلان در منطقه به دلیل عدم هماهنگی بین میزان منابع آب موجود و برداشت شده	
تنش آبی نسبی (RWSI)	کل مصرف به تجدیدپذیر طبیعی	۰/۶	۰/۲	جهانی	بزرگ تر از ۰/۴ تنش آبی شدید	

ادامه جدول ۵. نشانگرهای منابع آب، اقتصادی و اجتماعی آب در محدوده مطالعاتی در سالهای ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

نشانگرها	فرمول	سال ۱۴۰۰	سال ۱۴۰۱	معیار به کاررفته	مقدار آستانه	ابعاد
سهم مصرف در کشاورزی به کل مصارف (درصد)	نسبت مصرف آب کشاورزی به کل مصارف	۹۶	۹۷	کشوری*	۹۶.۵	اقتصادی
سهم مصرف در صنعت و معدن به کل مصارف (درصد)	نسبت مصرف آب صنعت به کل مصارف	۰/۰	۰/۰	کشوری*	۰	
سهم مصرف در شهر و خدمات به کل مصارف (درصد)	نسبت مصرف آب خدمات به کل مصارف	۰/۰۴	۰/۰۳	کشوری*	۰/۰۴	
کارایی اقتصادی آب در منطقه (ریال بر مترمکعب)	درآمد ناخالص بر کل مصرف آب	۲۵۴۲۷	۷۴۲۷۹	کشوری*	۴۹۸۵۳	
کارایی اقتصادی آب در کشاورزی (ریال بر مترمکعب)	درآمد ناخالص کشاورزی بر مصرف آب کشاورزی	۱۴۲۰۳	۷۶۶۱۱	کشوری*	۴۵۴۰۷	
کارایی اقتصادی آب در صنعت (ریال بر مترمکعب)	درآمد ناخالص صنعت بر مصرف آب صنعت	۰/۰	۰/۰	کشوری*	۰	
کارایی اقتصادی آب در شهر و خدمات (ریال بر مترمکعب)	درآمد ناخالص خدمات بر مصرف آب خدمات	۶۸۱	۱۳۴۰	کشوری*	۱۰۲	
اهمیت نسبی کشاورزی در رسیدن به تعادل آبی	مصرف کشاورزی به منابع تجدیدپذیر طبیعی	۱/۷	۰/۶	کشوری*	۱/۲	
اهمیت نسبی کشاورزی در اقتصاد	درآمد ناخالص کشاورزی بر کل درآمد ناخالص	۱/۰	۱/۰	—	—	

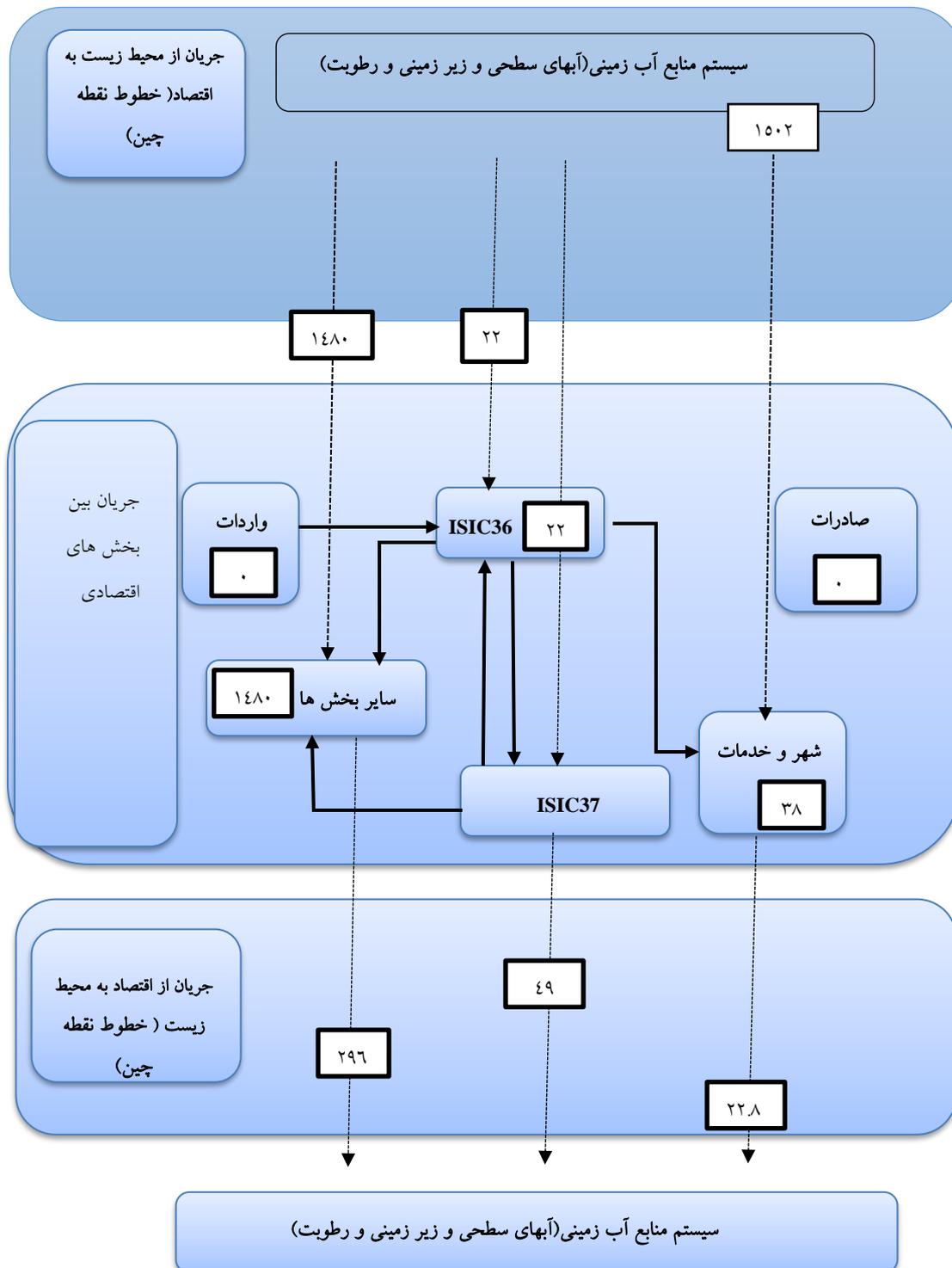
ادامه جدول ۵. نشانگرهای منابع آب، اقتصادی و اجتماعی آب در محدوده مطالعاتی در سالهای ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

نشانگرها	فرمول	سال ۱۴۰۰	سال ۱۴۰۱	معیار به کاررفته	مقدار آستانه	ابعاد
سرانه آب تجدیدپذیر (مترمکعب به ازای هر نفر)	جمعیت منطقه بر حجم آب تجدیدپذیر	۱۳۰۲	۱۸۱۲	جهانی	۱۷۰۰	
اشتغال در بخش کشاورزی (درصد)	شاغل کشاورزی شهری و روستایی به کل شاغلین شهری و روستایی	۹۶/۷	۹۶/۷	کشوری*	۹۶/۷	
اشتغال در بخش صنعت (درصد)	درآمد ناخالص کشاورزی بر مصرف آب کشاورزی	.	.	کشوری*	.	
اشتغال در بخش خدمات (درصد)	شاغل خدمات شهری و روستایی به کل شاغلین شهری و روستایی	۳/۳	۳/۳	کشوری*	۳/۳	
بهره وری اشتغال در بخش کشاورزی (نفر بر میلیون مترمکعب)	شاغل کشاورزی شهری و روستایی به مصرف کشاورزی	۱۲۰	۲۱۱	کشوری*	۱۶۵/۵	
بهره وری اشتغال در بخش صنعت (نفر بر میلیون مترمکعب)	شاغل صنعت شهری و روستایی به مصرف صنعت شهری و روستایی	.	.	کشوری*	.	
بهره وری اشتغال در بخش خدمات (نفر بر میلیون مترمکعب)	شاغل خدمات شهری و روستایی به مصرف خدمات شهری و روستایی	۱۸۹۷	۳۷۳۴	کشوری*	۲۸۱۵/۷	
بهره وری اشتغال در محدوده (نفر بر میلیون مترمکعب)	کل شاغلین شهری و روستایی به کل آب مصرفی	۲۰۰	۳۵۷	کشوری*	۲۷۸/۵	
بهره وری نیروی کار در بخش کشاورزی (میلیون ریال بر نفر)	درآمد ناخالص کشاورزی به شاغل کشاورزی شهری و روستایی	۲۲۲	۳۶۳	کشوری*	۲۹۲	
بهره وری نیروی کار در بخش صنعت (میلیون ریال بر نفر)	درآمد ناخالص صنعت به "شاغل صنعت شهری و روستایی"	.	.	کشوری*	.	
بهره وری نیروی کار در بخش خدمات (میلیون ریال بر نفر)	درآمد ناخالص خدمات به شاغل خدمات شهری و روستایی	۰/۵	۰/۴	کشوری*	۰/۴	
بهره وری نیروی کار در محدوده (میلیون ریال بر نفر)	درآمد ناخالص به کل شاغلین شهری و روستایی	۴۶۹	۷۶۷	کشوری*	۶۱۸	
سرانه درآمد (میلیون ریال بر نفر)	درآمد محدوده مطالعاتی بر جمعیت محدوده مطالعاتی	۴۰/۷	۶۶/۵	کشوری*	۵۴	

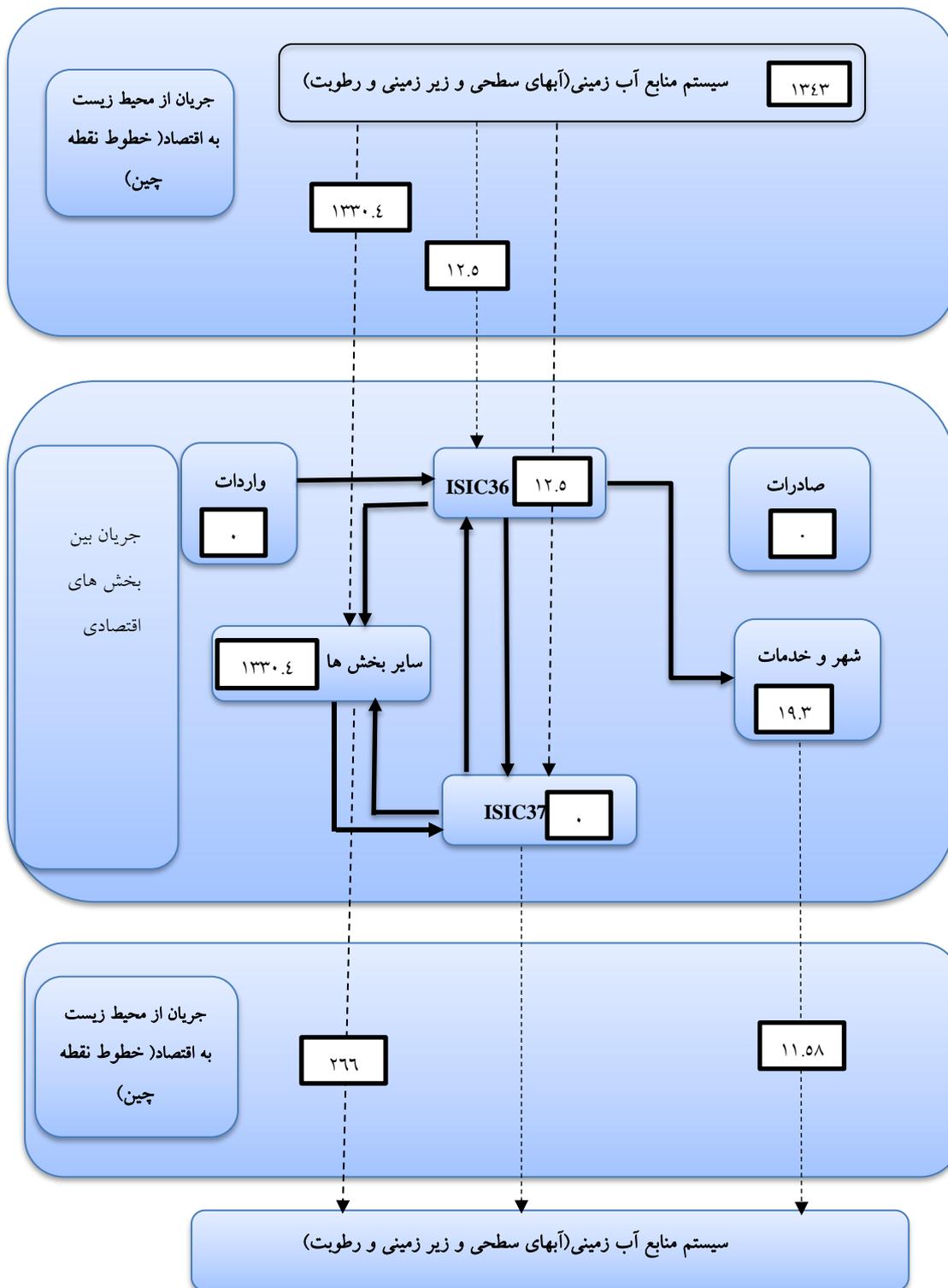
ابعاد

\*مقادیر نرم کشوری هر نشانگر به صورت متوسط نشانگر موردنظر در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در نظر گرفته شده است (اطلاعات معاونت مطالعات جامع منابع آب سازمان آب و برق خوزستان).

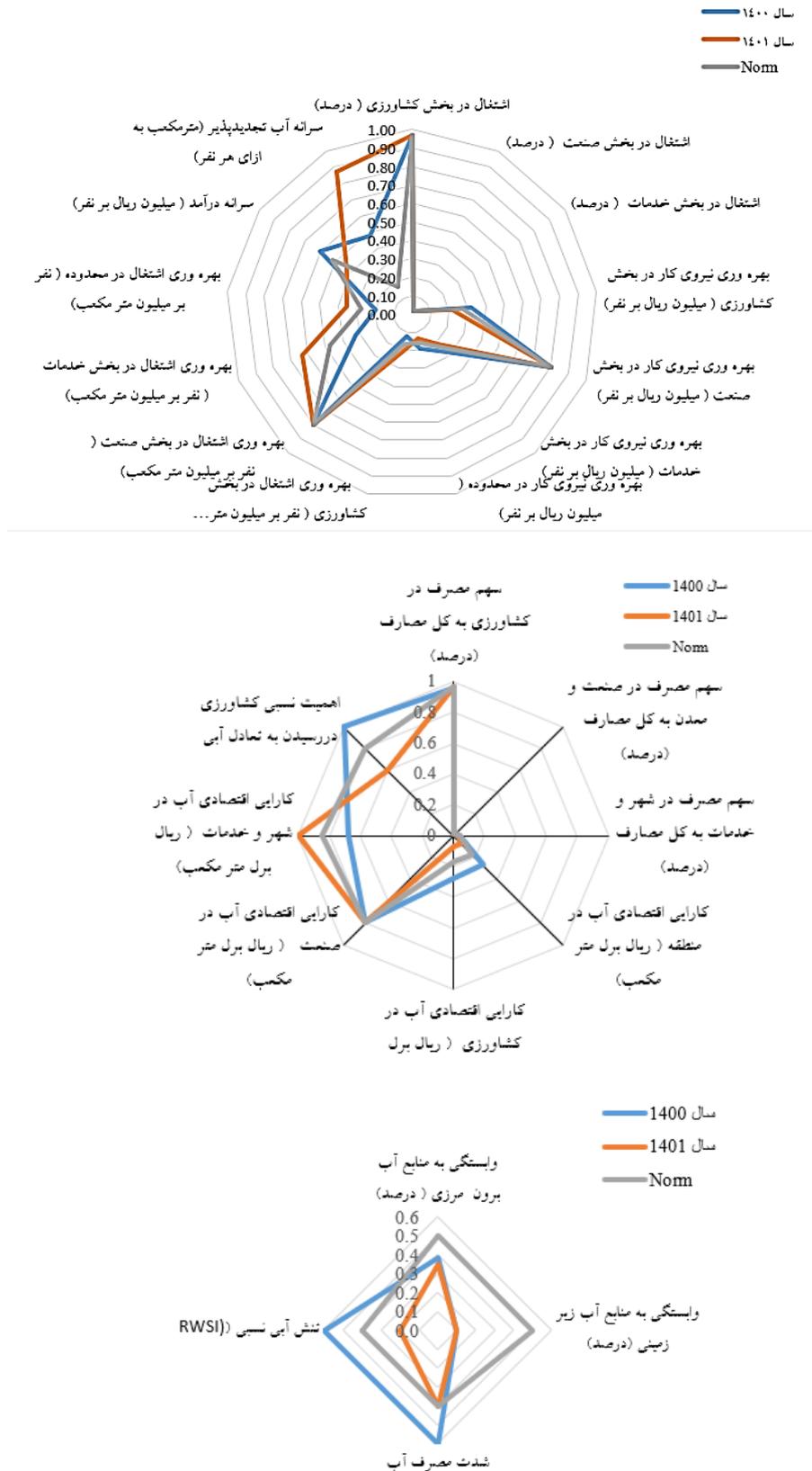
در اشکال (۵) و (۶) این مقاله سیستم منابع آب کل منطقه مطالعاتی در سالهای آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ نشان داده شده است. همچنین در شکل (۶) مقایسه نشانگرهای منطقه با نرمهای کشوری و جهانی روی نمودارهای رادار رسم گردیده و نمایش داده شده است (مقادیر نرم میانگین کشوری مربوط به تحقیق بابائیان و همکاران (۱۳۹۵)).



شکل ۴. جریان آب بین بخش های اقتصادی و محیط زیست در محدوده مطالعاتی سال ۱۴۰۰



شکل ۵. جریان آب بین بخش های اقتصادی و محیط زیست در محدوده مطالعاتی سال ۱۴۰۱



شکل ۶. نشانگرهای مختلف منابع آب، اقتصادی و اجتماعی و مقایسه آنها با نرم کشوری و جهانی

### بحث

با تکمیل جداول حسابداری آب، جریان آب بین بخش‌های اقتصادی و محیط‌زیست در محدوده مطالعاتی مشخص گردید. باتوجه به تمایز بین مصرف و برداشت آب در بحث‌های اخیر فائو در این تحقیق به تفسیر نشانگرهای پیشنهادی پرداخته می‌شود.

نشانگر کارایی اقتصادی آب در منطقه بیانگر نسبت درآمد ناخالص بر کل مصرف آب است. در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ این نشانگر مقدار ۲۵۴۲۷ ریال بر مترمکعب و در سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ مقدار ۷۴۲۷۹ ریال بر مترمکعب برآورد گردید. در سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ این نشانگر به میزان ۲۴۴۲۶ ریال به ازای هر مترمکعب از نرم کشوری پیشی گرفت.

نشانگر کارایی اقتصادی آب در کشاورزی، میزان ارزش ریالی به‌دست‌آمده به‌ازای میزان آب مصرفی را نشان می‌دهد. با مقایسه این نشانگر در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که کدامیک از بخش‌های مختلف در سال به‌ازای مصرف آب کمتر، درآمد بیشتری را برای منطقه ایجاد کرده است. بر اساس محاسبه نشانگر در سالهای ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۱۴۲۰۳ و ۷۶۶۱۱ ریال بر مترمکعب برآورد گردید. باتوجه به اینکه قیمت محصولات زراعی در سال ۱۴۰۱ بیشتر از سال ۱۴۰۰ است قطعاً بازده اقتصادی آب در کشاورزی بیشتر برآورد شده است به همین دلیل در این حوضه علیرغم تنش آبی در دو سال یاد شده کشاورزان به بیشتر به کشاورزی روی آورده و کشت تابستانه شلتوک در این دو سال شدت گرفته است. عدم ایجاد سرمایه گذاری در بخش صنایع در این حوضه موجب شده به پیکره منابع آب در این حوضه و به زیستگاه های جانوران آبی و پرندگان در تالاب هورالعظیم و همچنین به درآمدهای اقتصادی ناشی از این تالاب بین المللی که یک پنجم مساحت آن در استان خوزستان واقع شده آسیب های جدی وارد گردد.

نشانگر کارایی اقتصادی آب در صنعت یکی دیگر از نشانگرهای مهم در حسابداری اقتصادی - محیط زیستی به حساب می‌آید. در حوضه مورد مطالعه آب تخصیصی به بخش صنعت تقریباً صفر است و صنایع آب بر در این حوضه وجود ندارد. صنایع کوچک و مرغداری به صورت محدود در این حوضه وجود دارد که از بخش شرب و خدمات تأمین می‌گردد.

نشانگر کارایی اقتصادی آب در شرب و خدمات در این حوضه در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۶۸۱ و ۱۳۴۰ ریال بر مترمکعب برآورد گردید. همچنان که ملاحظه می‌شود درآمد حاصل از شرب و خدمات در هر دو سال کمتر از بخش کشاورزی است بطوری که درصد اختلاف در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۹۵ و ۹۸ درصد است.

نشانگر حجم پساب تصفیه شده به کل پساب تولیدی برای حوضه مورد مطالعه قابل محاسبه نمی‌باشد؛ چون تصفیه‌خانه شمال و جنوب هویزه با فاضلاب ورودی سالانه ۳ میلیون مترمکعب در سال بیش از ۱۰ سال غیرفعال است و پساب‌های فاضلاب در نهایت به هورالعظیم منتهی می‌گردد.

نشانگر سهم مصرف آب در بخش کشاورزی به کل مصارف طبق برآورد انجام شده در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۹۶ و ۹۷ درصد است. نشانگر سهم مصرف آب در بخش صنعت به کل مصارف صفر است. چون آب مصرفی در این بخش نزدیک به صفر است و در مقایسه با آب مصرفی کشاورزی بسیار ناچیز و در حد صفر است.

نشانگر سهم مصرف آب در بخش شرب و خدمات به کل مصارف در دو سال مورد مطالعه ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۴ و ۳ درصد برآورد گردید.

نشانگر حجم منابع آب تجدیدپذیر داخلی، بیانگر حجم نزولات جوی منهای تبخیر است که برای سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب اعداد ۱۴۳۴ و ۲۵۸۴ میلیون مترمکعب برآورد شد.

نشانگر حجم منابع آب تجدیدپذیر خارجی، بیانگر حجم آب ورودی به حوضه مورد مطالعه از خارج از حوضه به داخل حوضه مورد نظر تعریف می‌شود. حجم منابع آب مورد استفاده از خارج از حوضه مورد تحقیق عبارتست از آب انتقالی از طریق کانال غربی سد دز به کانالی موسوم به اسپیل کرخه برای سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ به ترتیب ۵۳۱ و ۹۷۱ میلیون مترمکعب است. منابع آب تجدیدپذیر خارجی در سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ بیش از ۸۰ درصد نسبت به سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ بوده است.

نشانگر جریان انتقالی به خارج حوضه بیانگر حجم آب خارج شده در انتهای حوضه که در اینجا ورودی به تالاب هورالعظیم است. در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ به ترتیب حجمی معادل ۶۰۰ و ۷۷۷ میلیون مترمکعب وارد تالاب هورالعظیم شده است که این اعداد احتمالاً اعداد واقعی ورودی به هورالعظیم نمی‌باشد و کمتر از این اعداد وارد هورالعظیم می‌گردد؛ چون موقعیت ایستگاه اندازه گیری آب ورودی به هورالعظیم با مخازن یک و دو فاصله داشته و در این فاصله از این آب استفاده کشاورزی می‌گردد.

نشانگر مجموع منابع آب تجدیدپذیر طبیعی بیانگر، مجموع آب تجدیدپذیر داخلی و خارجی منهای ورودی به هورالعظیم است. این نشانگر در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۱۳۶۵ و ۲۷۷۸ میلیون مترمکعب است که درصد اختلاف ۵۰ درصد نسبت به سال ۱۴۰۱ را نشان می‌دهد.

نشانگر وابستگی به منابع آب برون مرزی بیانگر، نسبت آب تجدید پذیر خارجی به تجدید پذیر طبیعی است. این نشانگر در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۰/۳ و ۰/۴ برآورد گردید که در هر دو سال نسبت به نرم جهانی (بالای ۰) پایین تر است و این یعنی حوضه مورد مطالعه وابستگی به آب برون مرزی ندارد. هر چند در سال ۱۴۰۱ وابستگی به آب برون مرزی (اسپیل کرخه) نسبت به سال ۱۴۰۰ بیشتر است؛ ولی بر اساس تعریف جهانی وابستگی به آب برون مرزی در این حوضه وجود ندارد.

نشانگر سرانه آب تجدید پذیر بیانگر، نسبت حجم آب تجدید پذیر به جمعیت منطقه مطالعاتی است. این نشانگر در دو سال مورد مطالعه ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۱۳۰۲ و ۱۸۱۲ مترمکعب به ازای هر نفر برآورد گردید. درصد اختلاف این نشانگر ۳۰ درصد نسبت به سال ۱۴۰۰ است. این موضوع عمدتاً به دلیل افزایش خروجی از سد کرخه، مدیریت مصارف در سال ۱۴۰۱ بوده است. برابر شاخص فالکن مارک هر کشوری با سرانه آب تجدید پذیر کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب جزء کشورهای با تنش آبی خواهد بود. چنانچه این مقدار کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در سال برای هر نفر باشد در وضعیت کمبود آب به سر می برد. لذا در مقایسه با شاخص مذکور در سال ۱۴۰۰ حوضه مورد مطالعه دارای تنش آبی بوده؛ ولی در سال ۱۴۰۱ بالاتر از شاخص فالکن مارک برآورد گردید.

نشانگر وابستگی به آب زیرزمینی بیانگر نسبت برداشت آب زیر زمینی به کل آب برداشت شده تعریف می گردد. در هر دو سال مورد مطالعه این عدد ۰.۰۱ یا یک درصد است که در مقایسه با نرم جهانی (بالای ۰.۵ یا ۵۰ درصد) این حوضه مورد مطالعه هیچ وابستگی به آب زیر زمینی ندارد و نشان می دهد ۹۹ درصد نیاز آبی منطقه از طریق آب های سطحی انتقالی به حوضه و سد کرخه تأمین می گردد.

نشانگر تنش آبی نسبی (RWSI) بیانگر، نسبت کل مصرف آب به آب تجدید پذیری طبیعی است. این نشانگر برآوردی از فشارهای تقاضای آب از بخش های صنعت و معدن، کشاورزی، شهر و خدمات نسبت به عرضه آب تجدید پذیر طبیعی بیان می کند. این نشانگر در سال های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۰/۶ و ۰/۲ برآورد شد که در مقایسه با نرم جهانی (بیش از ۰/۴) در سال ۱۴۰۰ دارای تنش آبی شدید؛ ولی در سال ۱۴۰۱ بدون تنش آبی شدید بود.

نشانگر شدت مصرف آب، نسبت آب مصرفی به آب تجدید پذیر داخلی تعریف می شود که نشان دهنده پایداری منابع آب است. این نشانگر در سال های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۰/۶ و ۰/۴ برآورد گردید که در مقایسه با نرم جهانی (بزرگ تر از ۰/۴) در سال ۱۴۰۰ گویای ناپایداری کامل و عدم تعادل بیلان در منطقه به دلیل عدم هماهنگی بین میزان منابع آب موجود و مصرف شده است. در سال ۱۴۰۱ ناپایداری منابع آب منطقه را نشان می دهد.

نشانگر اهمیت نسبی کشاورزی در اقتصاد، بیانگر درآمد ناخالص کشاورزی بر کل درآمد ناخالص است. در هر دو سال مورد مطالعه این نشانگر حدود یک است این یعنی درآمد ناخالص کشاورزی محور اقتصاد این حوضه مطالعاتی را در بردارد.

نشانگر بهره‌وری اشتغال در بخش کشاورزی، بیانگر شاغل کشاورزی شهری و روستایی به مصرف کشاورزی است. این نشانگر در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۱۲۰ و ۲۱۱ است. در مقایسه انجام شده درصد اختلاف بین دو سال مذکور ۸۰ درصد برآورد شد و نشان دهنده این است که در سال ۱۴۰۱ اراضی بیشتری توسط کشاورزان در منطقه زیر کشت رفته؛ چون تنش آبی در این سال نسبت به سال ۱۴۰۰ کاهش یافته است.

نشانگر بهره‌وری اشتغال در بخش صنعت، بیانگر شاغل صنعت شهری و روستایی به مصرف صنعت شهری و روستایی است. این نشانگر در دو سال مورد مطالعه صفر میلیون مترمکعب بر نفر است؛ چون در این حوضه صنایع مورد توجهی وجود ندارد که اشتغال ایجاد نماید. باتوجه به اینکه بهره‌وری اقتصادی آب در بخش صنعت به مراتب بالاتر از کشاورزی است لیکن عدم سرمایه گذاری در بخش صنعت موجب شده هم منابع آب این حوضه و هم اشتغال دچار صدمات زیادی گردند.

نشانگر بهره‌وری اشتغال در بخش خدمات، بیانگر درآمد ناخالص خدمات به شاغل خدمات شهری و روستایی است. این نشانگر در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۰/۵ و ۰/۴ میلیون ریال بر نفر برآورد گردید. درصد اختلاف بهره‌وری اشتغال در بخش خدمات در سال ۱۴۰۱ به میزان ۳۰ درصد کاهش یافته است که ناشی از کاهش درآمد ناخالص این بخش است.

### نتیجه گیری

اجرای نمودن نحوه استخراج شاخص های امنیت آبی در تلفیق با داده های جمعیت و اقتصاد باتوجه به پتانسیل های اطلاعاتی، مسئله بسیار پر چالشی است. مقادیر به دست آمده برای نشانگر تنش آبی نسبی و سرانه آب تجدید پذیر نشان می دهد که تنش آبی شدید در سال ۱۴۰۰ در محدوده مطالعاتی حکم فرما بود و موجب ناپایداری کامل و عدم تعادل بیلان آب در منطقه به دلیل عدم هماهنگی بین میزان منابع آب موجود و مصارف شده بود و این در حالی است که در سال ۱۴۰۱ با مدیریت مصرف این تعادل بیلان آب در منطقه برقرار شده به طوری که شاخص تنش آبی ۰ و شدت مصرف ۰/۴ در مرز ناپایداری کامل واقع شد. باتوجه به نشانگرهای بعد منابع آب، بحران تنش آب در محدوده مطالعاتی

حاکم است. باتوجه به مصرف بالای آب در بخش کشاورزی و بهره وری اقتصادی آب کمتر در این بخش باید تمرکز بخش اقتصادی را از کشاورزی به سمت سایر بخش‌ها سوق داد.

در حال حاضر قیمت آب در محدوده مطالعاتی بر اساس تعرفه سال ۱۴۰۱ تعیین شده توسط دولت در بخش کشاورزی کمتر از ۱۶۷۰ ریال بر مترمکعب و در بخش خدمات و خانگی بعد از فرایند تصفیه کمتر از ۲۶۵۰ ریال بر مترمکعب و در بخش صنعت کمتر از ۴۶۰۰۰ ریال بر مترمکعب است. این ارقام بسیار کمتر از قیمت تمام شده است که خود عاملی برای رفع انگیزه برای افزایش بهره‌وری اقتصادی آب محسوب می‌گردد. رشد سالیانه بهره‌وری اقتصادی آب در بخش‌های صنعت، خدمات و کشاورزی در یک سال اخیر به ترتیب ۴۵۶۸، ۲۳۴ و ۴۷۷ ریال بر مترمکعب بوده است. حسابداری آب در این محدوده روند گزارش دهی در محدوده را تسهیل کرده و میتواند در آینده برای تحلیل اثرات اقدامات سیاست آب بسیار مفید باشد.

## منابع

- سلیمانی ساردو، فرشاد، و کیلی تجربه، و فرزانه، و رستمی خلج، محمد. (۱۴۰۰). مدیریت یکپارچه منابع آب جنوب استان کرمان با استفاده از مدل پویایی سیستم. نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۵(۲(۴۱))، ۲۱-۱۱. <https://www.id.ir/paper/954350/fa>
- مهدوی، تقی، باقری، علی، و حسینی، سید عباس. (۱۳۹۸). ارزیابی یکپارچه سیستم منابع آب محدوده مطالعاتی عجبشیر بر اساس چارچوب حسابداری آب SEEA-water. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۰(۶)، ۱۵۵۲-۱۵۳۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.264335.667996>
- بابائیان، فریبا، باقری، علی، و رفیعیان، مجتبی. (۱۳۹۵). تحلیل آسیب پذیری سیستم منابع آب نسبت به کم آبی با استفاده از چارچوب حسابداری آب (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی رفسنجان). *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۱(۱۲)، ۱۷-۱. [https://www.wrr.ir/article\\_15625.html](https://www.wrr.ir/article_15625.html)

## References

- Babaeian, F., Bagheri, A., & Rafieian, M. (2016). Vulnerability Analysis of Water Resources Systems to Water Scarcity Based on a Water Accounting Framework (Case Study: Rafsanjan Study Area). *Iran-Water Resources Research*, 12(1), 1-17. [https://www.iwrr.ir/article\\_15625.html?lang=en](https://www.iwrr.ir/article_15625.html?lang=en) [In Persian]
- Bagheri, A., & Babaeian, F. (2020). Assessing water security of Rafsanjan Plain, Iran – Adopting the SEEA framework of water accounting. *Ecological Indicators*, 111, 105959. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105959>
- Blazquez, M.G.A., Veeren, R., Gacutan, J., James, P.A.S. (2023). Compiling preliminary SEEA Ecosystem Accounts for the OSPAR regional sea: experimental findings And lessons learned. *One Ecosystem*, 8, e108030. <https://doi.org/10.3897/oneeco.8.e108030>
- Catherine, A., Farrell, L., Coleman, M. K-Q., Carl G.O., Eigenraam, M., Norton, D., O'Donoghue, C., Kinsella, S., Delargy, O., & Stout, J.C. (2021). Applying the System of Environmental Economic Accounting-Ecosystem Accounting (SEEA-EA) framework at catchment scale to develop ecosystem extent and condition accounts, *One ecosystem*, 6, e65582. <https://doi.org/10.3897/oneeco.6.e65582>
- Chalmers, K., Godfrey, J., & Potter, B. (2012). Discipline-Informed Approaches to Water Accounting Australian Accounting Review. *College of Business and Economics*, Australian National University, Australia, 275-285. <https://doi.org/10.1111/j.1835-2561.2012.00175.x>
- Dong, B., Molden, D., Loeve, R., Li, Y. H., Chen, C.D., & Wang, J. Z. (2004). Farm level practices and water productivity in Zhanghe Irrigation System. *Paddy and Water Environment*, 2(4), 217-226. <https://doi.org/10.1007/s10333-004-0066-z>
- Edens, b., & Graveland, c. (2014). Experimental valuation of Dutch water resources according to SNA and SEEA. *Water Resources \$ Economic*, 7, 66-81. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2014.10.003>
- Ersin Esen, s., Hein, L. (2020). Development of SEEA Water Accounts with a Hydrological Model. *Science of the Total Environmental*, 737, 140168. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140168>

- Firdaus, Z.F. (2020). Neraca arus energi Indonesia: Implementasi system of environmental – economic accounting (SEEA) dalam penyediaan indicator tujuan Pembangunan berkelanjutan di Indonesia. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2019(1). <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2019i1.259>
- Hoekstra, A.Y. (2019). Green-blue water accounting in a soil water balance. *Advances in Water Resources*, 129, 112-117. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.05.012>
- Karimi, P., Bastiaanssen, W. G. M., & Molden, D. (2013). Water Accounting Plus (WA+) – a water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(7), 2459-2472. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2459-2013>
- Karimi, P., Bastiaanssen, W. G. M., Molden, D., & Cheema, M. J. M. (2013): Basin-wide water accounting using remote sensing data: the case of transboundary Indus Basin. *Hydrol. Earth Syst.Sci.*, 17(7), 2473–2486. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2473-2013.14>
- Karimov, A., Molden, D., Khamzina, T., Platonov, A., & Ivanov, Yn. (2012). A water accounting procedure to determine the water savings potential of the Fergana Valley. *Agricultural Water Management*, 108, 61-72. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2011.11.010>
- Mahdavi, T., Bagheri, A., & Hoseyni, S. A. (2019). Integrated Assessment of Water Resources System in the Ajabshir Study Area, Based on SEEA-Water Accounting Framework. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(6), 1535-1552. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.264335.667996> [In Persian]
- Malvin, S., kang, M., & Kang, D. (2021). Optimal Water Quality Sensor Placement by Accounting for Possible Contamination Events in Water Distribution Networks, *Water*, 13(15), 1999. <http://dx.doi.org/10.3390/w13151999>
- Shahrokhi Sardo, M., & Jalalkamali, N. (2021). System Dynamic Model of Groundwater Exploitation Management and Artificial Recharging Performance (Case Study of Nessa Plain, Bam, Kerman). *Iranian Water Research Journal*, 15(2 (41) ), 109-118. <https://sid.ir/paper/954350/en> [In Persian]
- Singh, V.G, Singh, S.K., Kumar, N., Kumar, P., Kumar, P., Gupta, P., Singh, K., Gašparovi'c, M., Lakhani Ray, R., & Saito, O. (2022). Water Accounting Using Satellite Products and Water Accounting plus Framework in a Semi-Arid Betwa River Basin, India. *Water*, 14(21). <https://doi.org/10.5890/jeam.2023.03.004>
- UNESCO. (2011). Division of water Sciences. Digital library, *Unesco*. 1-4. <https://www.unesco.org/archives/multimedia/producer/unesco,+division+of+water+sciences>