

Two-Dimensional Flow Pattern around the Neyrpic Gates and Main Canal Pumping Station of Dasht-e Abbas Irrigation Network

Alimohammad Moradkhani¹ , Mitra Javan^{2✉} , Afshin Eghbalzadeh³

1.Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: abdehloran.1390@yahoo.com

2.Corresponding Author, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: javanmi@gmail.com

3.Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: eghbalzadeh@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received

2026-06-13

Received in revised form

2026-08-28

Accepted

2026-09-14

Available online

2026-10-01

Keywords:

Dasht abbas network,
2D Flow,
HEC-RAS,
Neyrpic Gate,
Pumping Station

ABSTRACT

Neyrpic gates are among the most common flow regulation structures in open channels, valued for their low hydraulic loss and precise discharge control. Pumping stations are also essential for lifting water or feeding secondary networks. Hence, accurate understanding of the two-dimensional flow pattern around these structures is crucial. In the present study, the two-dimensional flow pattern in the combined area of Neyrpic gates and a pumping station located in the main canal of Dasht-e Abbas was simulated and analyzed using the HEC-RAS model. For this purpose, flow depth and discharge data were measured over a period of approximately two years under various operational conditions. Using these data and the HEC-RAS model, modeling was performed for different main canal discharges, lateral diversion discharges, and opening degrees of the downstream radial gates. Finally, a dye tracer injection test was conducted to verify the accuracy of the final model in flow simulation. To evaluate the accuracy of the modeling, the following error indices were employed: Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error, (MAPE), Root Mean Square Error (RMSE), and Relative Root Mean Square Error (RMSRE). The results indicated that the modeling achieved an acceptable level of accuracy. It is noteworthy that the RMSRE for the sector gate was estimated at 0.045, whereas this index was calculated as 0.05 for the channel inlet. Which are very close to zero and indicate the high accuracy of the model outputs with reality. Based on the findings, it can be concluded that the HEC-RAS model demonstrates higher accuracy in simulating the water depth at the Radial gate location compared to the channel inlet. Furthermore, flow pattern analysis through dye tracing revealed a very good agreement between the simulated two-dimensional flow pattern and the actual observed conditions. Investigating the effect of eddy viscosity coefficients in the x and y directions and the Smagorinsky coefficient on the flow pattern showed that different values of these coefficients by ten percent above and below the model's default values did not significantly alter the flow pattern around the intake of Neyrpic gates and the pumping station intake. Furthermore, the results indicated that the flow pattern near the intakes or pumping stations is highly curved, and any formed eddies arise from spatial changes in flow velocity.

Cite this article: Moradkhani, Alimohammad., Javan, Mitra., & Eghbalzadeh, Afshin. (2026). Two-Dimensional Flow Pattern around the Neyrpic Gates and Main Canal Pumping Station of Dasht-e Abbas Irrigation Network, *Advanced Modeling in Civil Engineering*, 3(3), 1-23.
DOI: 10.22126/amcen.2026.14073.1093



© The Author(s).

DOI: 10.22126/amcen.2026.14073.1093

Publisher: Razi University

Introduction

In water conveyance and distribution systems, particularly in irrigation and drainage networks, main canals play a vital role. Precise flow regulation and water level control require hydraulic structures such as gates and pumping stations. Among the most common structures are Neyrpic gates, widely used in open channels due to low head loss and accurate discharge control. Pumping stations are also essential for lifting water to higher elevations or supplying lateral networks. However, these structures disturb the uniform, one-dimensional flow pattern, creating flow convergence, divergence, separation zones, and eddies. Similarly, pumping intakes significantly affect velocity distribution and shear stresses. In many practical projects, one-dimensional analysis is used for simplicity, but this may introduce significant errors in energy loss estimation, discharge distribution, and sedimentation patterns. Hence, accurate understanding of the two-dimensional depth-averaged flow pattern around these structures is crucial.

Shahrokhi Nia & Javan (2005) evaluated the Ordibehesht Canal in Fars province using HEC-RAS under steady flow conditions. Eljaz et al. (2025) developed a hydrodynamic model of an irrigation canal network in Pakistan, demonstrating HEC-RAS's capability for effective water distribution management under low-head conditions.

The present study aims to analyze the two-dimensional flow pattern around Neyrpic gates and a pumping station in the main canal of Dasht-e Abbas using HEC-RAS. Flow depth and discharge data were measured over two years under various operational conditions. Modeling was performed for different main canal discharges, lateral diversions, and gate openings. Finally, dye tracer injection was used to verify the model's accuracy. The results can help optimize structure layout, reduce adverse hydraulic effects, and improve system efficiency.

Method

In general, in this study, field measurements of flow depth and discharge were conducted over a period of approximately two years under various operational conditions. Different field scenarios were defined within the HEC-RAS model. To simulate the pumping station suction sump in HEC-RAS, a lateral channel was considered downstream of the sluice gate with dimensions equivalent to those of the suction sump. At the end of this lateral channel, a high-crested weir was defined to represent the pumping station outlet. After validating the HEC-RAS model and ensuring its reliability in simulating flow depth, a total of 233 simulations were carried out for different flow discharge scenarios using the calibrated model.

Finally, to evaluate the agreement between the actual flow pattern and the simulated model, dye tracer injection was performed at critical and hydraulically complex locations, such as the end of the canal and the vicinity of the radial and Neyrpic gates.

Results

The results showed that the modeling in both one-dimensional and two-dimensional modes has acceptable accuracy. Comparing these two approaches, it was found that the two-

dimensional model has lower error and therefore higher accuracy than the one-dimensional model. Furthermore, the results indicate that the HEC-RAS model simulates the flow at the radial gate location with greater accuracy compared to the canal inlet region.

The investigation of the flow pattern using dye tracer injection revealed that the simulated two-dimensional flow pattern is in very good agreement with the actual conditions. Based on these results, vortex formation typically occurs near intakes. Moreover, according to the findings of this study, after the flow impacts the concrete wall of the intake and simultaneously with flow suction from the lateral canal, vortices are generated adjacent to the concrete walls and the lateral intake.

Conclusions

Based on the results obtained from one-dimensional and two-dimensional modeling, and by comparing the values extracted from the model with field measurements, as well as according to evaluation indices, it was found that the accuracy of the two-dimensional model is higher than that of the one-dimensional model. In other words, the model outputs in the two-dimensional mode show less deviation from the actual measured values. It should also be noted that the accuracy of the model outputs, both in one-dimensional and two-dimensional modes, is higher at the radial gate location than at the beginning of the canal.

Author Contributions

All authors participated in writing and revising the article.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



الگوی جریان دوبعدی در پلان اطراف دریچه‌های نیرپیک و ایستگاه پمپاژ کانال اصلی دشت عباس

علی محمد مرادخانی^۱، میترا جوان^۲، افشین اقبالزاده^۳

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: abdehloran.1390@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: javanmi@gmail.com

۳. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: eghbzalzadeh@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۳	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۰۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۳	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۹	
کلیدواژه‌ها: ایستگاه پمپاژ، جریان دوبعدی، شبکه دشت عباس، دریچه نیرپیک، مدل HEC-RAS	از جمله رایج‌ترین سازه‌های کنترل جریان در کانال‌های روباز، دریچه‌های نیرپیک هستند که با افت هیدرولیکی کم و دقت بالا در تنظیم دبی کاربرد گسترده‌ای دارند. همچنین ایستگاه‌های پمپاژ برای انتقال آب به ارتفاعات یا تغذیه شبکه‌های فرعی ضروری‌اند. به همین دلیل، شناخت دقیق الگوی جریان دوبعدی در اطراف این سازه‌ها اهمیت زیادی دارد. در مطالعه حاضر، الگوی جریان دوبعدی در محدوده ترکیبی از دریچه‌های نیرپیک و ایستگاه پمپاژ مستقر در کانال اصلی دشت عباس با استفاده از مدل HEC-RAS شبیه‌سازی و تحلیل شد. برای این منظور، داده‌های عمق و دبی جریان در طول حدود دو سال و در شرایط مختلف بهره‌برداری اندازه‌گیری گردید. با استفاده از این داده‌ها و مدل HEC-RAS، برای دبی‌های مختلف کانال اصلی، دبی‌های انحراف جانبی و میزان بازشدگی دریچه‌های انتهایی، مدل‌سازی انجام گرفت. در نهایت، جهت بررسی صحت مدل نهایی در شبیه‌سازی جریان، از تزریق ماده رنگی به جریان استفاده شد. جهت ارزیابی میزان دقت مدل‌سازی از شاخص‌های خطای میانگین مطلق (MAE)، میانگین درصد مطلق خطا، (MAPE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (RMSRE) استفاده شد. نتایج نشان داد مدل‌سازی دارای دقت قابل قبولی است. با توجه به نتایج می‌توان گفت، مدل HEC-RAS در شبیه‌سازی عمق آب محل دریچه قطاعی نسبت به ورودی کانال دارای دقت بالاتری می‌باشد، از جمله اینکه RMSRE برای محل دریچه قطاعی برابر با ۰.۰۴۵ برآورد شد، درحالی‌که این شاخص برای ورودی کانال ۰.۰۰۵ محاسبه گردید که بسیار نزدیک به صفر می‌باشند و نشان دهنده دقت بالای خروجی‌های مدل با واقعیت می‌باشد. بررسی الگوی جریان با تزریق ماده رنگی نیز حاکی از مطابقت بسیار خوب الگوی دوبعدی شبیه‌سازی شده با واقعیت بود. بررسی تأثیر تغییر ضرایب ویسکوزیته گردابی و اسماگورینسکی به میزان ده درصد بیشتر و کمتر از میزان پیش فرض مدل بر الگوی جریان نشان داد که تغییر این ضرایب تأثیر چشمگیری بر جریان اطراف دریچه‌های نیرپیک و ایستگاه پمپاژ ندارد. همچنین مشخص شد که الگوی جریان در نزدیکی این سازه‌ها تحت تأثیر دبی‌های انحرافی است.

استناد: مرادخانی، علی محمد؛ جوان، میترا؛ و اقبالزاده، افشین. (۱۴۰۵). الگوی جریان دوبعدی در پلان اطراف دریچه‌های نیرپیک و ایستگاه پمپاژ

کانال اصلی دشت عباس. مجله مدل‌سازی پیشرفته در مهندسی عمران، ۳(۳)، ۲۳-۱.

DOI: 10.22126/amcen.2026.14073.1093



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی.

۱. مقدمه

در سیستم‌های انتقال و توزیع آب، به‌ویژه در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، کانال‌های اصلی نقش شاهرگ حیاتی را ایفا می‌کنند. تنظیم دقیق جریان، تأمین آب مورد نیاز آبیگرهای فرعی و کنترل سطح آب در بازه‌های مختلف کانال، مستلزم استفاده از سازه‌های هیدرولیکی نظیر دریچه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ است. از جمله رایج‌ترین این سازه‌ها، دریچه‌های نیرپیک هستند که به دلیل افت هیدرولیکی کم و قابلیت تنظیم دقیق دبی، به‌طور گسترده در کانال‌های روباز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، ایستگاه‌های پمپاژ برای تأمین انرژی لازم جهت انتقال آب به ارتفاعات بالاتر یا تغذیه شبکه‌های فرعی ضروری هستند.

اما وجود این سازه‌ها در مسیر کانال اصلی، الگوی جریان را از حالت یکنواخت و یک‌بعدی خارج می‌سازد. تجهیزاتی مانند دریچه‌های نیرپیک که معمولاً به صورت تکی یا گروهی در تنداب‌ها یا دهانه‌های کناری نصب می‌شوند، باعث ایجاد همگرایی و واگرایی شدید خطوط جریان، تشکیل نواحی جدایی جریان و گردابه‌ها در پایین‌دست خود می‌گردند. به طور مشابه، آبیگری از کانال اصلی توسط ایستگاه پمپاژ، مشخصات جریان را در ناحیه مکش به شدت تحت تأثیر قرار داده و الگویی پیچیده از توزیع سرعت و تنش‌های برشی ایجاد می‌کند. با این حال، در بسیاری از پروژه‌های عملی، به دلیل صرفه‌جویی در زمان و هزینه، تحلیل جریان به روش یک‌بعدی و با فرض توزیع یکنواخت سرعت در مقطع عرضی انجام می‌شود. این ساده‌سازی می‌تواند خطای قابل توجهی در تخمین میزان افت انرژی، توزیع دبی انشعابات، الگوی رسوب‌گذاری و حتی طراحی حفاظت بستر و دیواره‌ها ایجاد کند. بنابراین، شناخت دقیق الگوی جریان دوبعدی در پلان (عمق متوسط) در اطراف این سازه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شبیه‌سازی دوبعدی امکان بررسی میدان سرعت، نحوه توزیع جریان بین دریچه‌ها و ناحیه مکش پمپ، و همچنین موقعیت نواحی با سرعت کم یا چرخشی را فراهم می‌آورد.

نرم‌افزار HEC-RAS از ابزارهای مدل‌سازی عددی^۱ پرکاربرد در حوزه مدل‌سازی هیدرولیک رودخانه‌ها و پیش‌بینی سیلاب است که در تحقیقات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است. در خصوص

مدل‌سازی جریان آب در مجاری مختلف از جمله کانال‌ها نیز از این مدل استفاده شده است. از جمله الجاز و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی با عنوان "توسعه یک مدل هیدرودینامیکی شبکه کانال آبیاری با استفاده از HEC-RAS: مطالعه موردی بخش کانال لیّه، پاکستان، عملکرد هیدرولیکی کانال شاخه موندرا در شرایط کمبود آب و عملکرد دریچه‌های آبیگرهای جانبی را ارزیابی نمودند. مدل پس از کالیبراسیون و صحت‌سنجی با داده‌های صحرایی (شامل تراز آب و دبی)، توانست دبی عبوری از آبیگرهای جانبی و خروجی‌ها را با دقت قابل توجهی محاسبه کند. این پژوهش نشان داد که HEC-RAS می‌تواند مبنایی برای مدیریت مؤثر توزیع آب در کانال‌هایی با هد آبی کم باشد.

همانطور که از این تحقیق و سایر تحقیقاتی که در ادامه در بخش پیشینه تحقیق آورده شده است بر می‌آید، در هیچ‌کدام از این تحقیقات از مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی یک شرایط پیچیده‌تر جریان که شامل دریچه‌های نیرپیک و ایستگاه پمپاژ جانبی باشد، استفاده نشده است. لذا در این تحقیق، شبیه‌سازی الگوی جریان دوبعدی در پلان در محدوده دریچه‌های نیرپیک و ایستگاه پمپاژ مستقر در کانال اصلی دشت عباس با استفاده از مدل دو بعدی HEC-RAS انجام گردید. در این راستا، داده‌های عمق و دبی جریان در طول حدود دو سال و در شرایط مختلف بهره‌برداری، اندازه‌گیری شده و با استفاده از آنها و به کمک مدل HEC-RAS برای مقادیر مختلف دبی در کانال اصلی، دبی‌های انحراف جانبی و میزان بازشدگی دریچه‌های شعاعی در انتهای کانال اصلی، مدل‌سازی انجام گرفت. جهت بررسی صحت مدل نهایی در شبیه‌سازی جریان، از تزریق ماده رنگی به جریان استفاده گردید.

۲. پیشینه پژوهش:

شوستیکووا^۲ و همکاران (۲۰۱۹) در یک مطالعه توانایی شبیه‌سازی برنامه‌های LISFLOOD-F و HEC RAS را در حالت دو بعدی در توپولوژی پیچیده، مقایسه کردند. در مطالعه شاهرخی نیا و جوان (۲۰۰۵) با استفاده از مدل HEC-RAS، عملکرد کانال اردیبهشت در شبکه آبیاری درودزن (استان فارس) ارزیابی شد. مدل

محمدي (۱۴۰۴) در تحقيقي نشان داد که روش‌های عددی گام‌به‌گام در شبیه‌سازی جریان کانال باز، ضمن دقت مناسب، از پایداری عددی بالایی برخوردارند و می‌توانند برای تحلیل شرایط پیچیده جریان مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، حساسیت پروفیل جریان به تغییرات شیب بستر و ضریب زبری، اهمیت کالیبراسیون دقیق پارامترهای هیدرولیکی در مدل‌سازی عددی را نشان می‌دهد.

قنبری و همکاران (۱۴۰۳) در تحقيقي نشان دادند که نحوه تغییر زمانی باز و بسته شدن شیرها تأثیر قابل‌توجهی بر رفتار جریان گذرا دارد و انتخاب الگوی مناسب عملکرد شیر می‌تواند از شدت نوسانات فشار جلوگیری کند. نتایج همچنین بر اهمیت در نظر گرفتن رفتار زمانی تجهیزات کنترلی در تحلیل هیدرولیکی سامانه‌های انتقال آب تأکید دارد.

در تحقيقي بیرانوند و همکاران (۱۴۰۴) با ترکیب آزمایش‌های آزمایشگاهی و مدل حجم محدود نشان دادند که حضور سازه هیدرولیکی در مسیر جریان، با ایجاد جریان ثانویه، موجب بازتوزیع سرعت و تنش برشی می‌شود؛ این اثر در نواحی دارای انحنا و آشفتگی جریان تشدید می‌شود.

آدینه و همکاران (۱۴۰۵) در بررسی عددی جریان در سازه ترکیبی دریچه سالونی نشان دادند که تغییر هندسه سازه و ایجاد تبدیل تدریجی، بر تنش برشی کف، ضریب دبی و ساختار گردابه‌های جریان اثر قابل‌توجهی دارد. همچنین، در هندسه‌های دارای تبدیل تدریجی، گردابه‌های بزرگ‌تر و منظم‌تری در میدان جریان مشاهده شد.

دانش فراز و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از مدل D3FLOW، اثر بازشدگی دریچه و هندسه آستانه را بر سرعت، فشار و الگوی جریان بررسی کردند و نشان دادند که تغییر ابعاد آستانه می‌تواند موجب تغییر محسوس در ساختار جریان و ضریب دبی دریچه شود. نتایج، نقش هندسه سازه را در شکل‌گیری میدان سرعت و فشار اطراف دریچه تأیید می‌کند.

مرادی‌نژاد^۵ (۲۰۲۵) با مطالعه آزمایشگاهی جریان در یک آبگیر جانبی نشان دادند که استقرار سازه‌های هیدرولیکی در مجاورت آبگیر می‌تواند مسیر جریان و توزیع آن را تغییر دهد؛ به‌طوری‌که موقعیت و

برای دو فصل آبیاری برای شرایط جریان دائمی، کالیبره و صحت‌سنجی گردید.

در پژوهشی کومار^۱ و همکاران ۲۰۱۹ کاربرد HECRAS 2D و GFMS از مدل دوبعدی HEC-RAS و Global برای نقشه‌برداری وسعت سیل در مطالعه موردی منطقه سانگام، پرایاگراج هند و با استفاده از ابزارهای سیستم پایش سیل (GFMS) برای توسعه روشی برای تعیین وسعت سیل و شناسایی مناطق مختلف خطر غذایی در پرایاگراج، هند، در محل تلاقی رودخانه‌های گانگا و یمونا استفاده کردند.

سومیادیس^۲ و همکاران (۲۰۲۱) پیامدهای شکست احتمالی در سد برامیانوس در جزیره کرت جنوبی در پایین دست منطقه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS تحلیل کردند. در این تحقیق از دو مجموعه داده منطقه، شامل یک مدل ارتفاعی دیجیتال (DEM) برگرفته از تصاویر ارتوفتو با وضوح بسیار بالا (OPH) آژانس ملی کاداستر و نقشه‌برداری SA و جزئیات دقیق مدل سطح دیجیتال (DSM) استخراج شده از تصاویر هوایی گرفته شده که توسط یک وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAV) برداشت شده بود، استفاده شد.

آکیانوا^۳ و همکاران (۲۰۲۳) در یک تحقیق بهره‌برداری از سیستم آبیاری کنترل شده با دریچه با استفاده از مدل هیدرودینامیک HEC-RAS 2D را برای کاهش خطر سیل بهاره بررسی کردند. موتیور^۴ و شاهجهان^۵ (۲۰۲۴) تغییرات طولی جزر و مد را به وسیله مدل RAS-HEC مطالعه کردند. کیشانلال^۶ و همکاران (۲۰۲۴) تجزیه و تحلیل شکست سد از سد دامنگانگا با استفاده از مدل‌سازی هیدرودینامیکی دوبعدی HEC-RAS و تکنیک‌های مکانی را انجام دادند.

مطالعه‌ای توسط کوماری و همکاران (۲۰۲۵) با هدف تحلیل هیدرولیکی کانال آبیاری چپ کارماناسا در اوتار پرادش هند با استفاده از مدل HEC-RAS انجام شد. مدل HEC-RAS با استفاده از داده‌های هندسی و جریان، واسنجی و اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد که مدل از دقت بالایی برخوردار است. در این تحقیق به‌منظور واسنجی مدل، از مقدار ضریب زبری مانینگ (n) استفاده گردید.

5 . Shahjahan
6 . kishanlal
7 -Moradinejad

1 . Kumar
2 . Psomiadis
3 . Akiyanova
4 . Motiur

همانطور که از بررسی این تحقیقات و موارد ذکر شده در بخش مقدمه مشخص است، هیچ تحقیقی در خصوص مدل سازی الگوی جریان در کانال آبیاری که شامل ترکیبی از موارد متعدد پارامترها، از جمله درجه نیرپیک قطاعی و ایستگاه پمپاژ جانبی با استفاده از مدل HEC-RAS باشد، انجام نشده است، لذا در این تحقیق، شبیه سازی الگوی جریان دوبعدی در پلان در محدوده دریاچه های نیرپیک و ایستگاه پمپاژ مستقر در کانال اصلی دشت عباس با استفاده از مدل دو بعدی HEC-RAS انجام گردید.

۳. روش شناسی پژوهش

۳-۱. ناحیه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر، کانال مورد مطالعه، کانال اصلی تأمین آب شبکه آبیاری و زهکشی دشت عباس، عین خوش و فکه (Ab-MC) است که در شهرستان دهلران، واقع در جنوب استان ایلام قرار دارد (شکل ۱). این شبکه، بزرگترین و مدرنترین شبکه آبیاری در کل استان ایلام به شمار می رود. موقعیت جغرافیایی دشت عباس که در جنوب غربی ایران و در حوضه آبریز رودخانه کرخه (استان ایلام) قرار گرفته، بین عرض های شمالی ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه و طول های شرقی ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه است. آب مورد نیاز این کانال به صورت ثقلی و از طریق یک تونل انتقال آب تأمین می شود؛ تونلی با قطر ۵/۵ متر، ظرفیت ۸۰ مترمکعب بر ثانیه و طول ۶۰۹۷ متر. این تونل، آب را مستقیماً از دریاچه سد مخزنی کرخه (که در استان خوزستان واقع شده) به کانال اصلی هدایت می کند (شکل ۲).

مجموع مساحت اراضی تحت پوشش آبیاری این کانال برابر با ۴۹۴۵۰ هکتار است. این مقدار شامل ۱۶۴۵۰ هکتار از اراضی دشت عباس و حدود ۳۳۰۰۰ هکتار از اراضی دشت های عین خوش و فکه می باشد. به منظور تأمین آب شبکه آبیاری یادشده، همواره بر اساس نیاز آبی ماهانه، سطح زیر کشت و حجم آب موجود در مخزن سد کرخه، حجم مشخصی از آب تخصیص داده شده و از سد رهاسازی می گردد.

زاویه سازه بر میزان جریان ورودی و رفتار رسوبی اثرگذار است. در حالت بهینه آزمایش، قرارگیری آبشکن با زاویه ۶۰ درجه و فاصله ۲ برابر عرض آبگیر، موجب بهبود جریان ورودی و کاهش ورود رسوب شد.

دریائی و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از مدل عددی FLOW-3D اثر عرض، زاویه و فاصله صفحات مورب نسبت به روزنه را بر الگوی جریان بررسی کردند. نتایج نشان می دهد تغییر آرایش سازه های بالادست می تواند ساختار جریان و توزیع سرعت در محدوده ورودی روزنه را به طور محسوسی تغییر دهد.

صدیقی هرسینی و قبادیان (۱۴۰۳) با مدل دوبعدی SRH-2D نشان دادند که هندسه مسیر و نسبت شعاع قوس به عرض کانال بر توزیع سرعت و رقوم سطح آب در محدوده آبگیر اثرگذار است؛ به ویژه در محور آبگیر، تغییر شعاع قوس موجب تغییر سرعت ورودی جریان می شود.

مرادی نژاد و حسینی (۱۴۰۱) با استفاده از نرم افزار HEC-RAS، جریان و انتقال رسوب رودخانه را با تعریف هندسه مسیر، مقاطع عرضی، شرایط مرزی و مشخصات بستر شبیه سازی کردند. نتایج نشان داد که مدل HEC-RAS می تواند برای تحلیل همزمان شرایط هیدرولیکی و وضعیت فرسایش و رسوب گذاری جریان مورد استفاده قرار گیرد.

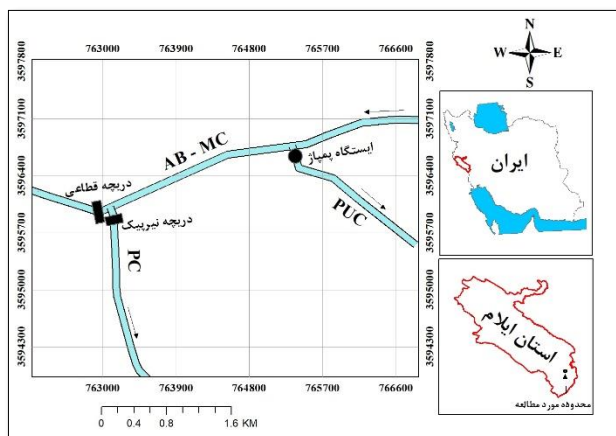
حقی آبی و همکاران (۲۰۲۵) در مدل سازی دوبعدی/هیدرولیکی جریان در محدوده آبگیر، الگوی جریان در یک کانال آبرفتی و آبگیر جانبی با استفاده از مدل عددی FLOW-3D را بررسی کردند؛ نتایج بر تأثیر حضور سازه آبگیر بر توزیع سرعت و ساختار جریان تأکید دارد. امینی و همکاران (۲۰۲۴) با انجام آزمایش های متعدد در فلوم مستطیلی، رفتار آبشستگی اطراف اجزای پایه پل را بررسی و روابطی برای برآورد عمق آبشستگی ارائه کردند. نتایج نشان داد که روابط موجود، به ویژه برای اجزای منفرد پایه، می توانند دارای اختلاف قابل توجهی با مقادیر اندازه گیری شده باشند.

کریم و همکاران (۲۰۲۶) با بررسی هیدرولیک سرریزهای پلکانی نشان دادند که هندسه پله ها بر ویژگی های جریان و میزان استهلاک انرژی اثرگذار است؛ سرریزهای پلکانی با افزایش برهم کنش جریان و سطح سازه، امکان افزایش اتلاف انرژی در مسیر جریان را فراهم می کنند.

• **نخستین محل آبیگری** در کیلومتر ۱+۵۷۸ قرار دارد. در این نقطه، آب توسط یک ایستگاه پمپاژ و با استفاده از ۱۰ دستگاه الکتروپمپ (هر کدام با ظرفیت ۰.۳ مترمکعب بر ثانیه) به ارتفاع ۱۹/۶ متر بالاتر، به درون کانال فرعی PUC تزریق می‌شود. آب از کانال اصلی به وسیله یک دریچه جانبی کشویی به ابعاد $۴/۶ \times ۲$ متر به سمت حوضچه مکش ایستگاه پمپاژ هدایت می‌شود. این دریچه همواره باز است و تنها هنگام تعمیرات یا لایروبی حوضچه مکش بسته می‌شود.

• **دومین محل آبیگری** در کیلومتر ۳+۹۹۲ انجام می‌شود. در این محل، آبیگری از طریق کانال فرعی PC صورت می‌گیرد که در ابتدای آن دریچه‌های نیرپیک نصب شده است.

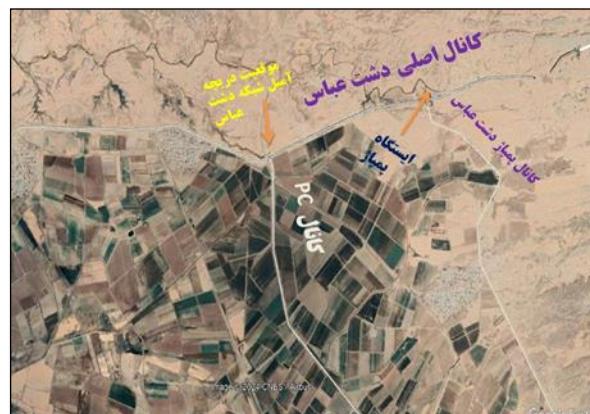
پس از این نقاط، جریان آب در امتداد کانال اصلی ادامه می‌یابد و از دو دریچه از چهار دریچه قطاعی که در کیلومتر ۴+۰۲۷ کانال اصلی قرار دارند عبور می‌کند.



شکل ۳. نقشه کانال‌های اصلی و فرعی بررسی شده در این تحقیق، به همراه موقعیت این کانال‌ها در محدوده استان و کشور

۲-۳. روش مورد استفاده

به صورت کلی در این تحقیق، در طول حدود دو سال و در شرایط مختلف بهره‌برداری، اندازه‌گیری‌های میدانی عمق و دبی جریان انجام گرفته است. سپس به کمک نرم‌افزار HEC-RAS پس از انجام کالیبراسیون و صحت‌سنجی، شبیه‌سازی عددی جریان برای مقادیر مختلف دبی کانال اصلی، دبی آبیگرهای جانبی و شرایط مختلف بازشدگی دریچه‌های قطاعی انتهای کانال اصلی، انجام شده



شکل ۱. موقعیت کانال اصلی آبیاری دشت عباس در مقایسه با ایستگاه پمپاژ، کانال جانبی PC و اراضی کشاورزی پایین‌دست



شکل ۲. موقعیت کلی آبیگر نسبت به کانال اصلی

در این تحقیق، حدود ۵ کیلومتر از طول کانال اصلی مورد استفاده قرار گرفته است. دلیل انتخاب این بازه از کانال و طول ۵ کیلومتر آن به دلیل نیاز به وجود ترکیب دریچه‌های نیرپیک در یک بخش و آبیگر ایستگاه پمپاژ در بخش دیگر و آبیگر اصلی در انتها می‌باشد که محدوده‌ی شامل موارد ذکر شده به همراه در نظر گرفتن مقداری حریم در بالادست و پایین دست طول ۵ کیلومتری مورد نظر را حاصل می‌گردد. مقطع این کانال به شکل دوزنقه، با عمق ۴.۵۴ متر، عرض کف ۸ متر، شیب دیواره‌های جانبی ۱:۱.۵ و شیب طولی ۰.۰۰۱۲ است. در دو نقطه در امتداد این کانال اصلی، آبیگری انجام می‌شود (شکل ۳).

به‌منظور مقایسه شرایط واقعی با داده‌های حاصل از مدل‌سازی، عمق‌های جریان در فواصل ۵۰ متری در طول بازه مورد مطالعه در کانال، اندازه‌گیری شد.

۴-۳. مدل‌سازی

در این تحقیق از نرم‌افزار HEC-RAS (توسعه‌یافته توسط ارتش آمریکا) برای شبیه‌سازی جریان در کانال استفاده شده است. این نرم‌افزار در جریان‌های دائمی شبیه‌سازی یک‌بعدی و در جریان‌های غیردائمی شبیه‌سازی یک‌بعدی و دو بعدی را برای رژیم‌های زیربحرانی، فوق‌بحرانی و مختلط امکان‌پذیر می‌کند. علاوه بر این، قابلیت‌هایی نظیر شبیه‌سازی انتقال رسوب، دینامیک یخ، تحلیل شکست سد و کیفیت آب نیز در آن تعبیه شده است. در این پژوهش، با توجه به شرایط جریان، شبیه‌سازی جریان در کانال اصلی در حالت غیردائمی دو بعدی انجام گرفت. معادلات حاکم بر جریان در مدل غیردائمی دو بعدی به شرح زیر است:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(\gamma_{t,xx} h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(\gamma_{t,xy} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - f_c u = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(\gamma_{t,xy} h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(\gamma_{t,yy} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} \quad (3)$$

در معادلات فوق :

t : زمان

u, v : سرعت در به ترتیب در جهت x و y

g : شتاب گرانش

z_s : تراز سطح آب

$\gamma_{t,xx}, \gamma_{t,yy}$: ضریب ویسکوزیته گردابی در جهت x, y

$\tau_{b,x}, \tau_{b,y}$: تنش برشی کف در جهت x, y

R : شعاع هیدرولیکی

$\tau_{s,x}, \tau_{s,y}$: تنش باد سطحی در جهت x, y

است. بر اساس مدل‌سازی‌های انجام شده تراز سطح آب در کانال اصلی در شرایط مختلف بدست آمد. همچنین جهت بررسی میزان مطابقت مدل شبیه‌سازی با الگوی جریان واقعی از رهاسازی مواد رنگی در جریان آب، استفاده گردید. لازم به ذکر است در مدل‌سازی الگوی جریان بصورت دو بعدی بوسیله مدل HEC-RAS محدودیت‌هایی وجود دارد. اول اینکه این مدل در مدل دو بعدی، سرعت را در عمق، بصورت میانگین در نظر گرفته و عبارت‌های شتاب قائم را نادیده می‌گیرد؛ همچنین مدل در شبیه‌سازی دقیق جریان فوق‌بحرانی، با محدودیت مواجه است. تعداد و جزئیات سازه‌های قابل مدل‌سازی (مانند پل‌ها، دریچه‌ها و سرریزهای داخلی) در محیط دوی بعدی کمتر از مدل یک‌بعدی است و طول سازه‌هایی مانند کالورت‌ها نباید از اندازه سلول‌های مش بیشتر باشد. به علاوه اینکه دستیابی به دقت بالا نیازمند مش‌بندی بسیار ریز است که زمان اجرای مدل را به شدت افزایش می‌دهد.

همچنین فرضیاتی در این مدل در نظر گرفته شده است، از جمله استفاده از معادلات آب‌های کم عمق: مدل فرض می‌کند که طول موج افقی بسیار بزرگ‌تر از عمق آب است و از معادلات سنت و نانت برای حل جریان استفاده می‌کند. همچنین در روش مدل‌سازی پل با منحنی‌های رتبه‌بندی، مدل فرض می‌کند که جریان زیربحرانی است و در صورت وقوع جریان فوق‌بحرانی، پاسخ مدل اشتباه خواهد بود.

۳-۳. برداشت داده در موقعیت فیزیکی منطقه مورد مطالعه:

اندازه‌گیری سرعت جریان در کانال اصلی در کیلومتر ۰+۹۶۹ و با استفاده از دستگاه مولینه (سرعت‌سنج جریان) انجام پذیرفت. به دلیل منشوری بودن مقطع کانال، اندازه‌گیری سرعت از دقت بالایی برخوردار است. با توجه به قابل توجه بودن عمق جریان، برای دستیابی به دقت بیشتر، سرعت در دو عمق ۰.۲ برابر عمق کل (0.2h) و ۰.۸ برابر عمق کل (0.8h) اندازه‌گیری شد. پس از آن، با محاسبه میانگین سرعت در این دو عمق (یعنی $\bar{u} = (u_{0.2h} + u_{0.8h}) / 2$)، مقدار سرعت متوسط در مقطع جریان تعیین گردید. در فرآیند اندازه‌گیری سرعت، همزمان عمق جریان نیز در همان مقطع برداشت شد. در نهایت، با دانستن مساحت سطح مقطع جریان (A) و سرعت متوسط ($\bar{u}$)، دبی جریان از رابطه $Q = \bar{u} \times A$ محاسبه گردید.

h : عمق آب

f_c : پارامتر کوریولیس

p_a : فشار اتمسفر

سمت چپ معادله‌ها شامل عبارت‌های شتاب و سمت راست نشان دهنده نیروهای داخلی یا خارجی وارد بر سیال است. معادلات حرکت را می‌توان به صورت نماد برداری نیز نوشت. مزیت این شکل از معادله این است که فشرده‌تر می‌شود و به راحتی قابل خواندن است، شکل برداری حرکت:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V + f_c k * V = -g \nabla Z_s + \frac{1}{h} \nabla \cdot (\gamma_t h \nabla V) - \frac{\tau_b}{\rho R} + \frac{\tau_s}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \nabla p_a \quad (4)$$

که در اینجا $V = (u, v)^T$ بردار سرعت است، ν تانسور ویسکوزیته گردابی، ∇ گرادیان عملگر است، k بردار واحد در جهت عمودی و τ_s بردار تنش سطحی باد است.

جهت اجرای مدل‌سازی شرایط مختلف میدانی در مدل HEC-RAS تعریف شد. برای مدل‌سازی حوضچه مکش ایستگاه پمپاژ (ورودی کانال فرعی PUC) در HEC-RAS، یک کانال جانبی هم‌اندازه با حوضچه، بلافاصله بعد از دریاچه کشویی لحاظ شد و در انتهای آن (پس از ایستگاه پمپاژ) یک سرریز مرتفع تعریف گردید. جداول پمپ (دبی - ارتفاع) هر یک از پمپ‌ها مطابق جدول (۱) به مدل معرفی گردید.

جدول ۱. جدول پمپ (دبی - ارتفاع) ایستگاه پمپاژ شبکه دشت عباس

ردیف	ارتفاع رانش (متر)	دبی (m^3/s)
۱	10	0.275
۲	15	0.265
۳	19	0.225
۴	20	0.225
۵	25	0.2

در ابتدای کانال فرعی PC که به منظور تأمین آب به روش ثقلی برای حدود ۸۰۰۰ هکتار از اراضی شبکه آبیاری ساخته شده است، تعدادی

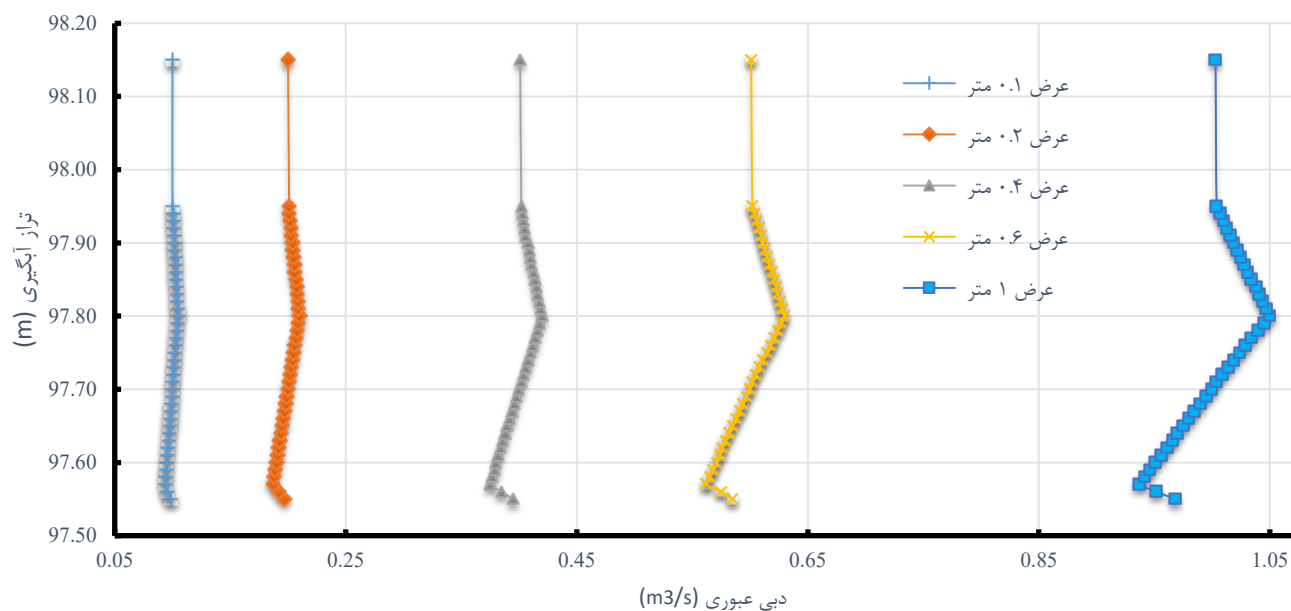
دریاچه نیرپیک کلاس C با عرض کلی ۸ متر نصب گردیده است. این دریاچه‌ها شامل ۶ عدد دریاچه با عرض ۱ متر، دو عدد با عرض ۰.۶ متر، یک عدد با عرض ۰.۴ متر، یک عدد با عرض ۰.۲ متر و دو عدد با عرض ۰.۱ متر می‌باشند. هنگامی که این دریاچه‌ها به طور کامل (۱۰۰ درصد) باز باشند، دبی معادل ۸ مترمکعب بر ثانیه، به اضافه یا منهای ۵ درصد (بر اساس منحنی فرمان موجود)، از آنها عبور می‌کند. هر یک از این دریاچه‌ها با توجه به ابعاد، ساختار و مشخصات فنی خود، منحنی فرمان مخصوص به خود را دارند. منحنی آبگذری دریاچه‌های با عرض ۰.۱، ۰.۲، ۰.۴ و ۰.۶ و ۱ متر که به مدل HEC-RAS معرفی شده‌اند، در شکل (۴) ارائه شده است. تراز کف کانال اصلی در محل دریاچه‌های نیرپیک برابر ۹۵ می‌باشد.

شرایط مرزی شامل دو قسمت مهم و اساسی بالادست بازه مورد مطالعه و پایین‌دست می‌باشد که در این تحقیق هیدروگراف ورودی (دبی‌های ورودی) به عنوان شرط مرزی بالادست (ورودی) و عمق نرمال به عنوان شرط مرزی پایین دست لحاظ گردیده است.

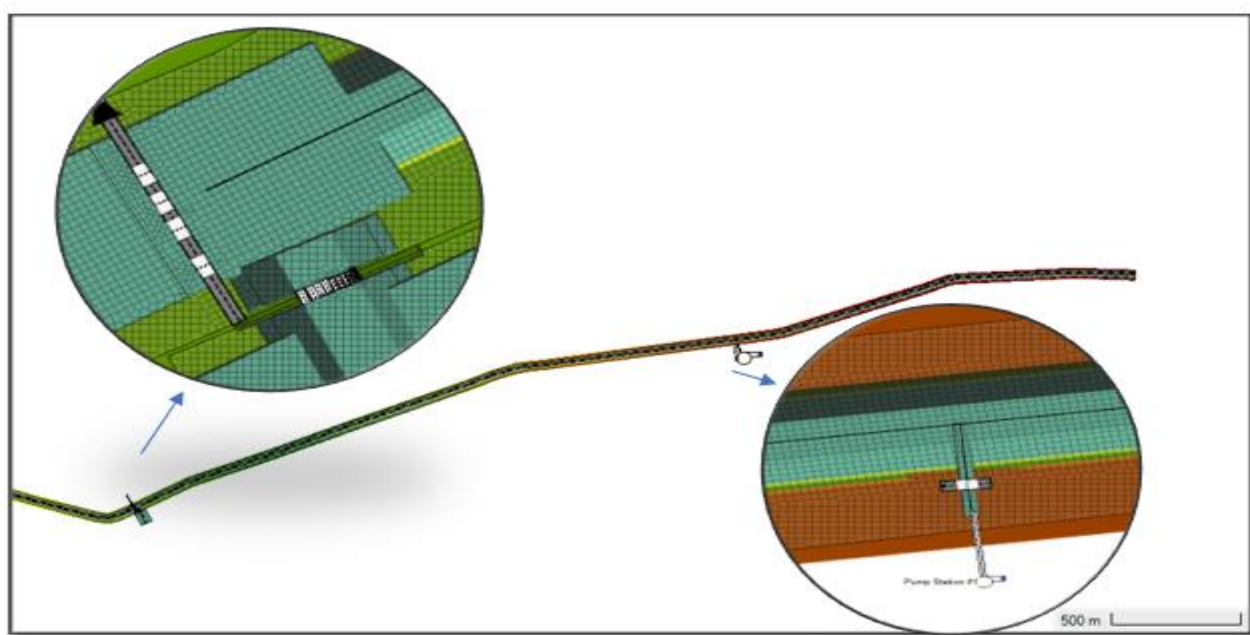
تایم استپ بهینه در نظر گرفته شده ۶ ثانیه و محدوده ۰.۴۵ الی ۱ برای عدد کورانت (عدد پایداری مدل) منظور شده است. برای به دست آوردن پروفیل ارتفاع سطح آب با مدل HEC-RAS، به دو نوع داده نیاز است: داده‌های هندسی (مانند تراز کف کانال، ابعاد و شیب) و داده‌های هیدرولیکی (مانند ضریب زبری مانینگ و دبی جریان). فرآیند مدل‌سازی شامل دو مرحله کالیبراسیون و اعتبارسنجی است. در این مراحل، عمق واقعی جریان که در کانال اندازه‌گیری شده با نتایج مدل مقایسه می‌شود تا از درستی کار مدل اطمینان حاصل گردد. در مرحله کالیبراسیون در نرم‌افزار HEC-RAS، هدف این است که خروجی مدل تا حد ممکن به داده‌های واقعی نزدیک شود تا شبیه‌سازی جریان دقیق‌تر انجام گیرد. این مرحله برای آماده کردن مدل پیش از اعتبارسنجی بسیار مهم است. در اجرای مدل ضریب زبری از ۰.۱۳ تا ۰.۱۵ افزایش داده شد و بهترین خروجی‌های مدل که با داده‌های مشاهداتی تطابق بیشتری را دارا بودند، مربوط به مقدار ۰.۱۵ مانینگ بودند. مقادیر در نظر گرفته شده برای ضریب زبری مقادیر توصیه شده برای کانال‌های بتنی می‌باشد.

در شبیه‌سازی مدل HEC-RAS معادله (۵) برای محاسبه دبی عبوری از دریاچه قطاعی تحت شرایط جریان آزاد در پایین‌دست

(جریان عبوری از دریچه به صورت مستغرق نباشد) به مشابه شکل (۶) می باشد.



شکل ۴. منحنی های آبگذری دریچه نیروپیک با عرض ۰.۱، ۰.۲، ۰.۴، ۰.۶ و ۱ متر



شکل ۵. مدل دو بعدی کانال های اصلی و فرعی دشت عباس در HEC-RAS

مدل و داده‌های میدانی بر اساس شاخص‌های خطای میانگین مطلق، (MAE) و میانگین درصد مطلق خطا، ($MAPE$) به دست آید. جهت ارزیابی میزان دقت مدل‌سازی همچنین از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی ($RMSRE$) که روابط آن در ادامه آمده است، نیز استفاده گردید. لازم به ذکر است تعداد داده‌های مورد استفاده در کالیبراسیون و صحت‌سنجی به ترتیب ۱۰ و ۱۹ مورد می‌باشد.

میانگین خطای مطلق (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^n |y_s - y_m| \quad (6)$$

میانگین درصد مطلق خطا ($MAPE$)

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n \left| \frac{y_s - y_m}{y_m} \right| * 100 \quad (7)$$

ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^n (y_s - y_m)^2} \quad (8)$$

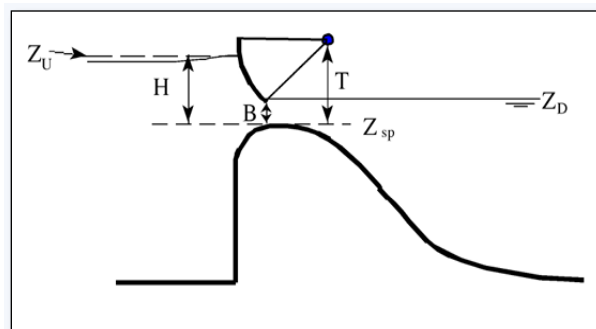
ریشه میانگین مربعات خطای نسبی ($RMSRE$)

$$RMSRE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^n \left(\frac{y_s - y_m}{y_m} \right)^2} \quad (9)$$

که در این رابطه‌ها y_s مقادیر شبیه‌سازی و y_m مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشند. مقادیر صفر شاخص‌های فوق نشان دهنده برازش کامل است شاخص‌های آماری فوق ارزیابی مدل را به طور کلی ارائه می‌کنند و یک روش منطقی برای مقایسه مدل‌ها هستند، این شاخص‌ها به طور عینی نشان می‌دهند که آیا برآوردهای مدل از نظر آماری به شکل معنی داری وجود دارد یا خیر. در این مطالعه سعی می‌گردد برای بررسی نتایج مدل عددی با نتایج میدانی، عمق و سرعت متوسط جریان در طول کانال اصلی اندازه‌گیری شوند. همچنین جهت بررسی میزان موفقیت مدل در شبیه‌سازی از شاخص نش (NSE) نیز استفاده گردید.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (y_0^t - y_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (y_0^t - \bar{y}_0)^2} \quad (10)$$

که در آن $\bar{y}_0$ میانگین عمق‌های اندازه‌گیری شده، y_m^t عمق شبیه‌سازی شده در زمان t و y_0^t عمق اندازه‌گیری شده در زمان t



شکل ۶. شکل شماتیک دبی عبوری از دریچه قطاعی تحت جریان آزاد

$$Q = C \sqrt{2g} W E^{TE} B^{BE} H^{HE} \quad (5)$$

HE: توان ارتفاع در فرمول (۵) معمولاً حدوداً ۰.۶۲ (پیش فرض ۰.۰۵)

C: ضریب دبی (معمولاً از ۰.۶ تا ۰.۸ متغیر است)

W: عرض دریچه قطاعی

T: ارتفاع دوران (از تاج سرریز تا نقطه چرخش)

B: ارتفاع گشودگی دریچه قطاعی

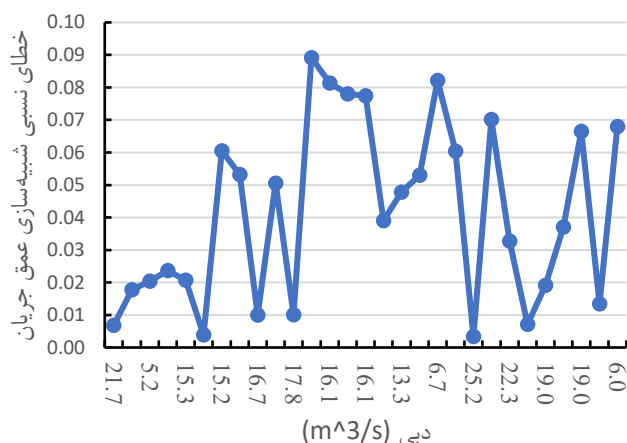
BE: توان گشودگی دریچه، معمولاً حدوداً ۰.۷۲ در نظر گرفته می‌شود (پیش فرض ۱)

H: ارتفاع آب بالادست دریچه تا تاج سرریز

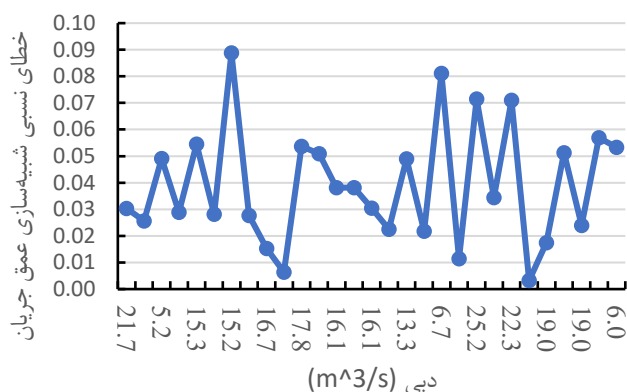
هرچه شبکه محاسباتی یا ابعاد سلولهای محاسباتی بزرگتر باشد قطعاً در مدل‌سازی انجام شده، خروجی مدل دارای دقت پایین‌تری می‌باشد و حتی ممکن است مدل اجرا نشود و هرچه ابعاد سلولهای محاسباتی کوچکتر یا مش‌بندی ریزتر باشد، مدل‌سازی دارای دقت بالاتر و زمان اجرا هم بیشتر می‌باشد. لذا جهت اجرای مدل ابعاد شبکه مش‌بندی یا سلولهای محاسباتی برای مقادیر متفاوت اجرا و در نهایت ابعاد بهینه یک متر در یک متر برای شبکه مش‌بندی در نظر گرفته شد، که حاصل آن تعداد سلولهای مدل‌سازی برابر با ۱۶۷۵۶۱ عدد می‌باشد.

کالیبراسیون با مقایسه تراز آب شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده انجام شد. بدین منظور، ضریب مانینگ و ضرایب دریچه قطاعی به طور تدریجی و سیستماتیک تنظیم گردیدند تا بهترین تطابق بین

جریان در کانال با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و داده‌های میدانی را ارائه می‌دهد. در این نمودارها، شاخص خطای نسبی نمایش داده شده‌اند. این امر امکان ارزیابی جامع عملکرد مدل را فراهم آورده است.



شکل ۷. خطای نسبی شبیه‌سازی عمق جریان در ورودی کانال اصلی در دبی‌های مختلف در مدل دو بعدی



شکل ۸. خطای نسبی شبیه‌سازی عمق جریان در دبی‌های مختلف در مدل عددی دو بعدی در کانال اصلی در مجاورت دریاچه‌های نی‌ریپک

مدل HEC-RAS، که با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی کالیبره و اعتبارسنجی شده است، توانست عمق جریان را در سناریوهای عملیاتی متنوع با دقت شبیه‌سازی کند. با بهره‌گیری از اطلاعات بدست آمده از شبیه‌سازی‌های انجام شده به کمک نرم‌افزار HEC-RAS و مقایسه با اندازه‌گیری ۲۹ مورد، عمق جریان در دو مقطع مهم ورودی و انتهای کانال (محل دریاچه قطاعی) با دبی‌های

می‌باشد. که در این مدل‌سازی مقادیر پس از دایمی شدن جریان و همگرا شدن مدل در نظر گرفته شده است.

جدول ۲. ضرایب نهایی تعدادی از پارامترهای مدل دو بعدی پس از انجام

کالیبراسیون

ردیف	پارامتر	مقدار در مدل
1	n ضریب مانینگ	0.015
2	C ضریب دبی	0.74
3	TE توان ارتفاع دوران در فرمول ۵	0.05
4	BE توان گشودگی دریچه در فرمول ۵	0.71
5	HE توان ارتفاع در فرمول ۵	0.51

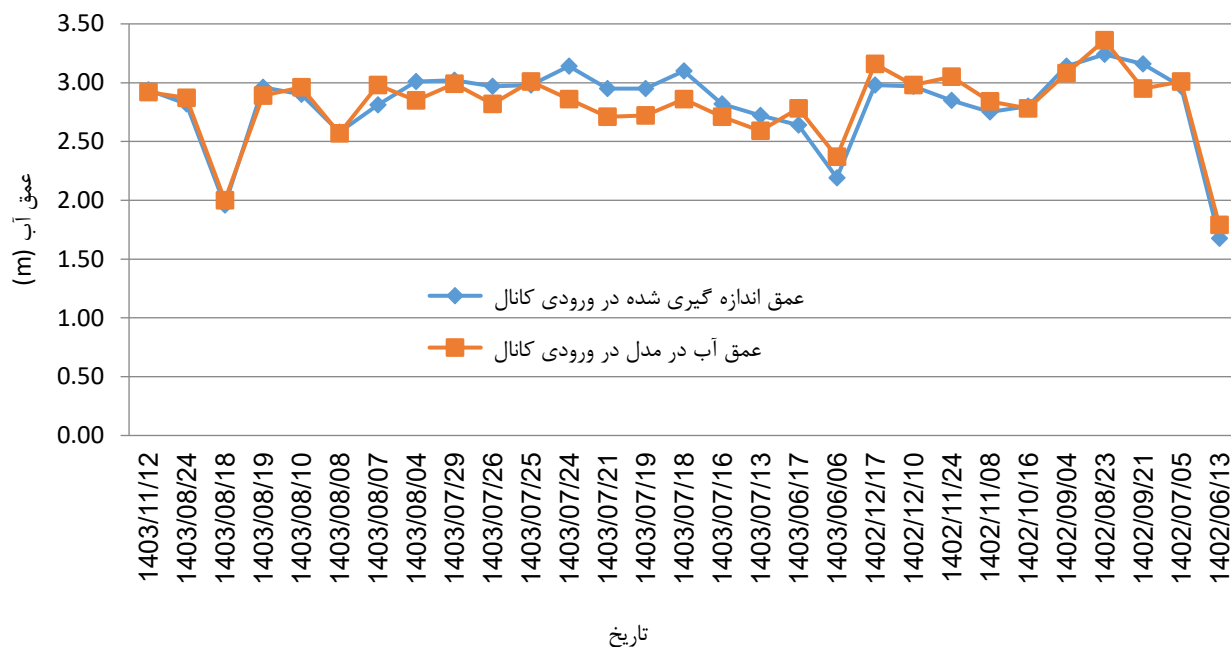
برای بررسی میزان مطابقت الگوی جریان واقعی با مدل شبیه‌سازی‌شده، در نقاط حساس و دارای پیچیدگی جریان همچون انتهای کانال و محل دریاچه‌های قطاعی و نی‌ریپک، از تزریق مواد رنگی استفاده گردید. (جهت حفظ مسائل زیست محیطی ماده رنگی استفاده شده از نوع ماده رنگی خوراکی و بدون ضرر می‌باشد.) مقدار دبی تزریق‌شده به داخل کانال بر اساس دبی مشخص و به این روش انجام شد که با توجه به تعداد پمپ‌های روشن و مقدار دبی آبیگری کانال‌های فرعی، اشل نصب‌شده در کانال قرائت شده و با استفاده از جدول دبی-اشل، مقدار دبی تعیین گردید. البته در چندین نوبت، برای بررسی صحت دبی کانال، اندازه‌گیری دبی با استفاده از مولینه نیز انجام شده است. ماده رنگی در فاصله حدوداً ۱۵ متری بالادست آبیگر اصلی به کانال تزریق شد. جهت بررسی حرکت ماده رنگی در کانال با استفاده از کوادکوپتر مجهز به دوربین، فیلمبرداری و عکسبرداری انجام گردید.

۴. یافته‌های پژوهش

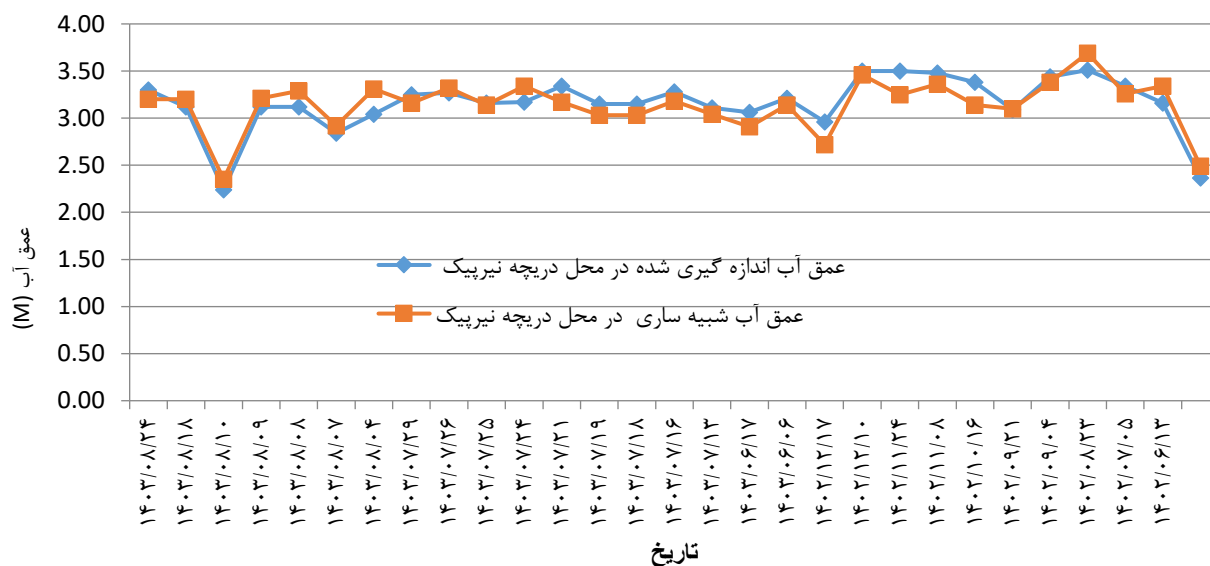
در تحقیق حاضر پس از ۲۹ مورد اندازه‌گیری میدانی، با استفاده از مدل HEC-RAS شبیه‌سازی جریان انجام شد. نمودارهای (۷) و (۸) نتایج به‌دست آمده از مقایسه‌ی بین نتایج شبیه‌سازی عمق

مختلف و شرایط مختلف گشودگی دریچه نمودارهای (۹) و (۱۰)

رسم گردید.

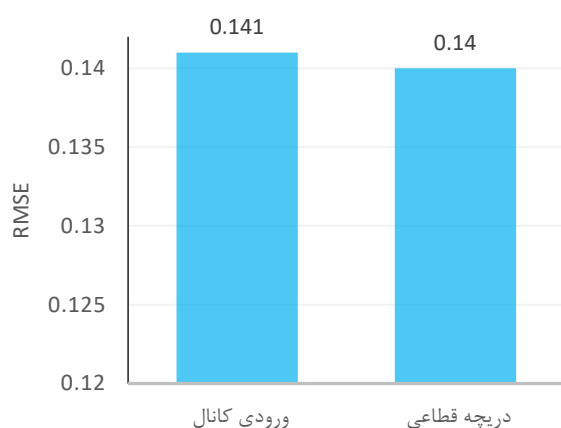


شکل ۹. مقایسه عمق آب شبیه‌سازی شده و مقدار اندازه‌گیری شده در ورودی به کانال اصلی



شکل ۱۰. مقایسه عمق آب شبیه‌سازی شده و مقدار اندازه‌گیری شده در محل دریچه قطاعی

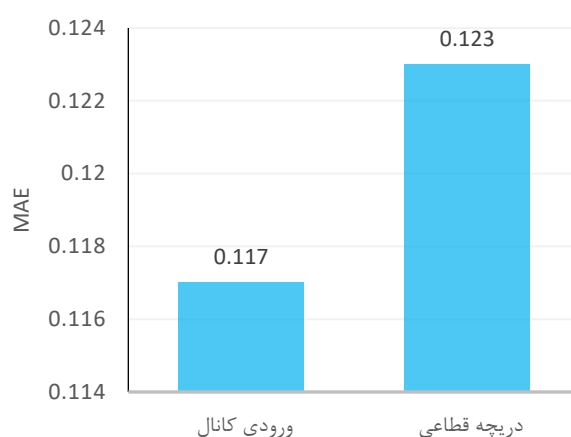
همانطور که نمودارها نشان می‌دهد، حداکثر مقدار MAE مربوط به محل دریاچه قطاعی با عدد ۰.۱۲۳ متر، حداکثر مقدار MAPE با عدد ۴.۱۴۹ درصد مربوط به ورودی کانال، حداکثر مقدار RMSE با رقم ۰.۱۴۱ متر مربوط به ورودی کانال و حداکثر مقدار RMSRE با رقم ۰.۰۰۵ نیز مربوط به ورودی کانال می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد مدل‌سازی انجام شده دارای دقت قابل قبولی می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد، از شاخص‌های ۴ گانه مورد بررسی در ۳ مورد دریاچه قطاعی دارای مقدار خطای کمتری بوده و می‌توان گفت، مدل HEC-RAS در شبیه‌سازی محل دریاچه قطاعی نسبت به ورودی کانال دارای دقت بالاتری می‌باشد. همچنین برای نمونه الگوی شبیه‌سازی شده‌ی جریان در ایستگاه پمپاژ در شکل (۱۵) آمده است. همچنین مقدار شاخص نش (NSE) محاسبه شده برای مدل‌سازی عمق جریان در دریاچه قطاعی عدد ۰.۷۶ و برای ورودی کانال برابر با ۰.۸۳ محاسبه گردید، که نشان از دقت قابل قبول مدل‌سازی دارد.



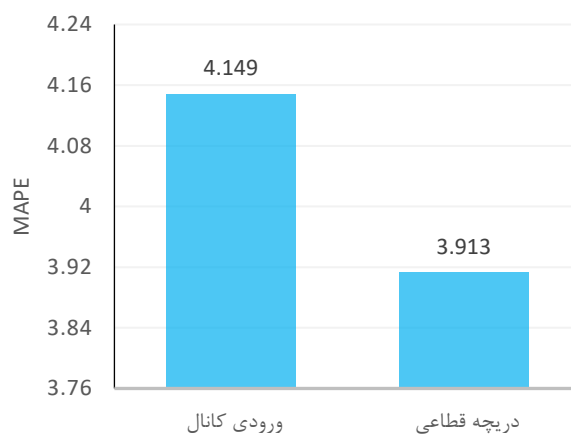
شکل ۱۳. مقدار RMSE عمق جریان در محل دریاچه قطاعی و ورودی کانال در شبیه‌سازی با واقعیت

۵. بحث

پس از اینکه مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی کالیبره و صحت‌سنجی گردید، شاخص‌های شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ جهت بررسی خطا در مقایسه با اندازه‌گیری میدانی بکار برده شد. در ادامه برای اطمینان از صحت عملکرد مدل HEC-RAS در شبیه‌سازی عمق جریان، دقت مدل در شرایط مختلف دبی با استفاده از شاخص‌های بیان شده در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در نمودارهای (۱۱) تا (۱۴) آمده است.



شکل ۱۱. مقدار MAE عمق جریان در محل دریاچه قطاعی و ورودی کانال در شبیه‌سازی با واقعیت



شکل ۱۲. مقدار MAPE عمق جریان در دریاچه قطاعی و ورودی کانال در شبیه‌سازی با واقعیت

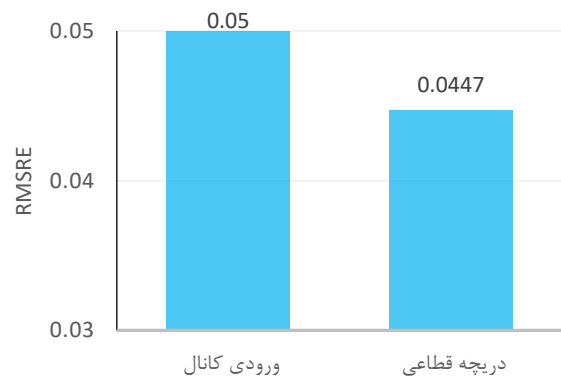
این نتایج می‌توان گفت معمولاً تشکیل گردابه در نزدیکی آبگیرها اتفاق می‌افتد. البته با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت که پس از برخورد جریان با دیواره بتنی آبگیر و مکش جریان از سمت کانال جانبی (PC) گردابه‌هایی در نزدیکی دیواره‌های بتنی و آبگیر جانبی ایجاد می‌گردد که این موضوع در عکس شماره (۱۹) قابل مشاهده است و با توجه به اینکه محل آبگیر جانبی حدوداً ۷ متر از لحاظ طولی بالاتر از محل نصب دریچه‌های قطاعی می‌باشد لذا جریان پس از رسیدن به محل دریچه‌های قطاعی با یک چرخش حدوداً ۱۳۵ درجه‌ای به سمت آبگیر جانبی (دریچه‌های نی‌ریپیک) با سرعت بیشتری نسبت به سرعت در بقیه نقاط گردابه به سمت دریچه نی‌ریپیک حرکت می‌کند و قسمتی از جریان (به میزان مورد نیاز پایین دست) وارد آبگیر مذکور می‌شود و مابقی به شکل گردابه مجدداً به سمت کانال اصلی چرخش می‌کند و این سیکل ادامه دار بوده و در مقاطع زمانی مختلف با توجه به دبی ورودی به کانال اصلی و میزان برداشت از کانال جانبی ممکن است شدت و محل گردابه‌ها تغییراتی داشته باشد.



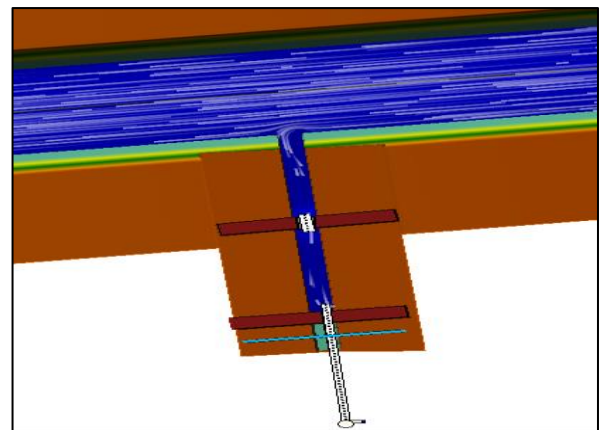
شکل ۱۶. تزریق ماده رنگی به جریان آب جهت بررسی حرکت جریان - بالادست آبگیر در مرحله ابتدایی



شکل ۱۷. تزریق ماده رنگی به جریان آب جهت بررسی حرکت جریان - بالادست آبگیر در مرحله بعدی



شکل ۱۴. مقدار RMSRE عمق جریان در محل دریچه قطاعی و ورودی کانال در شبیه‌سازی با واقعیت



شکل ۱۵. الگوی جریان در ایستگاه پمپاژ در مدل شبیه‌سازی شده

همانگونه که قبلاً هم بیان شد، پس از کالیبراسیون مدل و صحت‌سنجی آن جهت بررسی الگوی جریان در نقاط حساس و دارای پیچیدگی جریان همچون انتهای کانال و محل دریچه‌های قطاعی و نی‌ریپیک، از تزریق ماده رنگی استفاده شد. شکل‌های (۱۶) الی (۱۹) که با استفاده از کوادکوپتر مجهز به دوربین برداشت شده‌اند، نحوه تزریق ماده رنگی و نیز الگوهای جریان شکل گرفته را نشان می‌دهند. ماده رنگی در فاصله حدوداً ۱۵ متری بالادست آبگیر اصلی به کانال تزریق شد.

تصاویر مربوط به جریان در محل و جریان در مدل در محل آبگیرها در شکل (۱۹) آمده است. همانطور که در عکس مشاهده می‌شود الگوی دوبعدی جریان مطابقت بسیار خوبی با واقعیت دارد و طبق

این مقایسه نشان می‌دهد که در وضعیت فعلی باز بودن دریچه‌ها، جریان در یک سمت حوضچه متمرکز شده و بخش بزرگی از حوضچه به یک منطقه مرده (Dead Zone) تبدیل شده است. این مناطق مرده معمولاً مستعد رسوب‌گذاری زیاد هستند، چرا که جریان در آنجا قدرت و سرعت کافی برای انتقال رسوبات را ندارد. در ادامه اثر مقادیر متفاوت ضریب ویسکوزیته گردابی در جهت x,y و ضریب اسمآگورینسکی بر الگوی جریان بررسی گردید.

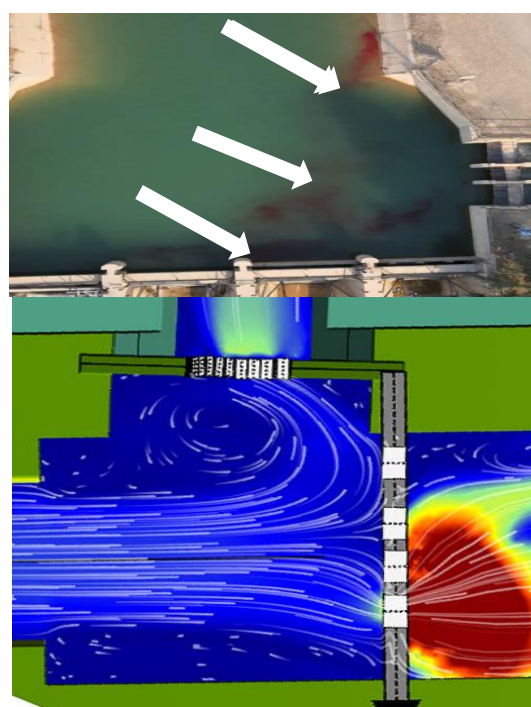
جدول ۳. مقادیر مختلف ضرایب ویسکوزیته گردابی در جهت x,y و ضریب اسمآگورینسکی در شبیه‌سازی‌ها

smagorinsky			Tranverse mixing			Longitudinal mixing			نام ضریب
$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	مقدار

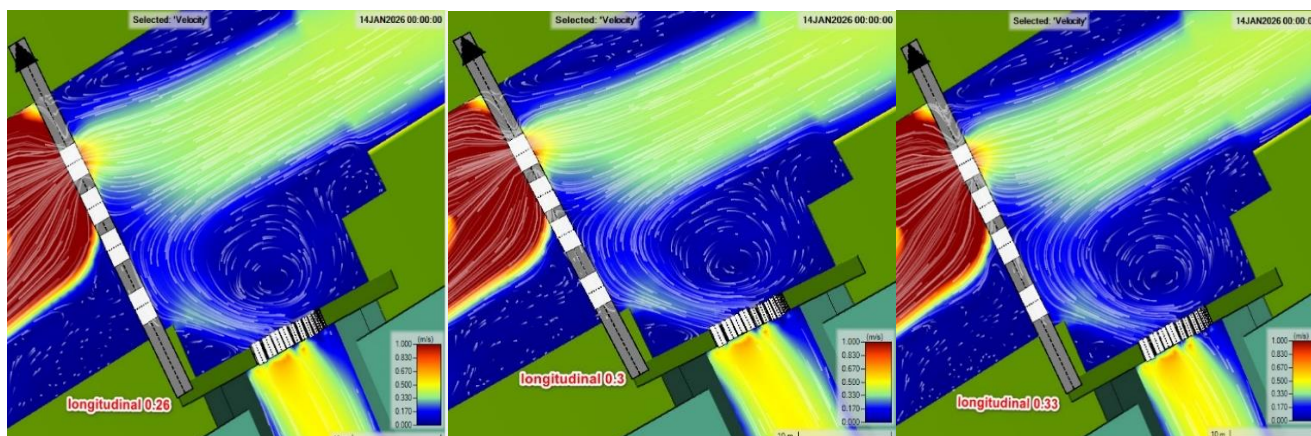
مقادیر ضرایب ویسکوزیته گردابی در جهت x,y و ضریب اسمآگورینسکی در شبیه‌سازی‌ها مطابق جدول (۳) به میزان ده درصد نسبت به حالت پیش فرض کاهش و افزایش داده شد که جمعاً ۱۸ حالت ممکن آزمایش انجام شد. سپس الگوی جریان در همه این حالت‌ها (پیش فرض، ده درصد افزایش و ده درصد کاهش) در اطراف دریچه‌های نیروپیک و ورودی ایستگاه پمپاژ با هم مقایسه گردید و طبق بررسی دقیق انجام شده، تفاوت محسوسی بین الگوی جریان در این حالت‌ها وجود نداشت، برای نمونه سه حالت از الگوی جریان در اطراف دریچه‌های نیروپیک و سه حالت در ورودی ایستگاه پمپاژ در شکل‌های (۲۰) و (۲۱) آورده شده است.



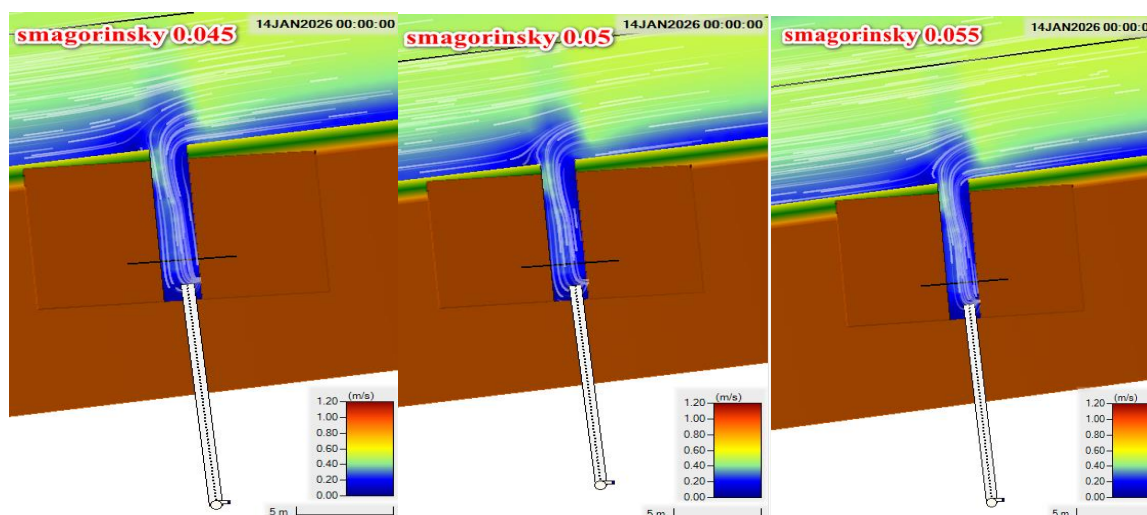
شکل ۱۸. تزریق ماده رنگی به جریان آب جهت بررسی حرکت جریان - کنار دریچه نیروپیک



شکل ۱۹. مشخص نمودن مسیر حرکت آب بر اساس ماده رنگی الگوی جریان در محل (تصویر بالا) و الگوی جریان در مدل (تصویر پایین)



شکل ۲۰. الگوی جریان شبیه‌سازی شده و رنگی شده با مقدار سرعت برای مقدار مختلف ضریب اختلاط طولی در محل آگیری دریچه نیرپیک



شکل ۲۱. الگوی جریان شبیه‌سازی شده و رنگی شده با مقدار سرعت برای مقادیر مختلف ضریب اسماغورینسکی در محل آگیری ایستگاه پمپاژ

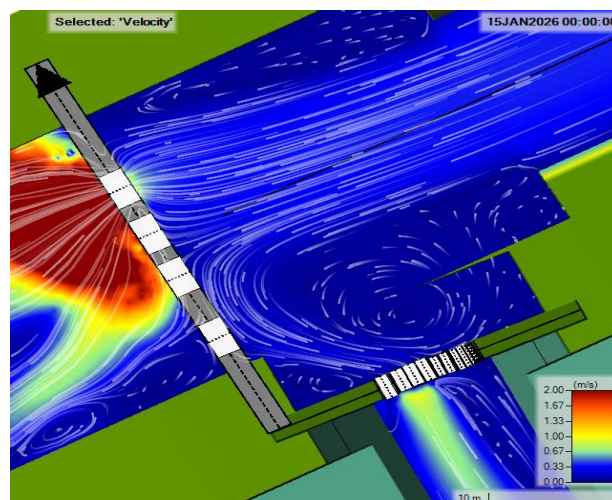
دیواره پایین دست آن رخ می دهد و مقدار این ضریب بر الگوی جریان در ورودی ابگیر ایستگاه پمپاژ اندک تاثیری دارد. در ادامه الگوی جریان در شرایط مختلف مدل سازی گردید. از شرایط مختلف شبیه سازی، برای نمونه الگوی جریان دو مورد از شبیه سازی انجام شده در محل آگیری دریچه های نیرپیک برای دبی های ۱.۹ و ۷ متر مکعب در ثانیه، در شکل های (۲۲) و (۲۳) آمده است. همانطور که در این شکل ها به وضوح دیده می شود ابعاد گردابه در این محدوده تحت تاثیر دبی عبوری از دریچه های نیرپیک است.

همانگونه که از تصاویر شکل (۲۰) مشخص است، در الگوی شکل گرفته در هر سه مقدار ضریب اختلاط طولی، سرعت جریان در مسیر اصلی کانال حدود ۰.۳۳ متر بر ثانیه و در نزدیکی دریچه نیرپیک، ضمن تشکیل گردابه، حدود ۰.۲ متر بر ثانیه می باشد. همین مقدار سرعت در کناره های کانال اصلی نیز مشخص می باشد.

الگوی جریان شبیه سازی شده و رنگی شده با مقدار سرعت برای مقادیر مختلف ضریب اسماغورینسکی در محل آگیری ایستگاه پمپاژ شکل (۲۱) به خوبی نشان می دهند که کمترین مقدار سرعت علاوه بر نزدیکی دیواره های کانال اصلی، در ابگیر ایستگاه پمپاژ بجز

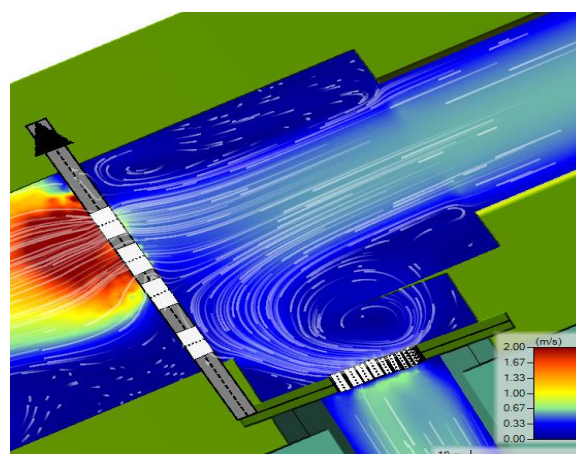
همانطور که در شکل های ۲۵ و ۲۴ و مطابق با رنگ بندی سرعت دیده می‌شود سرعت جریان در دیواره ساحل راست کانال پمپاژ حدودت ۰.۶ متر بر ثانیه بوده و سرعت بیشتر از سرعت جریان در ساحل راست کانال مکش (حداکثر ۰.۳ متر بر ثانیه) ایستگاه پمپاژ می‌باشد (شکل ۲۴) که این موضوع ناشی از مکش ایستگاه پمپاژ و میزان دبی ورودی به کانال مکش می‌باشد، ضمناً ذکر این نکته ضروری می‌باشد که نتایج همه شبیه‌سازی‌های عددی نشان دهنده این می‌باشد که سرعت جریان در کانال جانبی ورودی به ایستگاه پمپاژ در دیواره ساحل راست حداقل دوبرابر دیواره ساحل چپ می‌باشد که ناشی از انحنای جریان برای ورود به کانال مکش می‌باشد.

همچنین الگوی جریان شبیه‌سازی شده برای حالت‌های مختلف باز بودن دریچه‌های نیرپیک در شکل (۲۶) آمده است. همانطوری که در شکل دیده می‌شود تفاوت‌هایی در الگوی جریان اطراف دریچه‌های نیرپیک وجود دارد که ناشی از محل قرارگیری دریچه‌ها ی نیرپیک باز دانست. محل قرارگیری دریچه نیرپیک باز نسبت به جریان اصلی تاثیر زیادی در الگوی جریان دارد بنحوی که تغییر آن می‌تواند الگوی ناحیه گردابی حوالی دریچه‌های نیرپیک را متاثر نماید. یک ناحیه گردابه ایی در بالا دست دریچه‌های نیرپیک و یک ناحیه گردابه ایی دیگر در پایین دست آنها، یک ناحیه گردابه ایی بزرگتر در نزدیکی دریچه‌های نیرپیک و یک ناحیه گردابه ایی در کنار دیواره کانال اصلی در مقابل دریچه نیرپیک همواره ایجاد شده است که می‌توان علت رسوب‌گذاری در این نواحی را این گردابه‌ها دانست.

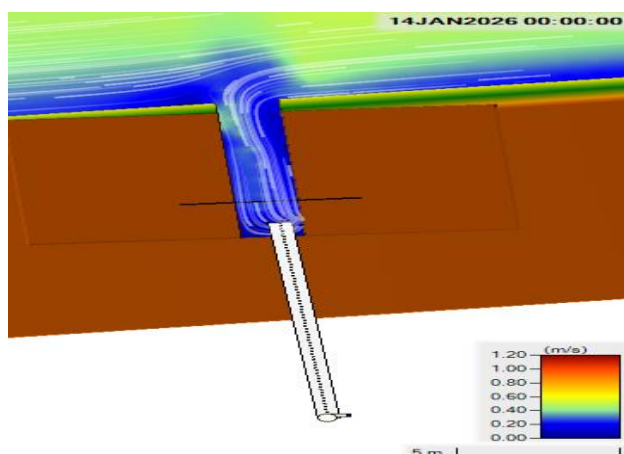


شکل ۲۲. الگوی جریان شبیه‌سازی شده و رنگی شده با مقدار سرعت برای دبی آگیری ۱.۹ متر مکعب در ثانیه در محل آگیری دریچه نیرپیک

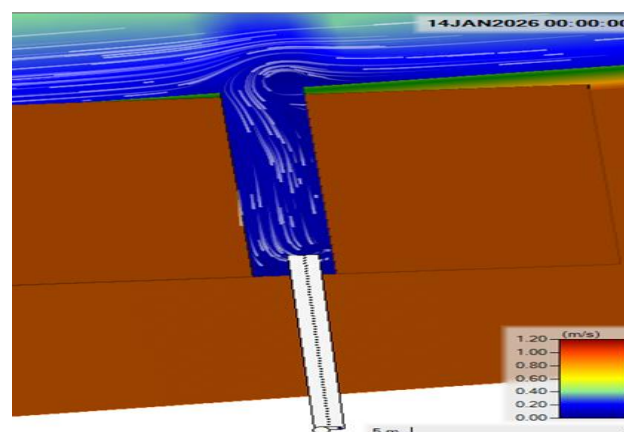
الگوی جریان شبیه‌سازی شده در محل آگیری ایستگاه پمپاژ برای دبی‌های پمپاژ ۰.۳ متر مکعب در ثانیه (یک پمپ) و ۵.۱ متر مکعب در ثانیه (۵ پمپ) به ترتیب در شکل (۲۴) و (۲۵) آمده است. در این شکلها بر اساس مقدار سرعت، شکل رنگ بندی شده است. الگوی جریان در این دو شکل تحت تاثیر میزان دبی ایستگاه پمپاژ می‌باشد بنحوی که هر چه میزان دبی بیشتر باشد انحنای خطوط جریان در دیوار بالاست کانال جانبی ایستگاه پمپاژ کمتر می‌باشد و در دبی‌های پایین‌تر انحنای خطوط جریان بیشتر و گردابه مشخص‌تر است که ناشی از سرعت جریان و مکش ایستگاه پمپاژ است.



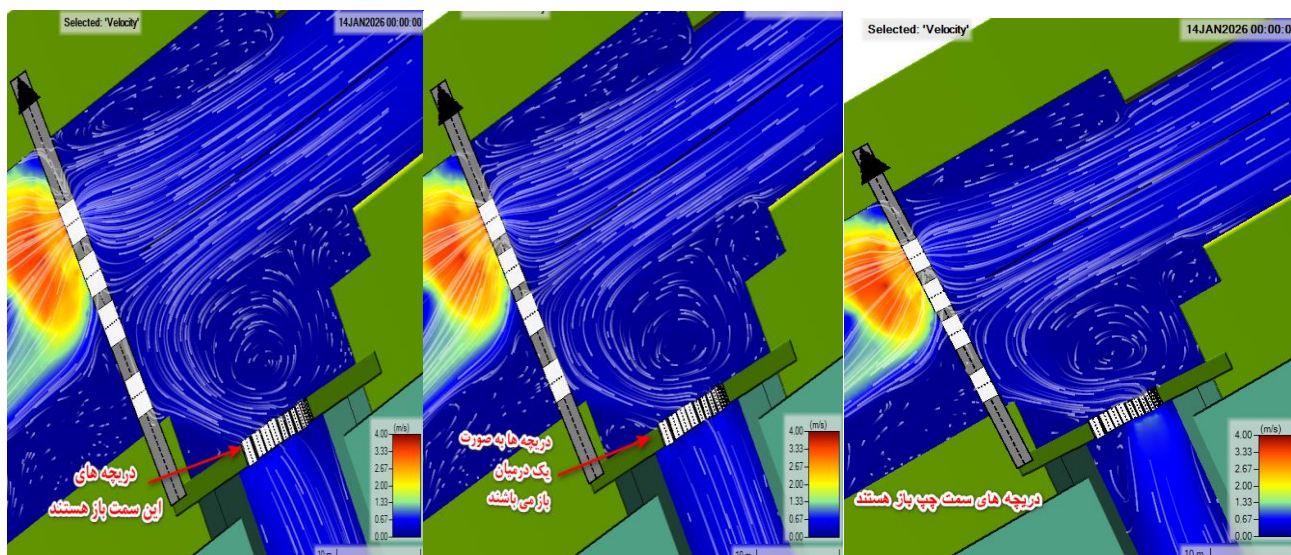
شکل ۲۳. الگوی جریان شبیه‌سازی شده برای دبی آگیری ۷ متر مکعب در ثانیه در محل آگیری دریچه نیرپیک



شکل ۲۵. الگوی جریان شبیه‌سازی شده برای دبی پمپاژ ۱.۵ متر مکعب در ثانیه در محل آبرگیری ایستگاه پمپاژ



شکل ۲۴. الگوی جریان شبیه‌سازی شده برای دبی پمپاژ ۰.۳ متر مکعب در ثانیه در محل آبرگیری ایستگاه پمپاژ



شکل ۲۶. الگوی جریان شبیه‌سازی شده برای حالت‌های مختلف باز بودن دریچه‌های نیروپیک

حاضر الگوی جریان در محدوده آبرگیرهای جانبی دارای دقت قابل قبولی است.

۶. نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه حاضر، شبیه‌سازی الگوی جریان دوبعدی در پلان در محدوده دریچه‌های نیروپیک و ایستگاه پمپاژ مستقر در

در مقایسه نتایج بدست آمده در این تحقیق با مطالعات پیشین، می‌توان گفت نتایج تأیید کننده مطالعات پیشین است از جمله نتایج مطالعه الجاز و همکاران (۲۰۲۵) در توسعه مدل هیدرودینامیکی شبکه کانال آبیاری با استفاده از HEC-RAS در بخش کانال لیه، پاکستان، که مدل دبی عبوری از آبرگیرهای جانبی و خروجی‌ها را با دقت قابل توجهی محاسبه کرده بود، در این مطالعه نیز همانطور که بیان شد، نتایج به همین صورت است با این تفاوت که در مطالعه

[۴] بای م وهمکاران. بررسی قابلیت مدل دو بعدی HEC-RAS در تهیه نقشه خطر سیلاب در رودخانه قره چای رامیان استان گلستان، نشریه علمی جغرافیا و مخاطرات طبیعی، مشهد، ۱۴۰۲.

[۵] بیرانوند، پویا، وثوقی‌فر، حمیدرضا، خورانی، میلاد. و حیدری شورشجانی، حمزه. (۱۴۰۴). ارزیابی الگوی فرسایش موضعی پیرامون پایه پل و تعیین بهینه‌ترین محل استقرار پایه در قوس ۱۸۰ درجه با استفاده از روش آزمایشگاهی و مدل حجم محدود. مدل‌سازی پیشرفته در مهندسی عمران، ۲(۱)، ۹۵-۱۱۱. DOI: ۲۰۲۵.۱۱۳۸۳.۱۰۳۱/amcen.۱۰.۲۲۱۲۶

[۶] دریائی، مهدی. نادری، ثریا. کاشفی‌پور، سید محمود. و نجفی، نیما. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات الگوی جریان ناشی از نصب صفحات مورب در بالادست دریاچه تخلیه‌کننده تحتانی با استفاده از شبیه‌سازی عددی. فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۳(۳).

[۷] رستمی، ر. و رهنما، م. تعیین و بررسی تداوم اعتبار روابط دبی-اشل در رودخانه سیمینه رود، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، ۱۳۸۳.

[۸] صدیقی هرسینی حدیثه. و قبادیان، رسول. (۱۴۰۳). بررسی هیدرولیک جریان در قوس‌های ۱۸۰ درجه از تند تا ملایم همراه با آبگیر جانبی با مدل SRH-2D. فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۳(۴)، ۹۹. DOI: 10.22126/atwe.2024.10860.1132.

[۹] غفورمغربی، م.، حیدربگی، ع. بررسی تحلیلی روابط دبی-اشل در کانال‌های مرکب با زبری‌های غیر یکنواخت (یادداشت پژوهشی). مهندسی عمران (دانشکده مهندسی)، ۲۱(۱)، ۱۳۸۸.

[۱۰] قنبری، حدیث. مامی‌زاده، جعفر. و ولی‌زاده، مجید. (۱۴۰۳). بررسی الگوی زمانی بسته شدن و نوع شیر بر پدیده ضربه قوچ در خطوط انتقال آب. مدل‌سازی پیشرفته در مهندسی عمران، ۱(۱)، ۱۲۲-۱۳۲. DOI: ۲۰۲۴.۳۲۹۱/amcen.۱۰.۲۲۱۲۶

[۱۱] کاهه، م. و پوررضا بیلندی، م. و شفافی بجستان، م. ارزیابی روابط مقاومت جریان در تعیین روابط دبی - اشل در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز. ۱۳۸۵.

[۱۲] مرادی‌نژاد امیر، و حسینی، سیداحمد. ۱۴۰۱. (برآورد دقت روابط انتقال دبی رسوب رودخانه خنداب، ایستگاه جوشیروان با استفاده از مدل HEC-RAS محیط زیست و مهندسی آب، ۸(۱). DOI: ۲۰۲۱.۲۹۲۰۱۶.۱۵۸۷/JEWE.۱۰.۲۲۰۳۴

[۱۳] محمدی، کامران. (۱۴۰۴). بررسی تفصیلی تکنیک‌های تحلیلی محاسبه پروفیل پس‌زدگی آب با استفاده از مدل کدنویسی Mathematica و

کانال اصلی دشت عباس با استفاده از مدل دو بعدی HEC-RAS می‌باشد.

شاخص‌های خطای میانگین مطلق، (MAE) و میانگین درصد مطلق خطا، ($MAPE$)، میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی ($RMSRE$) برای ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی تراز آب استفاده شد. دقت شبیه‌سازی مدل دو بعدی در شبیه‌سازی تراز سطح آب در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری مناسب بود. نتایج نشان می‌دهد که در ۳ مورد در محل دریاچه ققائو شاخص‌های $MAPE$ ، $RMSE$ و $RMSRE$ به ترتیب برابر با مقادیر ۰.۱۴٪، ۰.۰۴۵ متر و ۰.۰۴۵ است و دارای مقدار خطای کمتری بوده و می‌توان گفت، مدل HEC-RAS در شبیه‌سازی تراز سطح آب در محل دریاچه ققاعی نسبت به ورودی کانال دارای دقت بالاتری می‌باشد. ۴

بررسی الگوی جریان و نتایج حاصل از مدل عددی دو بعدی با مسیر حرکتی جریان با افزودن ماده رنگی نشان داد که الگوی جریان در مدل با واقعیت مشابه است. با استفاده از نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان گفت که در نزدیک آبگیرها و یا ایستگاه‌ها پمپاژ گردابه‌هایی که تشکیل شود که متاثر از میزان دبی‌های انحرافی است. در ورودی جریان به ایستگاه‌های پمپاژ، ابعاد و محل گردابه اطراف دیواره بالا دست تحت تاثیر دبی پمپاژ است.

منابع

- [۱] احمدی، آ. و کاووسی زاده، ا. و فغفور مغربی، م. تخمین منحنی دبی-اشل با استفاده از مفهوم کنترهای هم سرعت در رودخانه‌های طبیعی، شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، اردبیل. ۱۳۹۶.
- [۲] آدینه، ب. سجادی، س. م.، احدیان، ج. و کرم‌دخت بهبهانی، م. (۱۴۰۵). مدل‌سازی عددی هیدرولیک جریان در سازه ترکیبی دریاچه سالونی مستطیلی چندگانه به همراه تبدیل تدریجی. فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۳(۳)، ۱-۲۵. DOI: ۲۰۲۵.۱۲۴۳۵.۱۱۷۶/atwe.۱۰.۲۲۱۲۶
- [۳] امیرجانی، ر. و ولی سامانی، ح. م. بررسی اثرات آب برگشتی در رودخانه‌های چند شاخه ای بمنظور اصلاح و تعیین دبی اشل ایستگاه‌های هیدرومتری، دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرج، ۱۳۹۲

- of UNESCO-IHE Institute for Water Education for the degree of doctor to be defended in public on Thursday 22 January 2015 at 2 p.m. in Delft, the Netherlands). 2015.
- [23] Farida Akiyanova 1 , Nurlan Adlet Nazhbiyev 1 , Zhanbota Mussagaliyeva 1 and Aksholpan Atalikhova 1 Farida Akiyanova & Nurlan Ongdas. "Operation of Gate-Controlled Irrigation System Using HEC-RAS 2D for Spring Flood Hazard" *Computation* 2023, 11, 27. <https://doi.org/10.3390/computation11020027>. ۲۰۲۳.
- [24] Haghiabi, A., Saneie, M., & Yonesi, H. (2025). Simulation of flow pattern in alluvial channel and 60-degree lateral intake through the numerical FLOW-3D model. *محیط زیست و مهندسی آب*, 11(4), 486-498.
- [25] Hashemy Shahdany S. M., Roozbahani A. R. "Providing a Reliable Water Level Control in Main Canals under Significant Inflow Fluctuations at Drought Periods within Canal Automation," *Water Resources Management: An International Journal*, Published for the European Water Resources Association (EWRA), Springer; European Water Resources Association (EWRA), vol. 31(11), pages 3343-3354, September. 2017.
- [26] Ijaz, N., Haider, S., & Muaz, M. Development of a hydrodynamic model of the irrigation canal network by using HEC-RAS: a case study of Layyah Canal Division, Pakistan. *Modeling Earth Systems and Environment*, 11, Article 195. 2025.
- [27] J. Fallows, "Networking technology," *Atlantic Monthly*, Jul., pp. 34-36, 2007.
- [28] Kumar P, Mishra A, Raghuwanshi NB, Singh R. "Application of unsteady flow hydraulic model to a large and complex irrigation system". *Agric Water Manag* 54:49-66. 2002.
- [29] Karim, S. H. T., Abdulrahman, K. Z., Isari, M., & Sabir, L. O. (2026). Analysis of hydraulic properties of stepped spillways with alternating steps. *Advances in Civil Engineering and Environmental Science*, 3(2), 89-107. DOI: 10.22034/acees.2026.572208.1038.
- [30] Kamrani K., Roozbahani A. R., Hashemy Shahdany S. M. Using Bayesian networks to evaluate how agricultural water distribution systems handle the water-food-energy nexus, *Agric. Water Manag.* 2020.
- مقایسه آن با تحلیل‌های عددی. مدل‌سازی پیشرفته در مهندسی عمران. DOI: ۱۰.۲۲۱۲۶/amcen.۱۰.۲۶.۱۳۱۸۶.۱۰۵۱. ۲۰۲۶.
- [۱۴] نظریان، س. مجدزاده طباطبایی، م. برآورد منحنی دبی - اشل با استفاده از منحنی دانه‌بندی بستر رودخانه، مطالعه‌ی موردی رودخانه سیستان، همایش ملی مهندسی عمران ، شهرسازی و توسعه پایدار، تهران، ۱۳۹۳.
- [۱۵] وفاخواه، م.، شجاعی، غ. تعیین مناسب ترین رابطه دبی - اشل در ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی زاینده رود. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). (۴۲ (ب): ۳۱۵-۳۲۲. ۱۳۸۸.
- [۱۶] یآوری، ف و صالحی نیشابوری ع ا، یزدی ج ، تهیه نقشه سیل در حوضه برگردان سیل غرب تهران ، هفتمین کنفرانس جامع مدیریت سیلاب تهران، ۱۳۹۸.
- [17] Albu, Liviu-Marian, Andrei Enea, Marina Iosub, and Iuliana-Gabriela Breabă. "Dam Breach Size Comparison for Flood Simulations. A HEC-RAS Based, GIS Approach for Drăcșani Lake, Sitna River, Romania." *Water* 12, no. 4 (April 12, 2020): 1090. doi:10.3390/w12041090. 2020
- [18] Ahmad, S., Simonovic, S. P. Comparison of One-Dimensional and Two-Dimensional Hydrodynamic Modeling Approaches For Red River Basin. Report to the International Joint Commission-Red River Basin Task Force, Ottawa, Washington 1-51. 1999.
- [19] Amini, A., Mahmmod, T., & Ghazali, A. H. (2024). Optimizing and Evaluation of Scour Depth Prediction Techniques for Columns as a Component of Complex Bridge Piers. *Advances in Civil Engineering and Environmental Science*, 1(1), 63-69. DOI: 10.22034/acees.2024.477822.1008.
- [20] Bhutta MN, Kijne JW. Application of a hydraulic model for testing management decisions at tributary level. *Irr Sci* 13:15-20. 1990.
- [21] Daneshfaraz, R., Norouzi, R., Ebadzadeh, P., & Abbaszadeh, H. R. (2022). Numerical investigation on effective parameters on hydraulic flows in a sluice gate with sill on free-flow condition. *Environment and Water Engineering*, 8(3), 711-725. DOI: 10.22034/JEWE.2022.321259.1700.
- [22] Dejen Z. A. "Hydraulic and Operational Performance of Irrigation Schemes in View of Water Saving and Sustainability Sugar Estates and Community Managed Schemes in Ethiopia. book(submitted in fulfilment of the requirements of the Academic Board of Wageningen University and the Academic Board

- processes. Volume 22, Issue 1015 May 2008 Pages 1537-1547.
- [40] Peyman Afrasiabikia P., Parvaresh A., Javan M. "Scenarios for improvement of water distribution in Doroodzan irrigation network based on hydraulic simulation", *Computers and Electronics in Agriculture* 135:312-320. ۲۰۱۷.
- [41] Psomiadis, Emmanouil, Lefteris Tomanis, Antonis Kavvadias, Konstantinos X. Soulis, Nikos Charizopoulos, and Spyros Michas. "Potential Dam Breach Analysis and Flood Wave Risk Assessment Using HEC-RAS and Remote Sensing Data: A Multicriteria Approach." *Water* 13, no. 3 (January 31, 2021): 364. doi:10.3390/w13030364. ۲۰۲۱.
- [42] Renault D, Makin IW. "Modernization of irrigation systems operation: a desegregated approach of the demand". In: *Proceedings of the fifth international meeting of ITIS network, India*. 1998.
- [43] Renault D "Offtake sensitivity, operation effectiveness, and performance of irrigation system". *J Irrig Drain Eng ASCE* 125(3):137-147. 1999.
- [44] Renault D, Hakeem AK, Hemakumara MH, Asghar MM . "Assessing sensitivity factors of irrigation delivery structures. " *J Irrig Drain Eng ASCE* 127(6):346-354. 2001.
- [45] Shahrokhnia MA, Javan M . Performance assessment of Doroodzan irrigation network by steady state hydraulic modeling. *Irrig Drain Syst* 19:189-206. 2005.
- [46] Sattar, Ashim, Ajanta Goswami, and Anil V. Kulkarni. "Hydrodynamic Moraine-Breach Modeling and Outburst Flood Routing - A Hazard Assessment of the South Lhonak Lake, Sikkim." *Science of The Total Environment* 668 (June 2019):362-378. doi:10.1016/j.scitotenv. 2019.02.388.
- [47] Tariq J. A. , Latif M. "Flexibility analysis of irrigation outlet structures using simulation of irrigation canal hydrodynamic model", *Irrig Sci*, 29:127-134. 2011.
- [31] Kishanlal R Darji, utamkumar hasubahi , dhruvesh patel & Benjamin dewals. "A Dam Break Analysis of Damanganga Dam Using HEC-RAS 2D Hydrodynamic Modelling and Geospatial Techniques". *LNCE*, volume 364 <https://link.springer.com/conference/issn2023>
- [32] Kumari, S., Kumar, M., & Singh, A. Hydraulic Analysis of Irrigation Canal Using HEC-RAS Model: A Case Study of Latifshah Weir in Uttar Pradesh, India. *Journal of Water Engineering and Management*, 6(3), 01-13. 2025.
- [33] Mishra A, Anand A, Singh R, Raghuwanshi NS . "Hydraulic modeling of Kangsabati main canal for performance assessment". *J Irrig Drain Eng ASCE* 127(1):27-34. 2001.
- [34] Moradinejad, A., Haghiabi, A. H., Saneie, M., & Younesi, H. (2025). Experimental study on sediment control in a lateral intake channel by using a spur dike combined with a skimming wall. *Advances in Civil Engineering and Environmental Science*, 2, 85-96. DOI: 10.22034/acees.2025.515353.1024.
- [35] M.S.Horritt & P.D.Bates. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *journal hydrology* .Volume 268, Issues 1-4, 1 November 2002, Pages 87-9923- ۲۰۰۲.
- [36] Motiur Rahman & Md. Shahjahan Ali . "Drivers of Tidal Flow Variability in the Pussur Fluvial Estuary: A Numerical Study by 2 FEBRUARY 29.۲۰۲۴. HEC-RAS" <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25662>. ۲۰۲۴.
- [37] Papaioannou, G.; Markogianni, V.; Loukas, A.; Dimitriou, E." Remote Sensing Methodology for Roughness Estimation in Ungauged Streams for Different Hydraulic/Hydrodynamic Modeling Approaches". *Water* 2022, 14, 1076.
- [38] Pathan, A.I.; Agnihotri, P.G.; Patel, D.; Prieto, C."Mesh grid stability and its impact on flood inundation through (2D) hydrodynamic HEC-RAS model with special use of Big Data platform—A study on Purn a River of Navsari city". *Arab. J. Geosci.* 2022, 15, 659. 2022.
- [39] Petri Alho & Juha altonen. Comparing a 1D hydraulic model with a 2D hydraulic model for the simulation of extreme glacial outburst floods. *Hydrological*