2024, Vol.11, No.2, Pages 57 to 64
Journal of Water and Sustainable Development

سال یازدهم، شماره ۲، ۱۴۰۳، صفحات ۵۷ تا ۶۴
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Technical paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

# The Experience of Designing and Building a Floating Intake System in the Doosti Dam

**A. Shahabi[1*], M. Naderian[2], M. Maghrebi[3], R. Ghasemi[4]**

1- Ph.D. in Water and Hydraulic Structures, Dam and Network Design Studies Department, Khorasan Razavi Regional Water Company, Mashhad, Iran. 2, 4- MSc in Water Engineering & MSc in Water Resources Management, Water Technical Office, Khorasan Razavi Regional Water Company, Mashhad, Iran. 3- Ph.D. in Water Resources and Environmental Engineering, Hydropars Khorasan Consulting Engineers, Civil Engineering Department, Gonabad Higher Education Complex, Gonabad, Iran.

*(Corresponding Author Email: shahbi.ab@khrw.ir)

Received: 16-12-2023 Revised: 07-05-2024
Accepted: 08-05-2024 Available Online: 15-09-2024

# تجربه طراحی و ساخت سامانه آبگیر شناور در سد دوستی

**اکبر شهابی[1*]، محمود نادریان[2]، محسن مغربی[3]، رضا قاسمی[4]**

۱- دانش آموخته دکتری آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مطالعات طرح‌های سد و شبکه، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران. ۲ و ۴- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی‌ارشد گرایش مهندسی آب و دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گرایش مدیریت منابع آب، دفتر فنی آب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران. ۳- دانش‌آموخته دکتری مهندسی منابع آب و محیط‌زیست، مهندسین مشاور هیدروپارس خراسان، گروه عمران، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: shahbi.ab@khrw.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

## Abstract

Ensuring water in critical conditions, especially in the hot months of the year, is very critical and requires optimal use of all water capacities. In this research, the study and implementation approach of constructing a floating pumping station in the Doosti dam to water withdrawal from the surface of the reservoir to improve the qualitative and quantitative conditions in water withdrawal from the reservoir of this dam in summer 2023 has been discussed. By using a floating pumping station with an approximate weight of 100 tons, it was possible to supply water with a capacity of 2.25 to 3 m3/s from the Doosti dam reservoir and with a turbidity between 4 and 5 NTU; While without using this floating pumping station, maximum of 2 m3/s of water with a turbidity between 17 and 19 NTU could be extracted from the dam. One of the most important features of this project was the transfer of a significant volume of water from the dam reservoir to the intake tower in the shortest possible time with the least equipment and facilities, which, by being placed in the circuit, was able to play an important role in providing drinking water to the Mashhad city in summer 2023. The results of this research can be used in other dams of the country and in water resources development planning to cover current needs or increase the water quality in the exploitation of dams.

**Keywords:** Drinking Water Supply of Mashhad City, Floating Pumping Station, Doosti Dam.

## چکیده

تأمین آب در شرایط بحرانی به‌ویژه در ماه‌های گرم سال بسیار بحرانی و نیازمند استفاده بهینه از تمام ظرفیت‌های آبی می‌باشد. در این پژوهش رویکرد مطالعاتی و اجرایی ساخت ایستگاه پمپاژ شناور در مخزن سد دوستی برای آبگیری از سطح مخزن و با هدف ارتقا شرایط کیفی و کمی در آبگیری از مخزن این سد در تابستان ۱۴۰۲ بیان شده است. با استفاده از ایستگاه پمپاژ شناور با وزن تقریبی ۱۰۰ تن، امکان تأمین آب با ظرفیت ۲/۲۵ تا ۳ مترمکعب بر ثانیه از مخزن سد دوستی و با کدورت بین ۴ تا ۵ NTU فراهم شد؛ درحالی‌که بدون استفاده از این ایستگاه پمپاژ شناور، حداکثر ۲ متر مکعب بر ثانیه آب با کدورت بین ۱۷ تا ۱۹ NTU از سد قابل برداشت بوده است. یکی از مهمترین ویژگی‌های این پروژه، انتقال حجم قابل توجه آب در کمترین زمان ممکن با صرف کمترین تجهیزات و مستحدثات از مخزن سد به برج آبگیر بود که با در مدار قرار گرفتن آن، توانست نقش مهمی در تأمین آب شرب شهر مشهد در تابستان ۱۴۰۲ بیافریند. نتایج این پژوهش می‌تواند در دیگر سدهای کشور و در برنامه‌ریزی‌های توسعه منابع آب با هدف پوشش نیازهای آبی لحظه‌ای و یا افزایش کیفیت آب در بهره‌برداری از سدها استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** تأمین آب شرب شهر مشهد، ایستگاه پمپاژ شناور، سد دوستی.



**How to cite this article:** Shahabi, A., Naderian, M., Maghrebi, M., & Ghasemi, R. (2024). The Experience of Designing and Building a Floating Intake System in the Doosti Dam. Journal of Water and Sustainable Development, 11(2), 57-64. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v11i2. 2312-1292

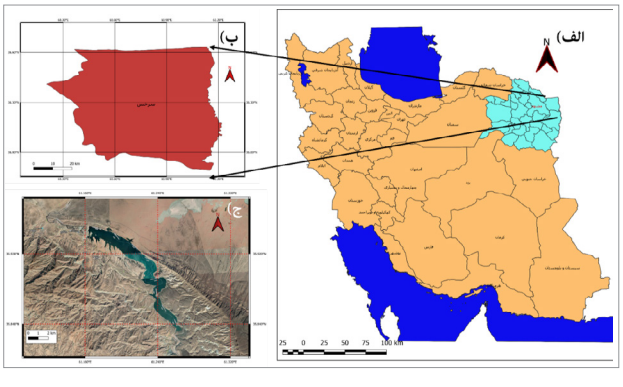
## مقدمه

مشهد یکی از شهرهای مهم و پرجمعیت کشور است که به دلیل جذابیت‌های زیارتی و شهرنشینی و قرارگیری در منطقه خشک و نیمه‌خشک کشور، نیازمند تنوع در منابع تأمین آب برای افزایش قابلیت‌های پایدار در تأمین آب است. اگرچه در حال حاضر برنامه‌ریزی‌های گسترده ملی و استانی برای اجرای طرح‌های تأمین آب این کلان شهر وجود دارد اما توجه به ظرفیت‌های موجود و استفاده بهینه از پتانسیل‌های ایجاد شده در سال‌های قبل با هزینه‌های گسترده، یکی از گزینه‌های اقتصادی در پوشش نیازهای آبی این شهر مهم است. در مواقع بحرانی مثل اوج مصرف تابستانه، لازم است از تمام ظرفیت‌ها به‌صورت کافی و جامع استفاده شود تا ضمن حفظ پایداری منابع آب، نیازها به‌صورت مطمئن و پایدار تأمین شود (Islami و Rahimi، ۲۰۱۹). یکی از ظرفیت‌های مناسب ایجاد شده در این بخش، سد دوستی است. سد دوستی، در مرز ایران و ترکمنستان و بر روی رودخانه مرزی هریرود در حوزه شهرستان سرخس در شمال شرق استان خراسان رضوی احداث شده است. در سال‌های اخیر به دلیل دخل و تصرفات در حوضه بالادست سد دوستی و همچنین تغییرات اقلیمی، کاهش آورد در سد دوستی مخصوصا در ماه‌های خشک سال اتفاق افتاده و این امر بر توان آبگیری از سد دوستی به شدت اثر گذار بوده است (Maghrebi و همکاران، ۲۰۲۳). در حال حاضر با کاهش سطح آب در مخزن سد دوستی، تنها امکان آبگیری حدود ۴ مترمکعب بر ثانیه آب از مخزن این سد وجود دارد که بر اساس پروتکل‌های ملی بین کشور ایران و ترکمنستان، سهم ایران از این آب، ۲ مترمکعب بر ثانیه خواهد بود. همچنین به دلیل عدم ورود منابع آبی به مخزن این سد در طول دو سال گذشته، کیفیت آب در مخزن این سد به شدت کاهش یافته است و آبگیری از تخلیه کننده تحتانی شرایط کیفی مناسبی ندارد؛ به‌طوری‌که کدورت در جریان آب برابر با ۱۷ تا ۱۹ NTU[1] است. این موضوع هزینه‌های فرآیندهای تصفیه آب را نیز به شدت افزایش می‌دهد. یکی از راه حل‌های مناسب برای رفع این مشکل، استفاده از ایستگاه پمپاژ شناور برای افزایش راندمان آبگیری است (Chen و همکاران، ۲۰۲۱). از ایستگاه پمپاژ شناور برای مقاصد مختلفی استفاده می‌شود به‌عنوان‌مثال در شهر کنستانتسا کشور رومانی از این روش برای آبیاری حدود ۱۳۰۰ هکتار زمین کشاورزی با دبی ۶۴۰۰ متر مکعب بر ساعت استفاده شده است (Constantin و همکاران، ۲۰۱۱).در تجربه‌ای مشابه جهت استفاده از آب رودخانه دانوب در کشور رومانی از دو ایستگاه پمپاژ شناور با توان مجموع پمپاژ آب به میزان ۲۶/۴ مترمکعب بر ثانیه با ارتفاع پمپاژ ۱۲ متر برای آبیاری زمین‌های کشاورزی استفاده شده است (Robert و Erika، ۲۰۱۹). در این پژوهش یافته‌های مطالعاتی و اجرایی در خصوص طراحی و ساخت ایستگاه پمپاژ شناور در سد دوستی بیان شده است. این پژوهش از آن جهت اهمیت دارد که این نوع سازه به‌عنوان اولین سازه صنعتی آبگیر شناور در سطح کشور توسط پژوهشگران داخلی طراحی و ساخته شده و می‌تواند به‌عنوان یک الگو در تأمین آب کیفی و یا کمی در سدهای دیگر ایران برای مدیریت بهتر منابع آبی استفاده شود.

## مواد و روش‌ها

### • موقعیت و ویژگی‌های طرح مطالعه شده

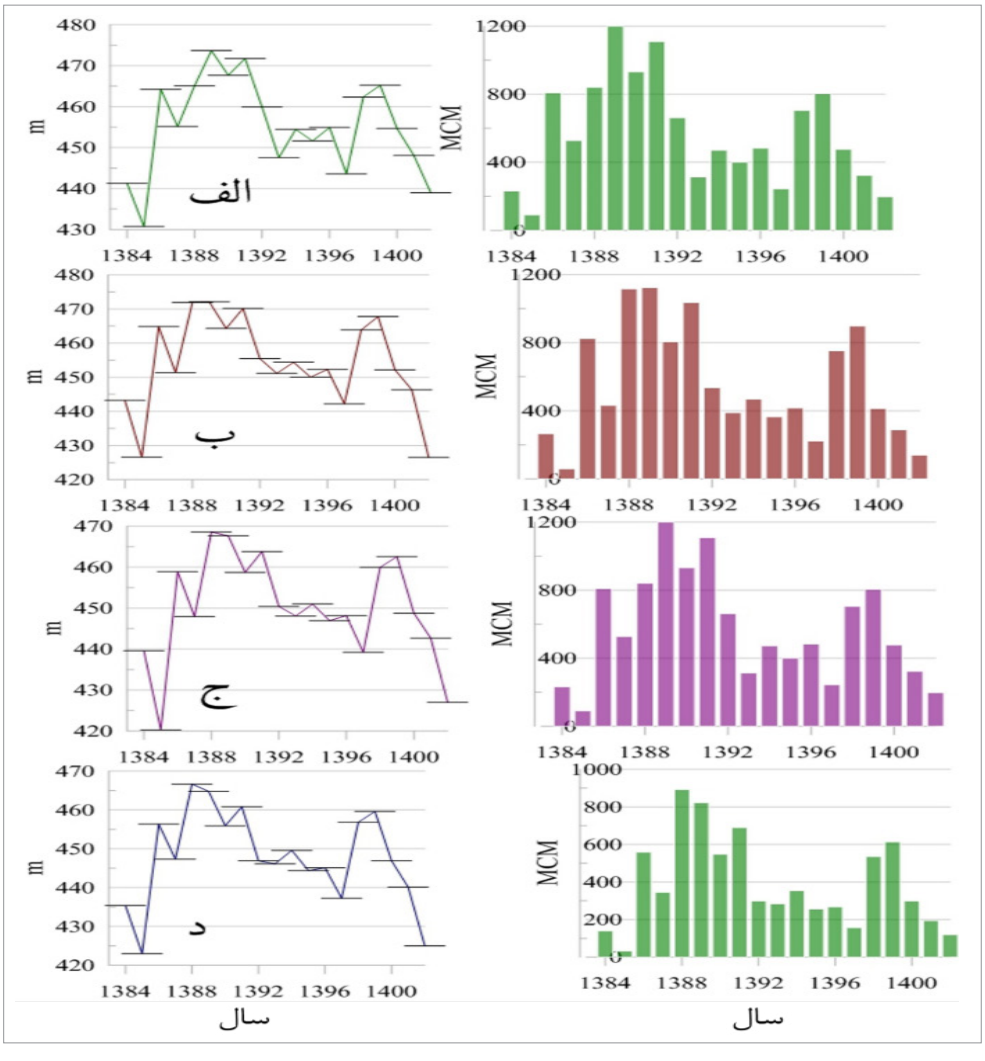
سد دوستی یکی از سدهای مهم در شرق کشور است که در دهه‌های گذشته برای تأمین آب شرب شهر مشهد و توسعه کشاورزی در دشت سرخس ایجاد شده است. این سد در طول جغرافیایی ۹° ۶۱′ تا ۱۶° ۶۱′ و عرض جغرافیایی ۴۹° ۳۵′ تا ۵۷° ۳۵′ قرار گرفته است. شکل (۱) موقعیت این سد را نشان می‌دهد. این سد از نوع خاکی با هسته رسی به ارتفاع ۷۸ متر و طول تاج ۶۵۰ متر و حجم مخزنی حدود ۱,۲۵۰ میلیارد مترمکعب است (نظری محدر و همکاران، ۱۳۹۸). خط انتقال پایاب این سد به سمت مشهد، یکی از طرح‌های ملی کشور در جهت تأمین آب شرب شهر مشهد می‌باشد که شامل اجرای یک خط لوله فولادی به قطر ۲ هزار میلی‌متر و به طول ۱۸۲ کیلومتر، احداث ۵ ایستگاه پمپاژ، ساخت یک واحد تصفیه‌خانه به ظرفیت ۶ متر مکعب در ثانیه، ساخت یک تونل به طول ۹۳۰ متر، خط انتقال برق ۱۳۲ کیلوولت به طول ۱۵۰ کیلومتر و ۵ ایستگاه کاهنده ولتاژ ۱۳۲ به ۶,۶ کیلو ولت است.




شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی: الف) کشور ایران؛ ب) شهرستان سرخس؛ ج) سد دوستی

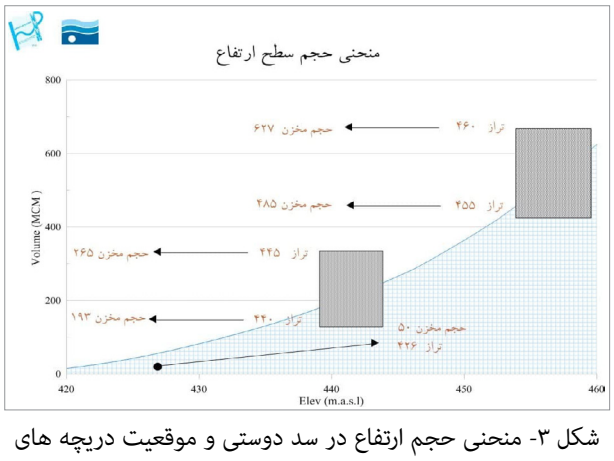
حجم مخزن سد دوستی توانایی تأمین ۱۶۵ میلیون مترمکعب در سال برای آب شرب شهر مشهد، ۱۳/۱ میلیون متر مکعب در سال برای تأمین آب شرب شهر سرخس و ۱۱۴/۱ میلیون مترمکعب در سال برای کشاورزی در دشت سرخس را دارد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۴۰۲). در شکل (۲) تغییرات حجم مخزن و ارتفاع

سطح آب سد دوستی در فصل‌های مختلف سال ارائه شده است که می‌توان بیان کرد عوامل مختلفی مانند کاهش نزولات جوی، دخل و تصرف و توسعه کشاورزی در حوضه آبریز این سد باعث کاهش رواناب‌های ورودی به سد و افت تراز آب در مخزن سد شده است.




شکل ۲- تغییرات حجم (سمت راست) و ارتفاع سطح آب مخزن (سمت چپ) سد دوستی در فصول مختلف سال؛ الف) بهار، ب) تابستان، ج) پاییز، د) زمستان

در شکل (۳) مشاهده می‌شود کاهش تراز آب در مخزن سد باعث ایجاد شرایط عدم امکان آبگیری مطمئن از سازه‌های آبگیر سد شده است. به دلیل عدم امکان آبگیری از سازه‌های آبگیری، در شرایط حاضر، از تخلیه کننده تحتانی استفاده می‌شود که استفاده از آن علاوه‌بر وجود مخاطرات (امکان از دست رفتن شرایط آبگیری در اثر رخداد سیلاب و ورود رسوبات به دریچه و مخروط آبگیری)، بر روی مقدار آبگیری از سد نیز موثر بوده است. درحالی‌که بیشینه دبی آبگیری از سازه‌های آبگیر در سد دوستی برابر با ۶ متر مکعب بر ثانیه است، امکان استحصال آب از این آبگیر در بهترین شرایط به حدود ۴ متر مکعب بر ثانیه کاهش پیدا کرده است. لازم به ذکر است تراز نرمال در این سد برابر با ۴۷۴ متر و تراز تخلیه کننده تحتانی برابر با ۴۱۱/۵ متر و تراز آبگیری‌ها در دو تراز ۴۴۰ و ۴۵۵ متر است (شکل ۳).




شکل ۳- منحنی حجم ارتفاع در سد دوستی و موقعیت دریچه های آبگیر و برداشت آب در این سد (حجم مخزن به میلیون متر مکعب و سطح ارتفاع به متر)

مجموع دو آبگیر طراحی شده در این سد، توانایی آبگیری برابر با ۶ مترمکعب بر ثانیه را دارد. بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده از وضعیت مخزن در مورخه ۱۴۰۲/۰۲/۱۸، تراز آب در مخزن سد برابر با ۴۳۶ متر (پایین‌تر از هر دو تراز سازه آبگیر در مخزن سد) و حجم مخزن برابر با ۱۴۱/۶ میلیون مترمکعب است (شکل ۴). باتوجه‌به عدم امکان آبگیری از مخزن سد در این تراز، آبگیری از تخلیه کننده تحتانی صورت می‌پذیرد و دبی ۲ مترمکعب بر ثانیه، از سازه تخلیه کننده تحتانی به سمت آبگیر آب شرب مشهد منتقل می‌شود (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۴۰۲)، بنابراین ایستگاه پمپاژ شناور در سد دوستی برای رفع این مشکل و مخاطرات و کمک به آبگیری پایدار و کیفیت مناسب آب، در نظر گرفته شد.

شکل ۴- موقعیت تأسیسات آبگیری از سد دوستی و وضعیت تراز آب (بهار ۱۴۰۲)

## نتایج و بحث

### الف) مکان‌یابی استقرار ایستگاه پمپاژ شناور

موقعیت قرارگیری ایستگاه پمپاژ شناور در مخزن سد با هدف ایجاد بیشترین عمق آبگیری و کمترین ورود رسوبات از بستر در اثر فرونشست سطح آب در طول دوران بهره‌برداری و کاهش مسیر دسترسی برای کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و اجرای خط برق تعیین شده است (قزل‌سوفلو و همکاران، ۱۳۹۷). تراز کف مخزن برابر با ۴۱۴ متر، و بیشترین تراز ارتفاعی سد ۴۷۵ متر می‌باشد. در تراز ۴۴۰ متر (آخرین تراز آبگیری)، حجم مخزن برابر با ۱۹۱ میلیون مترمکعب است. در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۲، تراز ارتفاعی در مخزن سد دوستی برابر با ۴۳۶ متر (معادل حجم آب در مخزن حدود ۱۳۵ میلیون مترمکعب) بوده است. بر اساس آخرین اطلاعات، حجم مرده برابر با ۱۵ میلیون مترمکعب برآورد شده که با احتساب حجم مرده، حجم مفید قابل دسترسی در تراز ۴۳۶ متر حدود ۱۲۰ میلیون مترمکعب می‌باشد.

اثر کاهش طول بر میزان آبگیری سد بررسی فنی و مهندسی ارزش شده است. به همین دلیل با پذیرش ریسک، امکان کاهش آبگیری در طول‌های کمتر، اثر عمق‌های مختلف در فاصله قرارگیری ایستگاه پمپاژ شناور نسبت به سازه‌ی آبگیر بررسی شده است (جدول ۱). با انجام عمل هیدروگرافی اولیه مخزن سد، موقعیت قرارگیری ایستگاه پمپاژ شناور مکانی در نواحی تخلیه کننده تحتانی سد که بیشترین عمق را داشت در موقعیت E ″۵۵,۹۴ ′۹ °۶۱ و N ″۵۷,۷۰ ′۵۶ °۳۵ تعیین شد. در صورتی‌که تراز ارتفاعی ایستگاه پمپاژ شناور بر روی مخزن سد در مختصات اشاره شده جابه‌جا شود؛ بر طول کابل انتقال برق و طول لوله‌ها اثر گذار خواهد بود. در جدول (۱) میزان طول لوله‌های خط انتقال و همچنین کابل مورد نیاز انتقال برق (از ترانس تا محل تابلو برق) در هر کدام از فاصله‌ها ارائه شده است.

بر اساس نتایج هیدروگرافی انجام شده می‌توان موقعیت قرارگیری ایستگاه پمپاژ شناور را در فاصله ۱۸۰ متری نسبت به سازه آبگیر جانمایی نمود. در این موقعیت مکانی و زمانی، تراز آب در ۴۱۷ متر قرار گرفته است. این امر می‌تواند باعث کوتاه شدن مسیر خط انتقال به بیش از ۴۵ متر و کاهش طول راه دسترسی به بیش از ۵۰ متر شود. شکل (۵) نشان دهنده سیستم و موقعیت قرارگیری ایستگاه پمپاژ شناور پس از استفاده از نتایج هیدروگرافی مخزن است.

جدول ۱- اثر تراز قرارگیری ایستگاه پمپاژ شناور بر روی کاهش هزینه‌های خط انتقال و لوله آب‌بر

| تراز آب در مخزن (متر) | فاصله ایستگاه شناور تا سازه آبگیر (متر) | طول خط انتقال (متر) | طول کابل (متر) | درصد کاهش طول خط انتقال | درصد کاهش طول کابل |
|---|---|---|---|---|---|
| ۴۲۰ | ۲۶۰ | ۲۳۴۰ | ۴۹۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ |
| ۴۲۵ | ۱۹۵ | ۱۷۵۵ | ۴۷۰ | ۲۵/۰۰ | ۴/۰۸ |
| ۴۳۰ | ۱۷۶ | ۱۵۸۴ | ۳۸۰ | ۳۲/۳۱ | ۲۲/۴۵ |
| ۴۳۵ | ۹۶ | ۸۶۴ | ۳۵۵ | ۶۳/۰۸ | ۲۷/۵۵ |
| ۴۴۰ | ۰ | ۰ | ۳۱۰ | ۱۰۰/۰ | ۳۶/۷۳ |

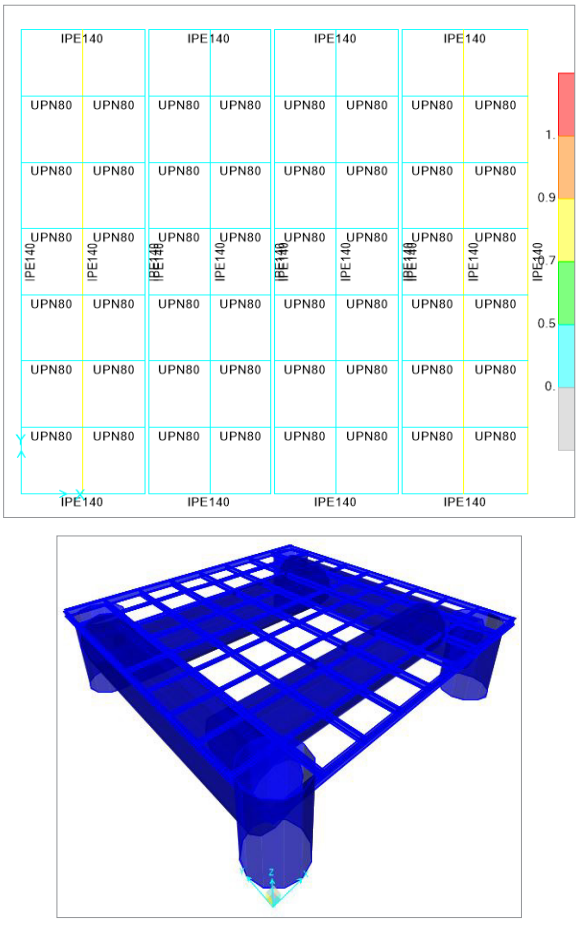
شکل ۵- تصویر ماهواره‌ای از موقعیت بهینه قرارگیری ایستگاه پمپاژ شناور (۲۰۲۲)

**ب) تأمین نیروی شناوری ایستگاه شناور**

برای شناورسازی آبگیر، گزینه‌های مختلفی مانند استفاده از یونولیت، بالشتک‌های پلی‌اتیلنی و قطعات فولادی در دستور کار قرار گرفت. در این خصوص باتوجه‌به زمان‌بندی پروژه و ضرورت بهره‌برداری از پروژه، تصمیم‌گیری بر اساس موجودی‌های بازار و اجرا و آب‌اندازی با رعایت مسائل فنی صورت پذیرفت و در نهایت شناوری بر اساس لوله‌های فولادی به قطر ۱۴۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۱۶ میلی‌متر مهیا شد. لازم به ذکر است، برای افزایش ضریب اطمینان و اصلاح بارگذاری نامتقارن ناشی از قرارگیری کلکتور در گوشه‌های ایستگاه شناور، یونولیت در ناحیه مرکزی و در زیر شاسی در نظر گرفته شد. جرم هر کدام از سازه‌های شناوری به همراه متعلقات و شاسی‌کشی برابر با ۴۸۴۰۰ کیلوگرم و میزان جرم شناور تأمین شده برابر با ۵۹۰۰۰ کیلوگرم است که ضریب اطمینان را به عدد ۱/۲ می‌رساند.

**ج ) طراحی سازه‌ای ایستگاه پمپاژ شناور**

بر روی سازه‌ی شناوری لازم است اسکلت فولادی در نظر گرفته شود تا بر روی آن، اسکلت و پمپ‌ها قرار داده شود و این اطمینان حاصل شود که مجموعه پمپ‌ها بدون هیچ گونه لرزش و یا مخاطره‌ای در طول دوران بهره‌برداری عمل می‌نمایند. لوله‌های فولادی، ممان اینرسی و قابلیت بارپذیری دارند. برای این منظور سیستم شناوری و اسکلت فولادی برای تعیین مشخصات سازه‌ای در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ تحلیل شد که بخشی از این نتایج در شکل (۶) نشان داده شده است. لازم به ذکر است بارگذاری بر روی این سازه شامل بار مرده ناشی از وزن صفحه مشبک فولادی با ضخامت ۳ میلیمتر، ۲۵ کیلوگرم بر مترمربع؛ بار زنده ناشی از وزن افراد، ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع؛ بار مرده ناشی از وزن پمپ‌های آب نصب شده، ۲ تن به ازای هر پمپ؛ بار ناشی از وزن لوله‌های فولادی و شیر آلات روی ایستگاه پمپاژ شناور، ۷۰۰ کیلوگرم بر متر طول لوله؛ و بار ناشی از وزن دیوار ساندویچ پنل و سقف سبک، ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع است. در نهایت بر اساس خروجی‌های این مدل، ابعاد و مقاطع فولادی مورد نیاز بر روی سکوی شناوری طراحی شده است.




شکل ۶- آنالیز سازه‌ای ایستگاه پمپاژ شناور در نرم‌افزار SAP2000

**د) انتخاب پمپ‌ها ایستگاه پمپاژ شناور**

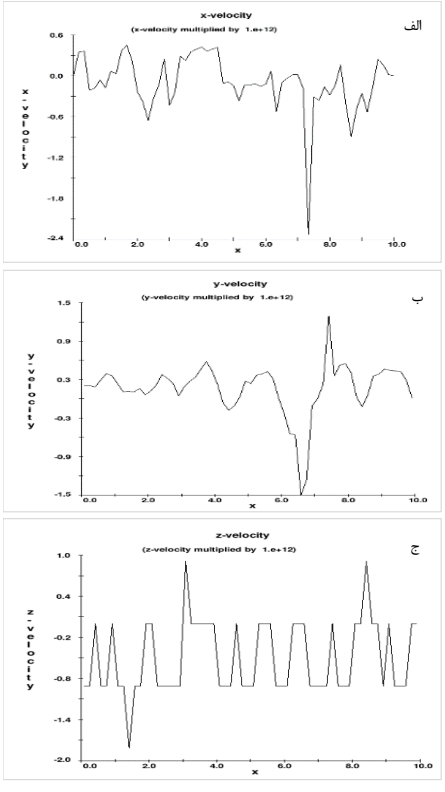
از بین پمپ‌های موجود در بازار، پمپ‌های شناور به دلیل محدودیت ظرفیت حداکثر تا ۱۸۰ لیتر بر ثانیه و پمپ‌های کف‌کش و لجن‌کش به دلیل محدودیت‌های عملکردی از نظر تامین بار آبی (ارتفاع) و دبی مورد نیاز، از دسته انتخاب خارج شد و بر اساس پمپ‌های موجود در بازار، ۱۲ پمپ از نوع ETA 250-29 به‌صورت موازی برای قرارگیری بر روی ایستگاه پمپاژ شناور انتخاب شد. بر روی هر شناور یک پمپ رزرو وجود دارد که در صورت نیاز به دبی بیشتر می‌توان از آن پمپ هم استفاده نمود. این پمپ، امکان تأمین دبی برابر با ۹۰۰ مترمکعب بر ساعت و با آبی ۱۰ تا ۲۰ متر را با توان نامی ۵۵ کیلووات و قطر پروانه ۲۱۰/۲۹۰ با پروانه‌های حلزونی GG25 و محور CK45 را تأمین می‌نماید.

### ۵) مدل‌سازی هیدرولیکی

یکی از نگرانی‌های هیدرولیکی در فرآیند آبگیری، تداخل مخروط‌های افت پمپ‌ها و ایجاد حباب هوا در آبگیری از جریان در مخزن سد است. برای بررسی دقیق این موضوع از نرم‌افزار FLOW3D استفاده شد. استفاده از این نرم‌افزار برای دستیابی به دید کلی از فرآیند هیدرودینامیکی انجام شد و فرآیند واسنجی در این خصوص در دستور کار نبود. برای این منظور سیستم آبگیری در سناریوهای مختلف با شبکه‌بندی ۱۰ سانتی‌متری از هندسه طرح تهیه و اجرا شد. این موضوع در سناریوهای مختلف تراز قرارگیری دهانه آبگیر اجرا و در نهایت مشخص شد در صورتی‌که عمق قرارگیری پمپ‌ها به‌صورت پلکانی و در عمق ۱/۷ متر در دوطرف و ۱/۳ متر در مرکز و با فاصله ۲/۲ متری نسبت به یکدیگر باشند، شرایط تداخل جریان و ورود هوا به پمپ‌ها رخ نخواهد داد (شکل ۷).

پس از بررسی‌های فنی در لایه‌های مختلف، طرح ایستگاه پمپاژ شناور در سد دوستی برابر نهایی و مقدمات اجرای کار در فاز سوم برداشته شد (جدول ۲).

این ایستگاه پمپاژ در ۱۶ تیرماه سال ۱۴۰۲ وارد مدار بهره‌برداری شد و نقش مهمی در تأمین آب شرب شهر مشهد به‌ویژه در اوج مصرف تابستان در مرداد و شهریور انجام داد (شکل ۸).




شکل ۷- توزیع سرعت( متر بر ثانیه) به‌صورت یک بعدی و در جهات: الف) X، ب) Y و ج) Z

جدول ۲- مشخصات کلی ایستگاه پمپاژ شناور در سد دوستی

| | | | |
|---|---|---|---|
| تعداد شناور | ۲ شناور | ابعاد هندسی | ۸/۸×۸/۸ متر |
| نوع شناور | لوله‌های فولادی و قطعات یونولیتی | تعداد پمپ در هر شناور | ۶ عدد |
| ظرفیت نهایی آبدهی هر شناور | ۱/۱۲۵ تا ۱/۵ متر مکعب بر ثانیه | ظرفیت آبدهی کل شناور | ۲/۲۵ تا ۳ متر مکعب بر ثانیه |
| نحوه تعادل | با مهار جانبی ساحلی سه جهته | نوع پمپ | اتا – ۲۹-۲۵۰ |
| توان و ظرفیت پمپ | ۵۵ کیلو وات، ۷۵ اسب بخار و ۱۰۵ آمپر | لوله آبگیر | فولادی با پوشش به قطر ۴۵۰ میلی متر به عمق ۱/۳ و ۱/۷ متر |
| لوله رانش | فولادی با پوشش به قطر ۳۰۰ میلی‌متر | جنس و قطر خط انتقال | پلی‌اتیلن – ۵۰۰ میلی متر×۴ |
| نحوه ورود جریان | متقارن ۴ طرفه به همراه شبکه آشغال گیر ۴ جهته | وضعیت کف | انسداد برای جلوگیری از ورود رسوبات از کف |
| طول خط انتقال (m) | ۲×(۴×۲۰۰)-D500 پلی اتیلن | نوع و جنس کابل خط انتقال خط اصلی | ۳×۳۰۰-۲۰۰ |
| طول و جنس کابل از محل تابلو (mm) | ۳×۱۲۰ – ۳۶۰۰ | نوع شبکه آشغال‌گیر | توری پلی‌اتیلن چند جهته |

شکل ۸- ایستگاه پمپاژ شناور در حال بهره‌برداری، مرداد ۱۴۰۲

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پس از اتمام مطالعات و تهیه طرح، فرایند اجرایی این ایستگاه پمپاژ در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۲ آغاز شد. هدف اصلی در این مرحله، آبگیری از مجموعه سیستم تا اوایل تیر ماه برای پوشش اوج مصرف شهر مشهد در این ماه‌های سال تعیین شد. فرآیند اجرایی با حضور نمایندگان شرکت مدیریت منابع آب ایران، ارکان اجرایی و مطالعاتی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، شرکت مهندسین مشاور هیدروپارس خراسان و شرکت ساختمانی و راه‌سازی دژ بوژان آغاز شد و در طول فرایندهای اجرایی این پروژه از تولیدات تأمین کنندگان ایرانی استفاده شد. با شروع عملیات اجرایی پروژه به دلیل گرمای زیاد در محل سد و آماده نبودن زیر ساخت‌های اجرایی، کارگاه اصلی پروژه برای جوشکاری‌ها و مونتاژ اولیه قطعات در یکی از کارگاه‌های فعال شهر مشهد برنامه‌ریزی و با تأمین زیر ساخت‌های لازم از قبیل سکوی نصب و آماده سازی در محل مخزن سد دوستی، قطعات به سمت محل پروژه منتقل شد. در ابتدا زیر ساخت‌های شناوری شامل لوله‌های ۱۴۰۰ به یکدیگر جوش و در ادامه قطعات فولادی شاسی و ورق‌های نهایی و متعاقب آن نصب پمپ‌ها بر روی کف سازه‌ی شناور اجرا شد و پس از آن، لوله‌های آبگیر و رانش به همراه متعلقات و اتصالات لازم شامل شیرهای هوا، شیر یک طرفه، کلکتور، شیر هواگیری و فشار سنج بر روی ایستگاه پمپاژ اجرا شد. برای ایجاد تقارن در پروژه جانمایی اجرا به نحوی صورت پذیرفته است تا نهایت تقارن بارگذاری در سازه ایجاد شود. یکی از فرآیندهای مهم در اجرای این پروژه، آب اندازی ایستگاه پمپاژ بود که باتوجه‌به وزن زیاد، نیازمند استفاده از روش‌های متناسب با شرایط موجود در منطقه است. برای این منظور پس از بررسی گزینه‌های مختلف، آب‌اندازی از طریق ریل‌گذاری در حاشیه مخزن سد به‌عنوان گزینه‌ی اجرایی مطلوب تعیین شد. لازم به ذکر است از ایستگاه پمپاژ شناور در جایگاه‌هایی در داخل و خارج از کشور استفاده شده است اما میزان حجم آب قابل استحصال، مدت زمان اجرا، استفاده از قطعات ساخته شده در داخل کشور و طرح و اجرا توسط متخصصین ایرانی، این ایستگاه پمپاژ شناور را نسبت به سایر ایستگاه پمپاژ شناور اجرا شده در داخل کشور متمایز می‌سازد. همچنین در اجرای این پروژه محدودیت‌های زمانی و مالی برای تأمین قطعات وجود داشت. در صورت عدم وجود چنین محدودیت‌هایی، استفاده از کابل‌های مقاوم به ضربه و آب و همچنین استفاده از قطعات بالشتک‌های پلی‌اتیلنی می‌توانست مشخصات این سامانه را ارتقا دهد.

## پی‌نوشت‌ها

1-Nephelometric Turbidity Unit

## منابع


شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۴۰۲). مطالعات مرحله اول و دوم ایستگاه پمپاژ شناور سد دوستی شهرستان سرخس. شرکت هیدروپارس خراسان. مشهد، ایران.

قزلسوفلو، عباسعلی، مغربی، محسن، و داروغه، فرزانه. (۱۳۹۷). شناسایی و تعیین میزان گسترش در آبکندهای فعال با استفاده از سنجش از راه دور. آب و توسعه پایدار، ۵(۱): ۶۷-۷۲. doi: 10.22067/jwsd.v5i1.59123

نظری محدر، حسن، مریدی، علی، یزدی، جعفر، خزائی پول، احمد. (۱۳۹۸). چشم‌انداز پایداری تامین نیازهای شرب و کشاورزی سد دوستی تحت سناریوهای تغییر اقلیم و بهره‌برداری از سد سلما. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۳)، ۱۷-۳۲. https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.3.2.3

Islami, R., & Rahimi, A. (2019). Policymaking and water crisis in Iran. Quarterly Journal of the Macro and Strategic Policies, 7(27), 410-435. doi: 10.32598/JMSP.7.3.5

Maghrebi, M., Noori, R., Mehr, A.D., Lak, R., Darougheh, F., Razmgir, R., Farnoush, H., Taherpour, H., Moghadam, S.M.R.A., Araghi, A., & Kløve, B. (2023). Spatiotemporal Changes in Iranian Rivers' Discharge. Elementa science of the Anthropocene, doi: 10.1525/elementa.2022.00002

Chen, S., Zhao, P., Xie, G., Wei, Y., Lyu, Y., Zhang, Y., Yan, T., & Zhang, T. (2021). A floating solar still

inspired by continuous root water intake. Desalination, 512, 115133. doi: 10.1016/j.desal.2021.115133

Constantin, A., Nițecu, C., Stănescu, M., & Roşu, L. (2011). Operation Improvement of an Irrigation Water Supply Floating Pumping Station in Constantza County. Ovidius University Annals Series: Civil Engineering, 13, 7-12.

Robert, B., & Erika, B. (2019). The SPA1 Cetate pumping station modernization, Floating pumping station and irrigation System. Scientific Bulletin of Politehnica University of Timisoara: Transactions on HYDROTECHNICS, 64(78), 42-45.