

Experimental investigation on the effect of geometric changes on the hydraulic performance of a single-blade Neyrpic X1 gate model, a comparison of data extraction methods

M. Salehi^{1,2*}, H. Ahmadi³ and K. Zeinalzadeh⁴

Extended Abstract

Introduction:

Among the most important structures of water intakes, various types of Neyrpic gates can be highlighted, which are now extensively used in irrigation and drainage networks in Iran. These water intake structures are designed to distribute water under non-uniform flow conditions in a way that ensures each branch canal receives its designated flow. These types of modular gates are selected to control water intake in canals and for some diversion dams, and included five types: X, XX, L, C, and CC. They are named with the index 1 or 2, indicating single-blade or double-blade respectively, and are used at the installation site according to the required water intake rate and hydraulic conditions. These modular gates can regulate flow within $\pm 5\%$ to $\pm 10\%$ to the nominal value range, over the entire upstream level. These devices control the flow through the combined weir and orifice method. In assessments conducted in Iran's irrigation networks, it has been observed that the discharge from the water intake gates is not equal to the nominal discharge, being higher in some intakes and lower in others. Due to existing restrictions and lack of specific instructions for domestic gates production, the specifications of the manufactured gates differ from standard gates.

Materials and Methods:

By reviewing national and international sources to select the geometric dimensions of the structure, it was observed that most of the geometric dimensions are in complete agreement; But a discrepancy of approximately 4 mm (4.4 mm actual) is estimated regarding the gate opening (vertical height of the blade relative to the crest of the spillway). Laboratory model 1, with an opening height of 90 mm, was constructed from the intersection point of the upstream and downstream slopes of the spillway. Laboratory model 2 which also had an opening height of 90 mm was prepared from the tangent line of the spillway's upper edge. It was placed in testing position with the blade located 4 mm lower than that of the first model. Consequently, the total opening of the gate was 94 mm and 90 mm for the first model and the second model, respectively. Also, in reviewing the available scientific sources, it was observed that there are three different methods for using the stage-discharge curve. Therefore, to investigate this duality in sources and determine the appropriate model, the laboratory data were collected, stage-discharge curves were drawn and three different data extraction methods were used for the two mentioned laboratory models. The stage-discharge curve derived from the first method aligned with those presented studies. The second method was proposed assuming that the design discharge is known at the break point on the stage-discharge curve between the first and third methods. Finally, the third method produced a stage-discharge curve consistent with other available scientific sources. In the present study, two statistical criteria were applied: root mean square error (RMSE) and coefficient of determination (R^2). The calculations were performed using Microsoft Excel.

Results and Discussions:

The general trend of the stage-discharge curves for the two laboratory models was similar; but due to the larger opening of the first model (94 mm), compared with the second model (90 mm), the flow head that led to the onset of blade interference differed. It changed from a higher head in the first model (approximately 16 mm) to a lower head in the second model (approximately 13.5 mm). Moreover, it was observed that changing the

1- PhD student in Hydraulic Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

2- Instructor, Department of Agricultural, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran.

3- Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

* Corresponding Author: mostafa.salehi@pnu.ac.ir, mo.salehy@urmia.ac.ir

Received: 2025/08/22

Accepted: 2025/11/05

angle from horizontal (zero degree) to slopes of ± 5 and ± 10 degrees reduced the gate flow coefficient and shifted the stage-discharge curve towards lower flow rates. This difference is attributed to the change the flume bottom slope which led to a change in the slope of the spillway and the geometric characteristics of the module gate. Comparing the stage-discharge curves of other related researches with the laboratory data of the current study revealed that the second laboratory model apparently had an appropriate agreement with the standard curve, while the first model showed a significant difference. In fact, in the first model with an opening of 94 mm (4 mm greater than the second), the flow interference started at a higher head and discharge. Also, a calculation table was created for five key points in the stage-discharge curve (Q , $1/1Q$, $1/05Q$, $0/9Q$, $0/95Q$) to determine the minimum root mean square error (RMSE), and the maximum coefficient of determination (R^2) across the six studied cases. These cases correspond to two laboratory models, each evaluated with three data extraction methods compared with standard data.

Conclusion:

The results indicated that the stage-discharge curves in model 2 demonstrated better alignment with the standard gate, compared with model 1 which had a larger opening. The laboratory data of model 1 were significantly higher than the design values across all three data extraction methods; while the laboratory data of Model 2 were slightly lower but close to the design values for all three methods. Consequently, model 2 could be approved for constructing the geometry of the X1 type module gate, and the basis for the gate opening recommended to be the tangent line to the curvature of the spillway. Also, the data extraction of method 2 showed better alignment with the experimental results, whereas the method 1 indicated a significant deviation. Therefore, given the importance of design points on the stage-discharge curve, the experimental results of the current study differed significantly from the method proposed in previous studies. Additionally, the impact of changes in blade angles and upstream and downstream spillway slopes (due to the presence of slopes in the flow) was investigated on the Stage-discharge curve, and the influencing factors in these differences were discussed.

Keywords: Neyrpic gate, Irrigation network, Stage-discharge curve

Citation: Salehi, M., Ahmadi, H., Zeinalzadeh, K., 2025. Experimental investigation on the effect of geometric changes on the hydraulic performance of a single-blade Neyrpic X1 gate model, a comparison of data extraction methods. Iranian Water Research Journal. 19(59). Pp. 115-132. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2025.15381.2709>

Copyright: © Authors, Published by Iranian Water Research Journal. This is an open-access article distributed under the CC-BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



بررسی آزمایشگاهی تاثیر تغییرات هندسی بر عملکرد هیدرولیکی مدل دریاچه یک تیغه‌ای نیروپیک تیپ X1 و مقایسه روش استخراج داده

مصطفی صالحی^{*}، حجت احمدی^۳ و کامران زینال زاده^۴

چکیده

از مهم‌ترین سازه‌های آبگیر مدول می‌توان به تیپ‌های مختلف دریاچه‌های نیروپیک اشاره نمود که در حال حاضر از آنها در شبکه‌های آبیاری و زهکشی به صورت گسترده استفاده می‌شود. این سازه‌های آبگیر به گونه‌ای طراحی می‌شوند تا بتوانند در شرایط غیرماندگار جریان، وظیفه تحویل آب را طوری انجام دهند که در نهایت به هر کانال فرعی مقدار مشخصی آب تحویل گردد. به منظور بررسی دقیق عملکرد این نوع سازه نسبت به دریاچه استاندارد و با هدف شناخت دقیق و تلاش برای بهبود کارکرد، دو مدل آزمایشگاهی دریاچه نیروپیک یک تیغه‌ای از نوع X1 در اندازه واقعی مورد آزمایش قرار گرفت. مدل آزمایشگاهی شماره ۱ با ارتفاع بازشدگی ۹۰ میلی‌متر از نقطه تلاقی دو شیب بالادست و پایین دست سرریز ساخته شد و در ادامه مدل آزمایشگاهی شماره ۲ با ارتفاع بازشدگی ۹۰ میلی‌متر از خط مماس لبه بالایی سرریز تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت که موقعیت تیغه مدل دوم نسبت به مدل اول به میزان ۴ میلی‌متر پایین‌تر بود. در واقع میزان بازشدگی کل دریاچه در مدل اول ۹۴ میلی‌متر و در مدل دوم ۹۰ میلی‌متر است. سپس داده‌برداری آزمایشگاهی روی هر دو مدل انجام گرفت. نتایج آزمایشگاهی با سه روش متفاوت استخراج داده از منحنی دبی-اشل پیشنهادی مراجع معتبر، مقایسه گردید و میزان انطباق و اختلاف نظرهای موجود در منابع با نتایج آزمایشگاهی بررسی و ارائه شد. در نهایت منحنی‌های دبی-اشل هر دو مدل آزمایشگاهی دریاچه، ترسیم گردید و با منحنی دبی-اشل دریاچه استاندارد با سه روش استخراج داده مقایسه شد. به طور کلی منحنی‌های دبی-اشل در مدل دوم نسبت به مدل اول (که دارای میزان بازشدگی بیشتری بود)، تطابق بهتری با منحنی دبی-اشل استاندارد نشان داد. همچنین مشاهده شد که روش دوم استخراج داده، انطباق بیشتری با نتایج آزمایشگاهی داشته، در حالی که روش اول فاصله معنی‌داری را با نتایج نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: دریاچه نیروپیک، شبکه آبیاری، منحنی دبی-اشل

ارجاع: صالحی، م. احمدی، ح. زینال زاده، ک. ۱۴۰۴. بررسی آزمایشگاهی تاثیر تغییرات هندسی بر عملکرد هیدرولیکی مدل دریاچه یک تیغه‌ای نیروپیک تیپ X1 و مقایسه روش استخراج داده. مجله پژوهش آب ایران. ۱۹ (۵۹): ۱۱۵-۱۳۲. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2025.15381.2709>

۱- دانشجوی دکتری تخصصی سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- مربی، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۳- استاد تمام، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۴- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

* نویسنده مسئول: mo.salehy@urmia.ac.ir، mostafa.salehi@pnu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۳۱

مقدمه

به دلیل راندمان کم توزیع آب در کانال‌ها و آبگیرها در شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور، نیاز به شبیه‌سازی جریان و حساسیت‌سنجی برای بهینه‌سازی عملکرد سازه‌های آبی احساس می‌گردد. با توجه به محدودیت‌های منابع آبی کشور و تلاش در راستای افزایش بازدهی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، وجود سازه‌های اندازه‌گیری دبی در شبکه‌های آبیاری بسیار ضروری بوده و تلاش‌های زیادی در خصوص طراحی، ارزیابی، مدل‌سازی آزمایشگاهی، مدل‌سازی عددی، کالیبراسیون و اصلاح این سازه‌های آبی مهم انجام گرفته است. در آبگیرهای مدول، بده جریان عبوری به سطح آب در کانال تغذیه کننده (اگر تغییرات آن در محدوده مجاز برای آبگیری مدول باشد) و سطح آب در کانال تغذیه شونده بستگی نداشته و بده نسبتاً ثابتی از آبگیر عبور می‌نماید. در این نوع آبگیرها، می‌توان جریان عبوری را در حد مناسب به صورت حجمی تعیین نمود، بدون آنکه به وسیله اندازه‌گیری جداگانه‌ای نیاز باشد. به همین دلیل، این نوع سازه آبگیری بر سایر انواع آبگیرها ترجیح داده می‌شود. اگر تغییرات سطح آب در کانال تغذیه کننده بیش از حد مجاز برای آبگیری مدول باشد در این صورت به ابنیه تنظیم سطح آب در کانال تغذیه کننده در پایین دست محل سازه آبگیری نیاز است. در ریچه‌های مدول، برحسب دقت مورد نظر در میزان بده عبوری در رابطه با تغییرات سطح آب در کانال تغذیه کننده ممکن است یک روزنه‌ای و یا با روزنه دوگانه طراحی شوند.

تیپ‌های مختلف آبگیرهای نیرپیک از مهمترین و رایج‌ترین نوع آبگیرهای مدول هستند. این نوع در ریچه‌های مدول به منظور آبگیری قابل کنترل در کانال‌ها و برخی از سدهای انحرافی انتخاب می‌شوند و شامل پنج تیپ X ، XX ، L ، C و CC بوده و با توجه به یک تیغه‌ای یا دوتیغه‌ای بودن به ترتیب با اندیس ۱ یا ۲ نامگذاری می‌شوند و با توجه به میزان برداشت آب مورد نیاز و شرایط هیدرولیکی، در محل نصب استفاده می‌شوند. جریان عبوری از این در ریچه‌های مدول می‌تواند در تمامی محدوده‌های تراز بالادست نزدیک به میزان اسمی و در فواصل ± 5 درصد تا ± 10 درصد بده، تغییر کند. این تجهیزات از طریق روش ترکیبی سرریز و روزنه، بده جریان عبوری را کنترل می‌کنند. شکل سرریز و فواصل نقاب‌های در ریچه‌های مدول به گونه‌ای خاص طراحی شده است و در ریچه‌های مدول می‌توانند با یک یا دو نقاب با توجه به ارتفاع آب بالادست، انتخاب شوند. گام‌های آبدی از ۵ تا ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه متغیر

می‌باشد. در ریچه‌های مدول XX و X ، برای آبگیرهای کوچک‌تر و نوع L و C ، برای آبگیرهای بزرگ‌تر استفاده می‌شوند. در در ریچه‌های مدول L و C می‌توان با افزایش واحدهای اضافی در ریچه مدول، افزایش بده را تا حد مورد نظر به دست آورد.

مدیریت بهره‌برداری شبکه آبیاری طالقان رود طی بیش از بیست سال بهره‌برداری به تجربه دریافته بودند که دقت اندازه‌گیری در ریچه‌های نیرپیک کمتر از حدودی است که در کاتالوگ‌های فنی شرکت مذکور ارائه شده است؛ بنابراین Razavi-Nabavi (1994) در پژوهشی حساسیت دقت اندازه‌گیری در ریچه‌های نیرپیک را در محل‌های نصب‌شده و در حین بهره‌برداری در شبکه انتقال و توزیع آب طالقان رود در دشت قزوین ارزیابی کردند. پس از انجام آزمایشات میدانی مشخص گردید که منحنی‌های دبی-اشل در ریچه‌های موجود در شبکه خصوصاً در ریچه‌های بزرگتر با منحنی‌های استاندارد تفاوت دارند. به این ترتیب ایشان نتیجه گرفت که همواره در سیستم توزیع آب کسری موازنه دبی تحویلی از سد و دبی توزیع شده در کانال مشاهده خواهد شد. Behzadi-Nasab et al. (2006) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی عملکرد و مسائل و مشکلات سازه اندازه‌گیری نیرپیک در شبکه‌های آبیاری و زهکشی دشت اوان و شمال شرق اهواز، به بررسی وضعیت موجود سازه آبگیر و اندازه‌گیری آب به وسیله در ریچه نیرپیک پرداختند. آنها با استفاده از نتایج اندازه‌گیری ۹۰ دستگاه سازه اندازه‌گیری نیرپیک در شبکه آبیاری دشت اوان و ۸۶ دستگاه سازه نیرپیک در شبکه ویس، اقدام به تحلیل و ارزیابی نمودند. نتایج آنها نشان داد که در کانال‌های شبکه‌های آبیاری و زهکشی ویس و اوان به ترتیب ۱۱ و ۲۵ درصد از سازه‌های آبدی اندازه‌گیری شده در محدوده ۹۰ تا ۱۱۰ درصد آبدی اسمی بودند. همچنین به ترتیب در ۷۵ و ۳۹ درصد از کل سازه‌های این دو شبکه، آبدی اندازه‌گیری شده کمتر از ۹۰ درصد آبدی اسمی و در ۱۴ و ۳۶ درصد به ترتیب در دو شبکه ویس و اوان در سازه‌ها مقدار آبدی اندازه‌گیری شده بیشتر از ۱۱۰ درصد آبدی اسمی بود. Kaviani-Kosarkhizi and Parvaresh-Rizi (2011) با هدف ارزیابی روش‌های اندازه‌گیری جریان آب در شبکه‌های آبیاری روباز در تعدادی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری کشور، شامل شبکه‌های واقع در بوشهر، بهبهان، ساوه، قزوین و ورامین روش‌های اندازه‌گیری جریان آب و تحویل حجمی آب را بررسی و پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط مسئولین و بهره‌برداران شبکه‌ها را مطالعه کردند. آنها با تحلیل

^۱. Double orifice

سازه‌های شبکه آبیاری و زهکشی ورامین نشان داد که سازه‌های نیرپیک موجود در این شبکه، حساسیت زیادی دارند و میزان حساسیت آنها را به تفکیک قسمت‌های مختلف شبکه و برای کانال‌های مختلف ارائه نمودند. (Afshani et al. (2022) طی یک پژوهش میدانی با هدف شناسایی نقاط ضعف، تهدید و فرصت از دید بهره‌برداران، کارشناسان و مدیران در شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین از ابزار پرسشنامه و مدل تحلیلی SWOT استفاده نمودند. نتایج مدل تحلیلی نشان داد که با افزایش اطلاعات و آگاهی واقعی بهره‌برداران شبکه درباره چالش‌های شبکه، آنها به جای مقابله و نگرش منفی، همراهی مسئولانه و دغدغه‌مندتر داشته و در راستای رفع تهدید، حذف نقاط ضعف، تقویت نقاط قوت و استفاده از فرصت‌ها، قدم‌های مؤثرتری برداشته‌اند. در نتیجه کارشناسان می‌توانند به منظور تسهیل امور آب‌بران، رفع ضعف و مقابله با تهدیدهای اثرگذار، با فعالیت‌هایی همچون ترویج شیوه‌های نوین آبیاری و کشاورزی و نمایش تجربیات موفق مدیریت مشارکتی آب‌بران در شبکه، اقداماتی راهگشا و کاربردی داشته باشند.

عملکرد دریاچه تحت تاثیر مستقیم سطح آب در بالادست قرار دارد. به‌طوری‌که (Pilpayeh et al. (2008) به ارزیابی هیدرولیکی مدول‌های نیرپیک در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مغان که تعداد آنها بالغ بر ۵۰۰ سازه در اندازه‌های متفاوت است، اقدام کردند. نتایج آنها نشان داد که دریاچه‌های با پایین دست آزاد کارایی به مراتب بهتری نسبت به دریاچه‌های با پایین دست مستغرق داشته و هر چه رقوم سطح آب افزایش یابد دقت دریاچه‌ها در تحویل آب کاهش می‌یابد.

(Naeimi et al. (2008) طراحی نوعی آبگیر جدید برای شبکه‌های آبیاری (چک آبگیر) را انجام دادند. وی بررسی‌های مختلفی روی دو نوع سیستم آبگیر متداول (آمریکایی و فرانسوی) انجام و نوع جدیدی از آبگیر تحت عنوان چک آبگیر را پیشنهاد داد. چک آبگیر دارای سیستمی ساده بوده و ترکیبی از هر دو نوع سیستم فوق با جمع‌آوری محاسن و حذف معایب می‌باشد. طرح پیشنهادی ایشان در مزارع سه شبکه شهید رجایی امیدیه، رامشیر و شادگان واقع در استان خوزستان انجام گرفت. این آبگیر جدید دارای سه نوع مختلف بود که نوع اول برای کانال‌های درجه ۱ و ۲، نوع دوم برای کانال‌های درجه ۳ و ۴ و نوع سوم آن تحت عنوان مقسم در کانال‌های درجه ۳ و ۴ پیشنهاد می‌گردد. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که عملکرد آبگیرها در زمینه سرعت عملکرد آبگیری، نشست رسوب در بالادست و تخلیه رسوب، مسائل بهره‌برداری و هزینه ساخت در مقایسه با دو نوع سیستم

پاسخ‌های به‌دست آمده و ثبت بازدیدهای میدانی، نواقص و کاستی‌های موجود در فرایند اندازه‌گیری جریان را بررسی و شبکه‌های مختلف را با توجه به ارزش‌گذاری فاکتورهای مختلف، از جنبه روش‌های اندازه‌گیری و مشکلات موجود با یکدیگر مقایسه کردند. این تحقیق نشان داد که اگرچه بطور کلی استفاده از مدول‌های نیرپیک بیشتر مورد پسند و رضایت بهره‌برداران است، اما عدم دقت در ساخت، نصب، بهره‌برداری و نگهداری آنها می‌تواند سبب بروز خطا در اندازه‌گیری شود که باید در این زمینه فعالیت‌های تحقیقاتی و آموزشی بیشتری انجام شود. ارزیابی عملکرد دریاچه‌های مدول نیرپیک به عنوان سازه آبگیر در قسمتی از کانال لنگرود واقع در شبکه آبیاری و زهکشی سد سفیدرود گیلان توسط (Habibi Kandbon et al. (2017) بررسی شد. بررسی‌های ایشان نشان داد که تعدادی از آبگیرها در تامین آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست خود با مشکل روبرو هستند و عدالت توزیع در اراضی تحت پوشش شبکه سفیدرود وجود ندارد. همچنین به دلیل عدم کارکرد صحیح برخی آبگیرها، مقدار زیادی آب بدون استفاده به هدر می‌رود و مشخص شد که همین تلفات آب توسط آبگیرها، دلیل اصلی کمبود آب در پایین‌دست شبکه است. آنها عوامل اصلی این اتلاف را فرسودگی آبگیرهای نیرپیک، عدم کارکرد صحیح سازه‌های تنظیم، فرسودگی کانال‌ها و نبود برنامه برای بهره‌برداری از شبکه توسط مسئولان بهره‌برداری اعلام کردند. تعامل هیدرولیکی سازه‌های آبگیر و جریان در کانال‌ها موجب ایجاد جریان غیرماندگار در کانال‌های آبیاری می‌گردد که محاسبه آن مستلزم بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی هیدرودینامیک است. یکی از مدل‌های ریاضی که در مطالعات شبکه‌های آبیاری نیز با موفقیت به کار گرفته می‌شود مدل ریاضی ICSS می‌باشد که توسط (Manz (1985 معرفی شده است. در تحقیقی توسط (Monem and Massah (2003 از این مدل ریاضی برای انواع مدل‌های دریاچه آبگیر نیرپیک به عنوان آبگیرهای جانبی کانال E1R1 مربوط به شبکه آبیاری و زهکشی سد دز برای چهار وضعیت شرایط جریان ماندگار، عملیات بهره‌برداری، شرایط جریان غیرماندگار و به‌روز نمودن اطلاعات استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل تهیه شده برای انواع تیپ‌های آبگیر نیرپیک به خوبی عمل نموده و می‌توان در شبیه‌سازی و مطالعات ارزیابی و بهبود عملکرد آنها استفاده کرد. در تحقیقی دیگر، ارزیابی شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌های نیرپیک مربوط به شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین با استفاده از مدل هیدرودینامیکی سوپک (Seyedjavad and Mashal (2014) انجام شد. بررسی‌های ایشان و آنالیز حساسیت هیدرولیکی در

بوده ولی براساس شاخص‌های راندمان، پایداری و عدالت تحویل آب، در سطح خوب قرار دارند. با توجه به این امر که دریاچه‌های نیرپیک یکی از مهمترین وسایل اندازه‌گیری جریان در شبکه آبیاری گرمسار می‌باشند، (Jorabloo and Sarkardeh (2010 اقدام به ارزیابی هیدرولیکی عملکرد آبیگرهای نیرپیک نصب شده در شبکه آبیاری دشت گرمسار نمودند. آنها در عمق‌های مختلف جریان بالادست دبی عبوری را اندازه‌گیری و ضرایب دبی دریاچه‌ها را مشخص کردند. نتایج اندازه‌گیری‌های آنها نشان داد که عمق اندازه‌گیری شده جریان در تاج سرریز در اکثر دریاچه‌ها بیشتر از مقادیر اسمی بود. همچنین دبی عبوری از دریاچه‌ها در ۳۰ درصد آبیگرها بیشتر و در ۶۶ درصد آبیگرها کمتر از مقادیر اسمی بود. در نهایت با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده دریاچه‌های نیرپیک را کالیبره کردند.

با توجه به نوع طراحی مدول‌های تیغه‌ای، تعیین حساسیت ارتفاع تیغه‌ها در تعیین سهم جریان عبوری از سرریز تیغه‌ها نسبت به کل دبی و سهم دبی هر مجرا اهمیت ویژه‌ای دارد که تعیین آنها در مدل‌های آزمایشگاهی امکان‌پذیر نیست. همچنین به دلیل پدیده اثر مقیاس در مدل‌های آزمایشگاهی، استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی در ظرفیت‌های بالاتر زمان‌بر و هزینه‌بر است. از این‌رو (Momeni-Heravi et al. (2019 شبیه‌سازی عددی جریان سه‌بعدی را در آبیگر مدول تیغه‌ای انجام دادند. تحقیق فوق با هدف ارزیابی کاربرد مدل‌های عددی سه‌بعدی در شبیه‌سازی جریان در مدول‌های تیغه‌ای برای بازتولید داده‌های مشاهده‌ای، تعیین سهم جریان عبوری از سرریز تیغه‌ها نسبت به کل دبی، سهم جریان عبوری از هر یک از مجراهای موازی و امکان‌سنجی استفاده از معادلات دبی-اشل برای سرریزها اجرا شد. به‌کارگیری نرم‌افزار Flow-3D نشان داد که این ابزار در شرایط تحت آزمون، نتایج بسیار قابل اعتمادی ارائه می‌دهد. همچنین (Salek (2017 اثر فاصله تیغه‌ها در دریاچه تیغه‌ای بر هیدرولیک را بررسی نمود. این تحقیق فقط به‌صورت عددی و توسط نرم‌افزار Flow-3D و بدون مدل آزمایشگاهی، برای مدول سه‌تیغه‌ای (غیرنیرپیک) انجام شده و اثر فاصله بین تیغه‌ها را بررسی کرده و فاصله مطلوب بین تیغه‌ها را برحسب دبی عبوری پیشنهاد داده است. مدول تیغه‌ای موازی را برای اولین بار (Mehrzaad (2014 پیشنهاد و عملکرد آن را در محیط آزمایشگاهی دانشگاه تهران برای ظرفیت‌های ۴ و ۷ و ۱۰ و ۱۴ لیتر بر ثانیه بررسی کرد. همچنین (Bijankhan et al. (2017، (Davari et al. (2015، (Vatankhah (2014، (Mishra et al. (1990، (Mishra et al. (2013، (Bijankhan and Kouchakzadeh (2012، (Bijankhan

آبیگر آمریکایی و فرانسوی دارای مزایای بهتری بوده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای دو نوع سیستم قبلی باشد.

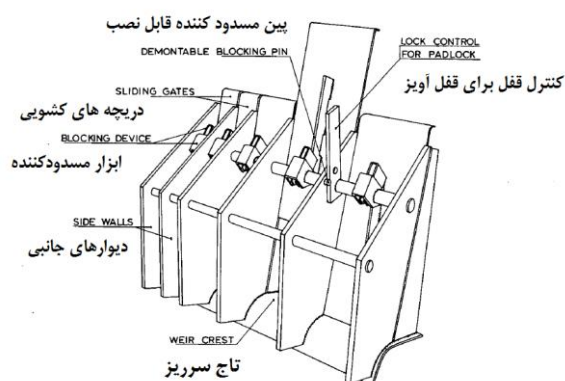
عملکرد هیدرولیکی و فنی و وضعیت بهره‌برداری سازه‌های تنظیم، توزیع و کنترل جریان در شبکه آبیاری به تعداد ۱۵ دریاچه آبیگر از نوع مدول نیرپیک و هفت سازه تنظیم سطح آب از نوع سرریز نوک اردکی، با کاربرد تجهیزات دقیق اندازه‌گیری دبی در شبکه آبیاری دشت ورامین توسط (Mohammadi et al. (2017 ارزیابی و مشخص گردید که ۸۳٪ خطا در آبدهی وجود داشته و به طور متوسط ۲۲٪ بیشتر از مقدار تعیین شده آب عبور می‌دهند. به منظور بررسی دقیق کارکرد دریاچه نیرپیک ساخت داخل ایران و مقایسه عملکرد و کارایی آن نسبت به دریاچه استاندارد با هدف شناخت دقیق و تلاش برای بهبود کارکرد، یک دستگاه دریاچه نیرپیک دوتیغه‌ای از نوع XX2 ساخت داخل در آزمایشگاه هیدرولیک گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس توسط (Nouri et al. (2015 آزمایش شد. آنها با مقایسه منحنی دبی-اشل ترسیم شده برای دریاچه تولید داخل با منحنی دبی-اشل استاندارد به این نتیجه رسیدند که دریاچه مورد آزمایش حدود ۵/۰ لیتر بر ثانیه دبی بیشتری را عبور می‌دهد و عوامل موثر بر این اختلاف را ارائه دادند. عملکرد هیدرولیکی سازه‌های اندازه‌گیری جریان آب و مشکلات بهره‌برداری این سازه‌ها در شبکه آبیاری دشت مغان اردبیل برای تعداد ۱۲۴۶ دریاچه آبیگر که برای کنترل و تنظیم سطح آب نصب شده بودند توسط (Akhavan et al. (2023 بررسی شد. در این شبکه به غیر از دریاچه‌های ورودی در محل بند، از دریاچه‌های کشویی به عنوان سازه‌های اندازه‌گیری جریان استفاده شده بود. دقیق نبودن سازه‌های اندازه‌گیری در این شبکه باعث گردید تا در اجرای بهسازی شبکه، حدود نیمی از سازه‌ها با دریاچه‌های نیرپیک تعویض گردند. ایشان متوسط خطای نسبی دبی واقعی و دبی اندازه‌گیری و درصد خطای نسبی اندازه‌گیری دبی در دریاچه‌های کشویی و دریاچه‌های نیرپیک، همچنین حداکثر اختلاف دبی برای دریاچه کشویی و دریاچه نیرپیک را برآورد نموده و در این راستا، توصیه‌های لازم شامل کنترل و اصلاح بهینه و کالیبراسیون سازه‌ها را ارائه کردند.

ارزیابی عملکرد هیدرولیکی و بهره‌برداری دریاچه‌های مدول نیرپیک آبیگرهای واقع بر کانال اصلی توزیع آب در شبکه آبیاری یامچی استان اردبیل در محدوده‌ای به طول ۴ کیلومتر با ۷ آبیگر توسط (Kanooni et al. (2019 ارزیابی شد. ایشان نتیجه گرفتند که دقت اندازه‌گیری جریان در همه آبیگرها بالا بوده و تحویل آب به بهره‌برداران با خطای کم صورت گرفته است و حداکثر خطای نسبی را حدود ۱۰/۶ درصد محاسبه کردند. همچنین آنها نشان دادند که عملکرد کانال توزیع آب از بابت شاخص کفایت تحویل آب ضعیف

شیب منحنی دبی-اشل (شکل‌های ۶ و ۷) می‌باشد. عملکرد هیدرولیکی قسمت بالایی منحنی از رابطه (۴) مربوط به بخش روزنه‌ها بوده که C ضریب آبگذری روزنه، A سطح مقطع روزنه به مترمربع و h بار آبی به متر (اختلاف ارتفاع سطح آب بین طرفین روزنه) و Q دبی عبوری به مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

$$Q = CA\sqrt{2gh} \quad (4)$$

محدوده نوسانات سطح آب در کانال اصلی که منجر به تغییرات در دبی آبگیر در محدوده $\pm 5\%$ درصد و یا $\pm 10\%$ درصد می‌گردد در جدول ۱، آورده شده است. در داخل جدول ۱، دبی‌ها برحسب لیتر بر ثانیه و تراز سطح آب برحسب سانتی‌متر می‌باشند. با استفاده از این داده‌ها می‌توان مناسب‌ترین رقوم برای استقرار مدول را با توجه به شرایط هیدرولیکی کانال آبدۀ انتخاب کرد (Amiri Tokladany and Siahi, 2015).



شکل ۱- آبگیر مدول نیرپیک یک نقابه تیپ X1 (Bos, 1989)

به منظور ارزیابی کارکرد دریاچه نیرپیک یک تیغه‌ای نوع X1 از یک مدل آزمایشگاهی با مقیاس واقعی (۱:۱) استفاده شد. این مدل از پلکسی‌گلاس شفاف ساخته شده و بر روی یک سرریز از جنس ورقه‌های گالوانیزه نصب شد. هندسه سرریز با استفاده از نرم‌افزار اتوکد ترسیم و سپس با دقت بالا و به روش لیزری برش داده شد و در نهایت قطعات با چسب سیلیکونی به یکدیگر متصل شدند (شکل ۲). از دلایل انتخاب مقیاس واقعی به جای مقیاس کوچکتر برای مدل آزمایشگاهی می‌توان به تفاوت ناچیز هزینه ساخت مدل، بزرگی ابعاد فلوم آزمایشگاهی و تامین دبی مورد نیاز که امکان ساخت و نصب مدل با مقیاس واقعی را فراهم می‌سازد، اشاره کرد. مدل ساخته شده در فلوم آزمایشگاهی به طول ۶ متر، عرض یک متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر نصب شد. در شکل‌های ۳ و ۴ نماهای مختلف آزمایشگاهی نشان داده شده‌اند. تجهیزات اندازه‌گیری دبی جریان شامل سرریز مثلثی و دبی‌سنج آلتراسونیک برای کالیبره‌سازی سرریز مثلثی و تجهیزات اندازه‌گیری عمق جریان بر روی فلوم مستقر شد. فلوم دارای

(2017) et al. و (2018) Bijankhan et al. کارهای مشابه‌ای در مورد تأثیر سرریز تیغه‌ها انجام داده‌اند.

همانگونه که اشاره گردید در ارزیابی‌های انجام شده در شبکه‌های آبیاری کشور مشاهده گردیده است که دبی خروجی از دریاچه‌های آبگیر برابر دبی اسمی نبوده و در برخی از آبگیرها بیشتر و در برخی آبگیرها کمتر از میزان طراحی می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های موجود و نبود دستورالعمل مشخص برای تولید این دریاچه‌ها در داخل کشور، مشخصات دریاچه‌های تولیدی با دریاچه‌های استاندارد متفاوت است. در این تحقیق به منظور بررسی دقیق کارکرد دریاچه‌های نیرپیک بدون تأثیر عوامل دیگر، یک مدل آزمایشگاهی یک تیغه‌ای از نوع تیپ X1 مطابق با ابعاد استاندارد ساخته شده است؛ به گونه‌ای که میزان بازشدگی دریاچه در دوحالت متفاوت قرار گرفته باشد و در ادامه داده‌های آزمایشگاهی آنها با منابع علمی موجود تطابق داده شده و سپس نتایج به دست‌آمده ارائه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

نمای شماتیک از آبگیر مدول نیرپیک یک نقابه (یک تیغه‌ای) تیپ X1 مورد استفاده در این تحقیق، در شکل ۱، نشان داده شده است. عملکرد هیدرولیکی سازه آبگیر نیرپیک شامل دو بخش سرریز و روزنه می‌باشد. با رسم منحنی دبی-اشل (شکل‌های ۶ و ۷) مشاهده می‌شود که در جریان هیدرولیکی با رقوم سطح آب پایین‌تر از تراز تاج سرریز فقط بخش سرریز این سازه وارد عمل شده و عملکرد قسمت ابتدایی منحنی دریاچه با توجه به رابطه (۱) است. در این رابطه Q مقدار دبی عبوری از روی سرریز برحسب مترمکعب بر ثانیه، C ضریب آبگذری سرریز، L عرض گلوگاه در مقطع تنگ شونده فلوم در محل آبگیر به متر و H هد کل آب (رابطه ۲) به متر بوده که معرف مجموع ارتفاع سطح آب (d) و ارتفاع معادل بار سرعت (h_v) به متر می‌باشد (رابطه ۳). قابل ذکر است که به دلیل سرعت بسیار پایین جریان در فلوم مشاهده گردید که بار سرعت مقدار ناچیزی داشته و قابل صرف نظر بوده ولی برای بالا بردن دقت محاسبات این اصلاح در بار سرعت انجام شد.

$$Q = CLH^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

$$H = d + h_v \quad (2)$$

$$h_v = \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (3)$$

در ادامه با افزایش رقوم سطح آب عملکرد هیدرولیکی سازه نیرپیک از سرریز آزاد تبدیل به روزنه شده و عمل تداخل جریان با تیغه انجام می‌گیرد که همراه با کاهش ضریب آبگذری و تغییر



شکل ۳ - داده‌برداری از مدل در حین آبیگری و قرائت اشل



شکل ۴ - نمای جانبی مدل دریچه نیروپیک در حین آبیگری

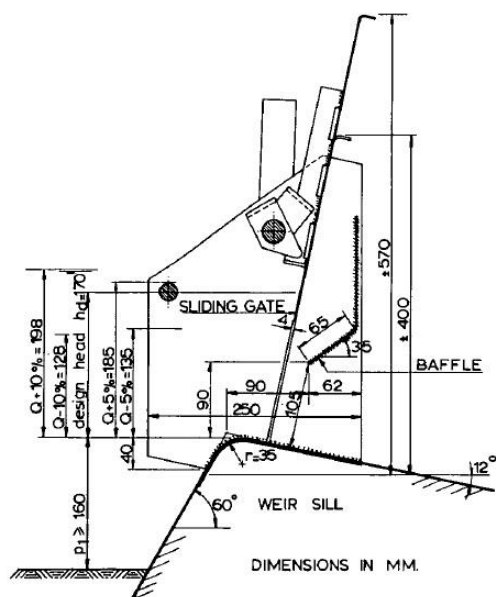
قابلیت تغییر در شیب بوده ولی در شیب صفر درجه افقی تنظیم گردید. دریچه آبیگر دارای عرض ۳۰ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و با قابلیت تغییر در هندسه سازه، در مسیر جریان در فلوم اصلی نصب شد. جریان بعد از عبور از فلوم وارد تانک ذخیره آب شده و پس از عبور از یک سرریز مثلثی با زاویه قائمه دوباره به مخزن ذخیره می‌گردد. در ابتدا سرریز مثلثی توسط جریان سنج اولتراسونیک کالیبره و رابطه دبی-اشل مشخص شد (شکل ۵). آبیگر نیروپیک تیپ X1 شامل یک سرریز با ارتفاع ۱۶۰ میلی‌متر است و زوایای ۶۰ و ۱۲ درجه نسبت به افق دارد. روی این سرریز، یک قوس با شعاع ۳۵ و طول کمان ۴۵/۲۴ میلی‌متر وجود دارد. دو تیغه روی سرریز قرار می‌گیرد که اولین تیغه، مورب بوده و ابعاد آن ۶۵ میلی‌متر و زاویه نسبت به افق ۳۵ درجه است. تیغه دوم نیز یک تیغه عمودی به طول ۲۱۳ میلی‌متر است (شکل ۶) (Bos, 1989).



شکل ۵ - مدل آزمایشگاهی دریچه نیروپیک تیپ X1

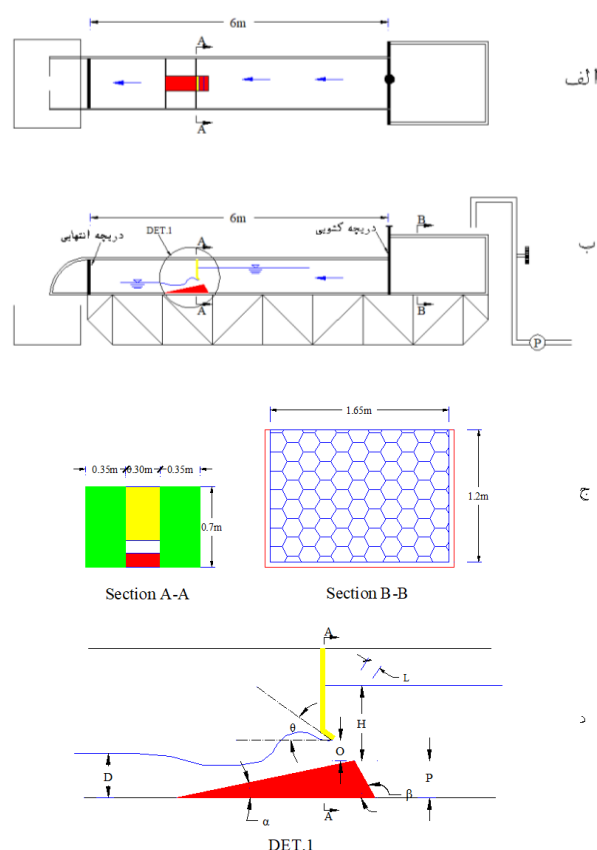
جدول ۱- حدود تغییرات مجاز تراز سطح آب در مدول‌های تیپ (اعداد بر حسب سانتی‌متر)

تیپ	Q	H _{min}	H _{min}	H	H _{max}	H _{max}	حداقل پاشنه
	l/s/dm	(0.90Q)	(0.95Q)	(Q)	(1.05Q)	(1.1Q)	P _{min}
یک‌تپه	X1	۱۰	۱۳	۱۳/۵	۱۷	۱۸/۵	۱۶
	XX1	۲۰	۲۰	۲۱/۵	۲۷	۲۹/۵	۲۵
	L1	۵۰	۳۷	۳۹/۵	۵۰	۵۴/۵	۴۷
	C1	۱۰۰	۵۹	۶۲/۵	۷۹	۸۶	۷۵
	CC1	۲۰۰	۹۴	۱۰۰	۱۲۶	۱۳۷	۱۱۸
دو تپه	X2	۱۰	۱۳	۱۳/۵	۱۷/۵	۲۸	۱۷
	XX2	۲۰	۲۰	۲۱	۲۸	۴۴	۲۶
	L2	۵۰	۳۷	۳۹	۵۱	۸۲	۴۹
	C2	۱۰۰	۵۹	۶۲	۸۱	۱۳۰	۷۷
	CC2	۲۰۰	۹۴	۹۹	۱۲۹	۲۰۶	۱۲۲



شکل ۶- ابعاد هندسی استاندارد (میلی متر) در مدول یک نقابه
نبریک تبب (Bos, 1989)

در هنگام بررسی منابع ایرانی و خارجی برای انتخاب ابعاد هندسی سازه مشاهده گردید که اکثر ابعاد هندسی ارائه شده در منابع علمی با یکدیگر مطابقت کامل دارند ولی در میزان بازشدگی دریاچه (ارتفاع عمودی تیغه نسبت به تاج سرریز) به میزان حدودی ۴ میلی‌متر (عدد واقعی برآوردی معادل ۴/۴ میلی‌متر) اختلاف نظر وجود دارد. در برخی منابع هیچ اشاره‌ای به زوایا و فواصل تیغه‌ها نشده و در برخی منابع نیز اختلافاتی در نقشه سازه وجود دارد. بدین منظور ابعاد هندسی ارائه شده توسط Bos (1989) مبنا قرار گرفت و اختلاف میان میزان بازشدگی تیغه (حدود ۴ میلی‌متر) با میزان ۹۰ میلی‌متر بازشدگی - که در برخی منابع از خط مماس بر تاج سرریز و در برخی منابع از نقطه تلاقی شیب‌های بالادست و پایین‌دست سرریز محاسبه شده بود (شکل ۷) - در ساخت دو مدل آزمایشگاهی و در قالب چندین آزمایش مجزا بررسی شد. روش کار بدین ترتیب بود که ابتدا مدل آزمایشگاهی شماره ۱ با ارتفاع بازشدگی ۹۰ میلی‌متر از نقطه تلاقی دو شیب بالادست و پایین‌دست سرریز تهیه و بعد از چسب کاری مورد آزمایش قرار گرفت (با مقدار بازشدگی کل ۹۴ میلی‌متر) و در ادامه مدل آزمایشگاهی شماره ۲ با ارتفاع بازشدگی ۹۰ میلی‌متر از خط مماس لبه بالایی سرریز تهیه و بعد از چسب کاری مجدداً مورد آزمایش قرار گرفت که موقعیت تیغه نسبت به مدل قبلی به میزان ۴ میلی‌متر پایین‌تر قرار داشت. عرض دریاچه انتخاب شده برای هر دو مدل آزمایشگاهی برابر ۳۰ سانتی‌متر بود که با توجه به مقیاس ۱:۱ و انتخاب تیپ X1، برای عبور دبی ۳۰ لیتر بر



شکل ۵ - نمایی از فلوم آزمایشگاهی و اجزای آن (الف: پلان، ب: مقطع طولی، ج: نمای جلو، د: نمای جانبی)

جزئیات مدل آزمایشگاهی (شکل ۵) عبارتند از:

H: هد کلی، جریان در بالادست

D: عمق یائین دست جریان

0: بازشدگی دریچه مدول

$P = 160 \text{ mm}$: یاشنه سرریز

$L = 65 \text{ mm}$: طول تیغه یائینی

$r = 35 \text{ mm}$: شعاع انحنای تاج سرریز

$$\alpha = 12^\circ : \text{زاویه شیب یائین دست سرریز}$$
$$\beta = 60^\circ: \text{زاویه شیب بالادست سرریز}$$
$$\theta = 35^\circ : \text{زاویه تیغه شیبدار نسبت به افق}$$

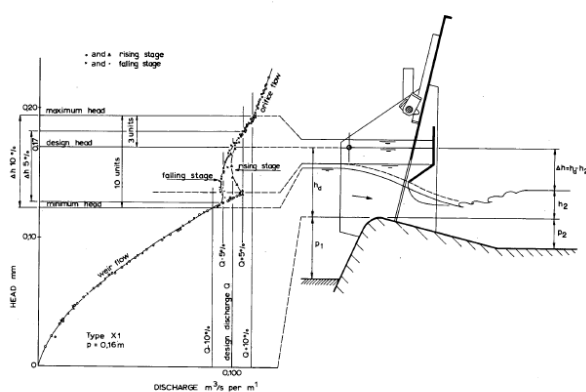
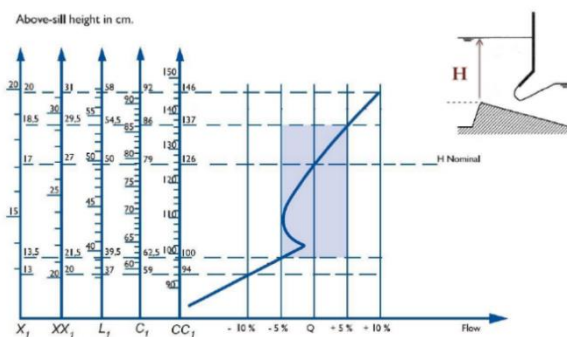


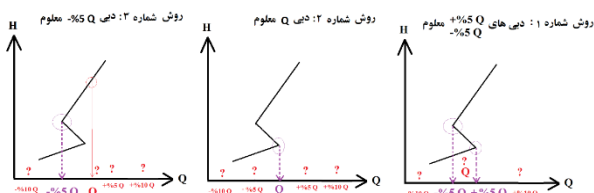
Figure 8.24 Discharge characteristics of Neeyric module Type X1

شکل ۸- منحنی دبی - اشل استاندارد تیپ X1 (Bos, 1989)

منحنی مشخصه برای دریچه نریک یک تیفه :



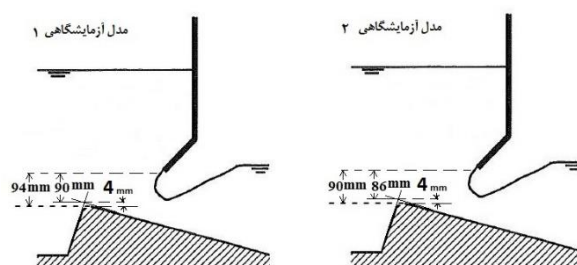
شکل ۹- منحنی دبی - اشل استاندارد برای تیپ‌های مختلف یک
نقابه (Khan-Ahmadi, 2015; Amiri Tokladany and Siah, 2015; Ankum, 2002; Basafa et al., 2016)



شکل ۱۰- سه روش پیشنهادی متفاوت برای استخراج داده از منحنی دبی-اشل و برآورد مقادیر دبی و هد

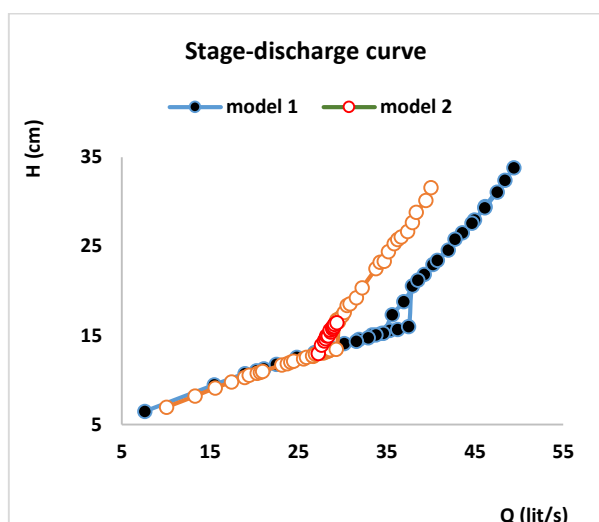
برای ارزیابی عملکرد مدل‌های رگرسیونی و تعیین خطاها از معیارهای مختلفی استفاده می‌گردد. از مهمترین این معیارها می‌توان به معیار میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین مربعات خطا (MSE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) و ضریب تعیین (R-Squared) که با R^2 نشان داده می‌شود، اشاره نمود. در مقام مقایسه معیار خطاها در مدل‌های رگرسیونی، هر کدام از معیارهای MAE, MSE, RMSE و MAPE که مقدار کمتری داشته باشند یا ضریب تعیین R^2 مقدار بیشتری داشته باشد،

ثانیه و هد ۱۷ سانتی‌متر مناسب می‌باشند که برای بررسی تاثیر میزان بازشدگی دریچه آزمایش شدند. نتایج آزمایشگاهی در قالب منحنی‌های دبی-اشل ارائه (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) و با منحنی‌های مشابه موجود در دیگر منابع معتبر مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت.

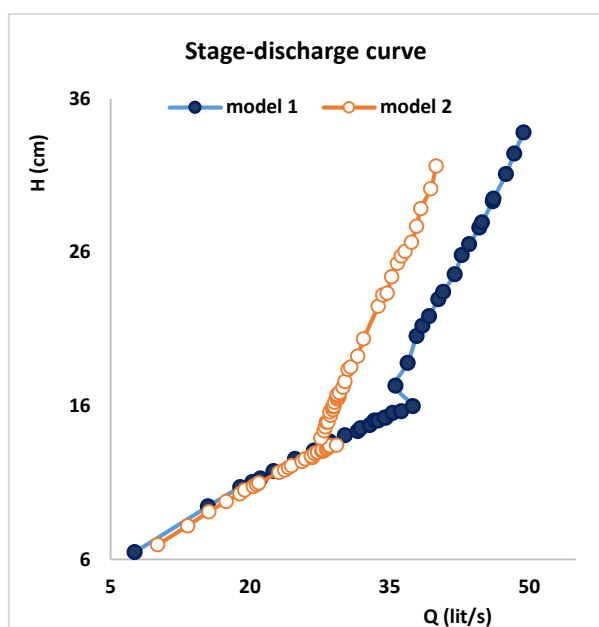


شکل ۷- ابعاد هندسی دو مدل آزمایشگاهی شماره ۱ و شماره ۲ و بررسی آزمایشگاهی تاثیر اختلاف بازشدگی به مقدار ۴ میلی‌متر

همچنین در بررسی منابع علمی موجود مشاهده گردید که سه روش متفاوت در استفاده از منحنی دبی-اشل وجود دارد. در برخی منابع مانند Bos (1989) نقاط مهم $+5Q$ درصد و $-5Q$ درصد، مشخصاً منطبق بر نقاط شکستگی منحنی دبی-اشل بوده ولی نقطه دبی طرح (Q) میان این دو نقطه قرار دارد (شکل ۸). از طرفی در منابع دیگر مانند Amiri (2015) Tokladany and Siah et al. (2004); Ankum (2002); Basafa et al. (2016) و Khan-Ahmadi (2015) مشاهده شد که فقط نقطه $-5Q$ درصد منطبق بر شکست منحنی دبی-اشل بوده و محل سایر نقاط همچون دبی طراحی (Q) و نقطه $+5Q$ درصد نامشخص می‌باشند (شکل ۹). لذا در این پژوهش برای بررسی این دوگانگی در منابع و تعیین مدل مناسب، ابتدا اقدام به اندازه‌گیری داده‌های آزمایشگاهی و ترسیم منحنی‌های دبی-اشل برای دو مدل آزمایشگاهی مورد اشاره (شکل ۷) شد و در ادامه برای هر دو مدل آزمایشگاهی مذکور، سه روش مختلف استخراج داده استفاده شد. روش اول منطبق بر منحنی دبی-اشل ارائه شده توسط Bos (1989) بوده (شکل ۸)، روش دوم یک روش پیشنهادی مبنی بر معلوم بودن نقطه دبی طراحی روی نقطه شکست منحنی دبی-اشل مابین دو روش اول و سوم بوده و در نهایت روش سوم منطبق بر منحنی دبی-اشل ارائه شده در سایر منابع علمی موجود مانند Amiri-Tokladany and Siah (2015) است (شکل ۹) که نقطه $-5Q$ درصد را مشخص کرده ولی نقاط دبی طرح (Q) و $+5Q$ درصد نامشخص می‌باشند. این سه روش کار با منحنی دبی-اشل به صورت شماتیک در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- منحنی‌های دبی- اشل برای دو مدل آزمایشگاهی (مرتب شده بصورت دبی با شاخه‌های افزایشی و کاهش)



شکل ۱۲- منحنی‌های دبی - اشل برای دو مدل آزمایشگاهی (مرتب شده بصورت هد افزایشی)

همچنین برای تعیین تاثیر تغییر زوایای سازه بر منحنی دبی-اشل دریاچه نیرپیک، آزمایشات در شیب‌های مختلف مثبت و منفی بدنه سرریز تکرار گردید و مشاهده شد که حتی با تغییرات بسیار کم در شیب بدنه سرریز (تغییر شیب با تنظیم شیب فلوم انجام گردید)، منحنی‌های دبی-اشل در هر دو مدل آزمایشگاهی تغییرات زیادی از خود نشان می‌دهند (شکل ۱۳). علت اصلی تغییر مسیر منحنی دبی-اشل با تغییر شیب بدنه آبگیر نیز مربوط به تغییر زوایای اجزای دریاچه مانند شیب بالادست سرریز، شیب پایین دست سرریز، شیب قسمت عمودی تیغه دریاچه و شیب قسمت مایل تیغه دریاچه بوده که با افزایش یا کاهش شیب بدنه آبگیر این زوایا نیز تغییر می‌نمایند.

معیار تشخیص مدل انتخابی می‌باشد. هر کدام از این معیارها دارای ویژگی‌های خاصی بوده و بر موارد مشخصی تاکید داشته و در حل مسائل خاصی استفاده می‌شوند. معیار RMSE بیشتر در مدل‌های هیدرولوژی و هیدرولیکی و مباحث مهندسی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این معیار، وزن دهی بیشتر به خطاهای بزرگتر بهتر است. RMSE از رابطه (۵) محاسبه می‌شود. معیار R^2 نشان‌دهنده میزان مطابقت یک مدل رگرسیون با داده بوده و بازه این معیار از ۰ تا ۱ متغیر است. معیار R^2 از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - \hat{q}_i)^2} \quad (5)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \hat{q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} \quad (6)$$

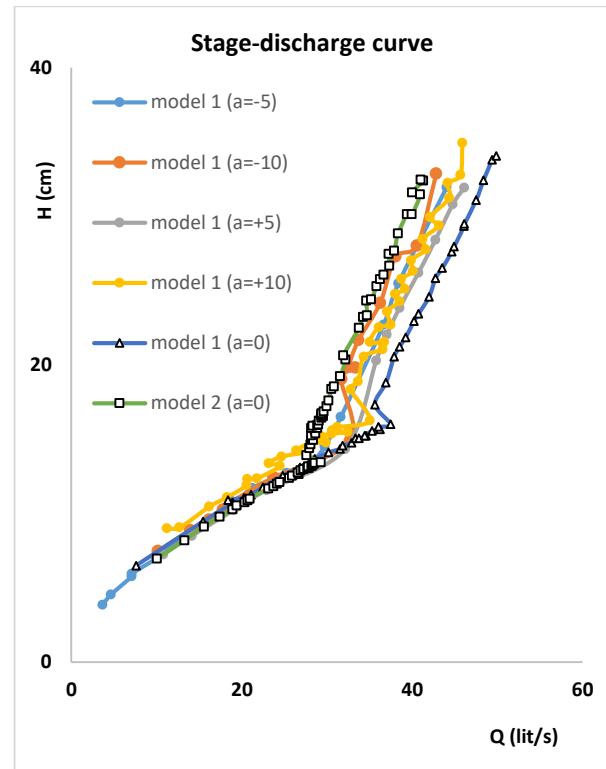
در این روابط q_i مقدار دبی اندازه‌گیری شده، $\hat{q}_i$ مقدار دبی پیش‌بینی شده مطابق گراف استاندارد، $\bar{q}$ مقدار متوسط دبی، n تعداد مشاهدات، SSE مجموع مربع باقیمانده و SST مجموع کل مربعات می‌باشد. در تحقیق حاضر از دو معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین R^2 استفاده گردید.

نتایج و بحث

مراحل انجام آزمایشات به اینصورت است که جریان آب توسط یکی از پمپ‌های انتخاب شده وارد فلوم می‌گردد. در ابتدا از کمترین دبی شروع و با گام‌های تقریباً مساوی اقدام به افزایش دبی نموده و پس از رسیدن به هد حداکثر در ادامه روند کاهش دبی را دنبال کرده تا منحنی‌های رفت و برگشت دبی-اشل به دست آید (شکل ۱۱). برای هر بار تغییر دبی و قرائت هد باید حداقل ۵۰ تا ۶۰ دقیقه وقت صرف نمود تا شرایط به حالت پایدار رسیده و سپس اقدام به قرائت عمق آب در بالادست دریاچه و همچنین هد آب در مخزن انتهایی فلوم قبل از عبور از سرریز مثلی نمود. با تکرار این آزمایشات، نقاط پرت ناشی از خطا مانند نوسانات دبی و پمپ شناسایی و حذف شدند. همچنین برای تطابق و مقایسه منحنی‌های دبی-اشل به دست آمده با منحنی استاندارد ارائه شده در منابع علمی (شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰)، داده‌ها بصورت هد افزایشی مرتب و مجدداً منحنی‌های دبی-اشل ترسیم شد (شکل ۱۲).

ولی با شروع تداخل جریان با تیغه مایل و با افزایش جزئی در میزان دبی ورودی، افزایش ناگهانی و زیاد هد آب در منحنی دبی-اشل رخ می‌دهد. در واقع با شروع تداخل جریان و تشکیل گردآبه‌های دوگانه متقارن، جریان از حالت ریزشی آزاد تبدیل به روزنه گردیده و به دلیل ضریب دبی پایین‌تر روزنه نسبت به سرریز آزاد، مجموعه آبگیر مجبور به افزایش زیاد هد می‌شود تا در هد بالاتری این دبی را عبور دهد. بعد از این مرحله و افزایش زیاد تراز آب، روند تغییرات ملایم و تقریباً مشابه خطی بوده تا به هد و دبی‌های بالاتر برسد. نکته قابل توجه این است که در منحنی برگشت و در هنگام کاهش تدریجی دبی با گام‌های کوچک، کاهش هد و پایین آمدن تراز سطح آب رخ داده ولی به نقطه قبل از تداخل متصل نمی‌گردد، بلکه این روند کاهشی در دبی و هد منجر به دبی‌های پایین‌تر شده اما همچنان سطح آب در تراز بالاتری مشاهده می‌شود که این امر نیز به دلیل ضریب دبی کمتر روزنه نسبت به سرریز است. پس از آن، تراز سطح آب ناگهان در یک نقطه خاص و با کاهش جزئی در دبی ورودی، به شدت کاهش می‌یابد و جریان از حالت روزنه‌ای و تداخلی همراه با گردآبه‌ها و آشفتگی زیاد به حالت جریان ریزشی و آزاد تبدیل می‌گردد. نتیجه اینکه تغییر در دبی در گام‌های کوچک و تدریجی و ترسیم منحنی‌های رفت و برگشت (شکل ۱۱)، منجر به منحنی دبی-اشل استاندارد (مشابه شکل‌های ۸ و ۹) نخواهد شد و نقاط برداشتی و ثبت شده در منحنی دبی-اشل بصورت ناگهانی از شاخه اول به شاخه سوم و برعکس جابجا می‌شوند و عملاً شاخه دوم هیچگاه دارای نقطه برداشت نخواهد شد. بنابراین برای استخراج منحنی دبی-اشل، لازم است داده‌ها براساس مقادیر هد بصورت صعودی یا نزولی مرتب شوند تا منحنی دبی-اشل مورد نظر به دست آید (شکل ۱۲).

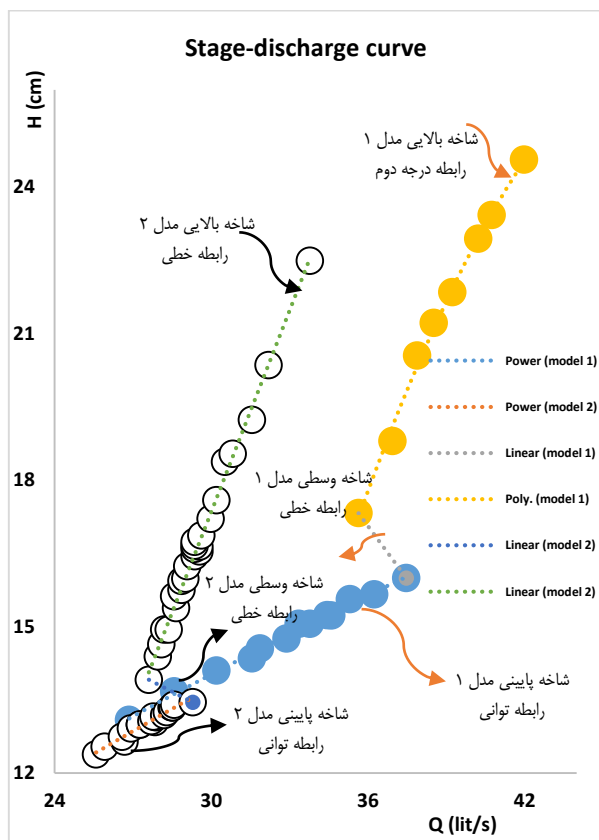
با مقایسه قسمت‌های مختلف دو منحنی ترسیم شده مربوط به دو مدل آزمایشگاهی در شکل ۱۲، مشاهده می‌گردد که هر دو مدل در شاخه پایینی تطابق خوبی با یکدیگر دارند که در واقع معرف جریان آزاد روی سرریز و بدون تداخل تیغه می‌باشد. با وجود آنکه خود دریچه نیرپیک به عنوان مقطع کنترل نقش ایفا می‌کند و ظاهراً تخلیه جریان مستقل از شیب کف فلوم می‌باشد ولی همانطور که در شکل ۱۳ دیده می‌شود، در مواردی که داده‌برداری در شرایطی انجام شد که شیب کف فلوم در وضعیت کاملاً افقی قرار نداشت، منحنی‌های دبی-اشل (مدل ۱) با اختلاف محسوسی جابجا می‌شوند. به‌طور کلی مشاهده می‌شود که با تغییر زاویه بدنه دریچه از حالت افقی (شیب صفر) به شیب‌های $\pm 5^\circ$ و $\pm 10^\circ$ درجه، ضریب دبی دریچه کاهش پیدا کرده و منحنی دبی-اشل به سمت دبی‌های کمتر جابجا می‌شود.



شکل ۱۳- منحنی‌های دبی-اشل برای دو مدل آزمایشگاهی در اثر تغییر شیب بدنه سازه

برای برآورد صحیح هد کل در منحنی دبی-اشل، اقدام به محاسبه بار سرعت نموده و مجموع اشل قرائت شده و بار سرعت در محاسبات مربوطه منظور گردید. همچنین برای محاسبه بار سرعت از عمق کل جریان در بالادست دریچه استفاده شده است. در اینجا منظور از هد آب و قرائت اشل، قرائت عمق از سطح آب تا لبه تاج سرریز بوده و ارتفاع پاشنه سرریز از عمق کل جریان کسر گردیده است. به منظور جلوگیری از خطای ناشی از نوسانات زیاد پمپ‌ها و حذف داده‌های پرت، اقدام به تکرار زیاد آزمایشات و برداشت‌های مختلفی با انتخاب متناوب هر دو پمپ فعال در آزمایشگاه گردید و همچنین برای برداشت هر تغییر در دبی و هد، نزدیک به یک ساعت زمان صرف شد.

همانگونه که در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود، روند کلی دو منحنی شبیه یکدیگر بوده ولی به علت بازشدگی بیشتر مدل اول (۹۴ میلی‌متر) نسبت به مدل دوم (۹۰ میلی‌متر)، هد جریان آب که منجر به شروع تداخل تیغه مدل می‌گردد، متفاوت بوده و از هد بالاتر در مدل اول (حدوداً ۱۶ میلی‌متر) تا هد پایین‌تر در مدل دوم (حدوداً ۱۳/۵ میلی‌متر) تغییر می‌کند. همچنین تا قبل از شروع تداخل تیغه، افزایش تراز آب همراه با افزایش میزان دبی عبوری از روی سرریز بصورت آزاد می‌باشد. این افزایش دبی عبوری تا هنگام تاثیر تیغه مایل ادامه داشته



شکل ۱۴- خلاصه نتایج داده‌برداری واقع در محدوده مجاز $\pm 5\%$ درصد تا $\pm 10\%$ درصد دبی برای هر دو مدل آزمایشگاهی

به منظور ترسیم منحنی دبی-اشل برای داده‌های برداشت شده و همچنین تعیین معادله ریاضی هر قسمت از منحنی دبی-اشل در مدل‌های آزمایشگاهی از نرم‌افزار Microsoft Excel استفاده شد. رابطه ریاضی قسمت‌های مختلف منحنی دبی-اشل برای دو مدل آزمایشگاهی در جدول ۲، ارائه شده است. همانگونه که اشاره گردید، روابط دبی-اشل ارائه شده توسط منابع مختلف علمی با یکدیگر مطابقت نداشته و بنابراین سه روش متفاوت برای استخراج داده از منحنی دبی-اشل انتخاب و بررسی شد (شکل ۱۰) و سپس نتایج با یکدیگر مقایسه شدند. با ملاحظه در منحنی دبی-اشل استاندارد ارائه شده توسط Bos (1989) (روش شماره ۱ در شکل ۸) و منحنی دبی-اشل استاندارد ارائه شده توسط Amiri Tokladany and Siah (2015) (روش شماره ۳ در شکل ۹) و همچنین با فرض استخراج داده مبنی بر معلوم بودن نقطه دبی طراحی روی نقطه شکست منحنی دبی-اشل (روش شماره ۲)، در مجموع سه روش استخراج داده بررسی و با یکدیگر مقایسه شدند که خلاصه‌ای از مختصات نقاط مهم هر دو مدل آزمایشگاهی برای سه روش انتخاب شده را با استفاده از روابط ریاضی جدول ۲، به صورت جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به اینکه هر دو مدل

دلیل توجیهی این اختلاف در منحنی‌ها این بوده که در واقع تغییر زاویه شیب کف فلوم از حالت صفر نسبت به افق منجر به تغییر در شیب بدنه سرریز و مشخصات هندسی دریاچه مدول می‌گردد. این تغییرات عبارت بودند از: زاویه شیب بالادست سرریز (۶۰ درجه)، زاویه پایین دست سرریز (۱۲ درجه)، زاویه تیغه مایل (۳۵ درجه) و زاویه تیغه عمودی (۹۰ درجه). بعد از رویت این اختلافات، شیب بدنه دریاچه کاملاً افقی تنظیم شد تا در حالت مشابه با دریاچه استاندارد قرار بگیرد.

همانگونه که از مقایسه منحنی‌های دبی-اشل منابع علمی (شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰) با نتایج داده‌های آزمایشگاهی مرتب شده (شکل ۱۲) مشاهده می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که ظاهراً مدل آزمایشگاهی دوم تطابق بسیار خوبی با منحنی استاندارد داشته ولی مدل اول اختلاف فاحشی از خود نشان داده است. در واقع مدل اول دارای بازشدگی ۹۴ میلی‌متر بوده و میزان بازشدگی بیشتری (۴ میلی‌متر) داشته و شروع تداخل جریان را در هد و دبی بالاتری انجام می‌دهد و تقریباً برای دبی ۳۸ لیتر بر ثانیه می‌باشد (۸ لیتر بر ثانیه بیشتر)، ولی مدل دوم با ابعاد هندسی مطابق با پژوهش Bos (1989)، ۹۰ میلی‌متر بازشدگی داشته و برای دبی حدوداً ۳۰ لیتر بر ثانیه مناسب است. مقادیر دقیق‌تر محاسبه شده در جدول ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است.

در حالت کلی وظیفه یک سازه آبگیر مدول مانند نیرپیک برای تحویل مقدار مشخصی حجم آب این است که با نوسانات سطح آب بالادست در یک محدوده مجاز معین، تقریباً دبی ثابتی با تغییرات مجاز را داشته باشد. به بیان دیگر بده تحویلی در محدوده مجاز طراحی شده نوسان داشته باشد. تغییرات دبی با هد آب برای دبی ۳۰ لیتر در ثانیه از دو نوع مدل آزمایشگاهی دریاچه نیرپیک تیپ X1 (شکل ۱۲) در مقایسه با تغییرات دبی با هد آب برای سه روش پیشنهادی برای استخراج داده از منحنی دبی-اشل در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. توضیح اینکه برای نمایش بهتر و مشاهده چگونگی تغییرات منحنی و درک بهتر موضوع، داده‌برداری‌ها در دامنه بیشتری از دبی و هد انجام گرفته (شکل ۱۲) و دامنه تغییرات دبی بین ۷ تا ۵۰ لیتر بر ثانیه و دامنه تغییرات هد آب بین ۶ تا ۳۵ سانتی‌متر می‌باشد. از طرفی وظیفه و کارکرد صحیح یک آبگیر نیرپیک (برای تمام تیپ‌های یک یا دو نقابه) مطابق منحنی استاندارد و نظر طراح این است که برای هر دبی و هد طراحی شده فقط مجاز به تغییرات دبی مابین $Q \pm 5\%$ الی $Q \pm 10\%$ درصد می‌باشند، لذا داده‌های مازاد برداشت شده حذف گردید. خلاصه نتایج داده‌برداری واقع در محدوده مجاز $\pm 5\%$ تا $\pm 10\%$ درصد دبی در شکل ۱۴، نمایش داده شده است.

تعیین R^2 بین مدل‌های رگرسیونی بین شش حالت مورد تحقیق با داده‌های استاندارد (برای دو مدل آزمایشگاهی و هر کدام برای سه روش استخراج داده) ایجاد و نتایج در جدول ۵ ارائه شد.

آزمایشگاهی برای عبور جریان با دبی طراحی ۳۰ لیتر بر ثانیه و ارتفاع آب ۱۷ سانتی‌متر ساخته و آزمایش شده‌اند، از اعداد محاسبه شده در جدول ۳ برای برآورد میزان اختلاف مطلق و اختلاف نسبی داده‌های آزمایشگاهی نسبت به دبی و هد طراحی استفاده شده و نتایج به‌دست آمده در جدول ۴ آورده شده‌است. همچنین جدول محاسبات برای ۵ نقطه کلیدی در منحنی دبی-اشل (Q , $1/1Q$, $1/05Q$, $0/9Q$, $0/95Q$) برای تعیین حداقل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و حداکثر ضریب

جدول ۲- روابط ریاضی دبی نسبت به هد جریان برای مدل‌های آزمایشگاهی درجه نیریک X1

شماره مدل	محدوده هد آب	رابطه ریاضی	معادله دبی	R^2
مدل ۱	$13.09 \leq H < 16$	توانی	$Q = 0.3761H^{1.6586}$	0.9946
	$16 \leq H < 17.33$	خطی	$Q = -1.3829H + 59.601$	1
	$17.33 \leq H < 24.57$	درجه دوم	$Q = 0.0372H^2 - 0.699H + 36.687$	0.9966
مدل ۲	$12.38 \leq H < 13.45$	توانی	$Q = 0.5888H^{1.4981}$	0.9661
	$13.45 \leq H < 13.91$	خطی	$Q = -3.6415H + 78.274$	1
	$13.91 \leq H < 22.50$	خطی	$Q = 0.7233H + 17.452$	0.9941

جدول ۳- مختصات نقاط مهم در دو مدل آزمایشگاهی و مقایسه با سه روش استخراج داده از منحنی دبی-اشل

شماره مدل	شماره روش	نقطه ۱۰+ درصد طراحی	نقطه ۵+ درصد طراحی	نقطه طراحی شده بهینه	نقطه ۵- درصد طراحی			نقطه ۱۰- درصد طراحی		
					شاخه	H(cm)	lit/s/Q	شاخه	H(cm)	lit/s/Q
مدل ۱	روش ۱	۴۰/۲۲	۳۷/۴۸	۱۶/۰۰	پایین	۱۵/۷۹	۳۶/۵۶	پایین	۱۵/۵۵	۳۵/۶۴
					وسط	۱۶/۶۶	۱۸/۶۱	وسط	۱۷/۳۳	۱۹/۸۶
					بالا	۱۹/۸۶	۲۲/۹۳	بالا	۱۷/۳۳	۱۹/۸۶
مدل ۱	روش ۲	۴۱/۲۳	۳۹/۳۵	۲۲/۰۴	پایین	۱۶/۰۰	۳۷/۴۸	پایین	۱۵/۵۴	۳۵/۶۱
					میانگین	۱۷/۹۳	۱۹/۸۶	میانگین	۱۷/۹۳	۱۹/۸۶
					بالا	۱۹/۸۶	۲۲/۹۰	بالا	۱۷/۳۳	۱۹/۸۶
مدل ۱	روش ۳	۴۱/۲۷	۳۹/۳۹	۲۲/۰۹	پایین	۱۵/۷۹	۳۷/۵۲	پایین	۱۵/۵۵	۳۵/۶۴
					وسط	۱۶/۶۶	۱۸/۶۱	وسط	۱۷/۳۳	۱۹/۸۶
					بالا	۱۹/۸۶	۲۲/۹۴	بالا	۱۷/۳۳	۱۹/۸۶
مدل ۱	روش ۱	۳۱/۳۰	۲۹/۳۰	۱۶/۳۸	پایین	۱۳/۴۵	۲۸/۴۶	پایین	۱۳/۰۵	۲۷/۶۱
					وسط	۱۳/۴۵	۱۵/۲۱	وسط	۱۳/۰۵	۲۷/۶۱
					بالا	۱۶/۳۸	۱۹/۱۵	بالا	۱۳/۰۵	۲۷/۶۱
مدل ۲	روش ۲	۳۲/۲۳	۳۰/۷۶	۱۸/۴۱	پایین	۱۳/۴۵	۲۹/۳۰	پایین	۱۳/۱۲	۲۷/۸۳
					میانگین	۱۴/۹۲	۱۶/۳۸	میانگین	۱۳/۸۵	۲۷/۸۳
					بالا	۱۸/۴۱	۲۰/۴۳	بالا	۱۴/۳۵	۲۷/۸۳
مدل ۲	روش ۳	۳۱/۹۷	۳۰/۵۲	۱۸/۰۷	پایین	۱۳/۵۰	۲۹/۰۷	پایین	۱۳/۰۵	۲۷/۶۱
					وسط	۱۳/۵۱	۱۶/۰۶	وسط	۱۳/۰۵	۲۷/۶۱
					بالا	۱۶/۰۶	۲۰/۰۸	بالا	۱۳/۰۵	۲۷/۶۱

جدول ۴- اختلاف مطلق و نسبی سناریوهای مختلف نسبت به دبی (30 lit/s) و هد طراحی (17 cm)

شماره مدل	شماره روش استخراج	نقطه طراحی شده بهینه	اختلاف مطلق	اختلاف نسبی به درصد	شماره مدل	شماره روش استخراج	نقطه طراحی شده بهینه	اختلاف مطلق	اختلاف نسبی به درصد
آزمایشگاهی	داده	(lit/s)Q	H(cm)	Q-30	H-17	%Q	%H		
مدل ۱	روش ۱	۳۶/۵۶	۱۸/۶۱	۶/۵۶	۱/۶۱	۲۱/۸۷	۹/۴۷		
	روش ۲	۳۷/۴۸	۱۹/۸۶	۷/۴۸	۲/۸۶	۲۴/۹۴	۱۶/۸۲		
	روش ۳	۳۷/۵۲	۱۹/۹۱	۷/۵۲	۲/۹۱	۲۵/۰۶	۱۷/۱۳		
مدل ۲	روش ۱	۲۸/۴۶	۱۵/۲۱	-۱/۵۴	-۱/۷۹	-۵/۱۵	-۱۰/۵۱		
	روش ۲	۲۹/۳۰	۱۶/۳۸	-۰/۷۰	-۰/۶۲	-۲/۳۴	-۳/۶۵		
	روش ۳	۲۹/۰۷	۱۶/۰۶	-۰/۹۳	-۰/۹۴	-۳/۱۱	-۵/۵۵		

جدول ۵- خلاصه نتایج آزمایشگاهی برای نقاط مهم دبی و بررسی ضریب تبیین و خطای دو مدل ساخته شده در سه روش استخراج داده نسبت به گراف استاندارد

مدل آزمایشگاهی شماره ۲			مدل آزمایشگاهی شماره ۱			گراف	مختصات نقاط مهم
روش شماره ۳	روش شماره ۲	روش شماره ۱	روش شماره ۳	روش شماره ۲	روش شماره ۱	استاندارد	در منحنی دبی-اشل
دبی	دبی	دبی	دبی	دبی	دبی	دبی	دبی بر حسب Lit/s
۳۱/۹۷	۳۲/۲۳	۳۱/۳۰	۴۱/۲۷	۴۱/۲۳	۴۰/۲۲	۳۳	نقطه +۱۰ درصد طراحی
۳۰/۵۲	۳۰/۷۶	۲۹/۳۰	۳۹/۳۹	۳۹/۳۵	۳۷/۴۸	۳۱/۵	نقطه +۵ درصد طراحی
۲۹/۰۷	۲۹/۳۰	۲۸/۴۶	۳۷/۵۲	۳۷/۴۸	۳۶/۵۶	۳۰	نقطه طراحی شده بهینه
۲۷/۶۱	۲۷/۸۳	۲۷/۶۱	۳۵/۶۴	۳۵/۶۱	۳۵/۶۴	۲۸/۵	نقطه -۵ درصد طراحی
۲۶/۱۶	۲۶/۳۷	۲۵/۶۱	۳۳/۷۷	۳۳/۷۳	۳۲/۹۱	۲۷	نقطه -۱۰ درصد طراحی
۰/۹۴	۰/۷۰	۱/۶۰	۷/۵۴	۷/۵۰	۶/۵۹	RMSE	
۰/۸۲۷۹	۰/۸۹۶۵	۰/۵۶۵۸	۰/۱۰۶۲	۰/۱۰۷۱	۰/۱۱۰۳	R ²	

نتیجه گیری

همانگونه که از جداول ۳، ۴ و ۵ استنباط می شود، عملکرد هیدرولیکی مدل آزمایشگاهی شماره ۲ به نقطه طراحی بسیار نزدیکتر بود، ولی عملکرد هیدرولیکی مدل آزمایشگاهی شماره ۱ اختلاف زیادی با نقطه طراحی نشان داد. داده های آزمایشگاهی مدل اول عموماً با مقایسه منحنی دبی-اشل برای هر سه روش استخراج داده، خیلی بالاتر از مقادیر طراحی بود ولی داده های آزمایشگاهی مدل دوم برای هر سه روش، کمی پایین تر ولی نزدیک به مقادیر طراحی به دست آمدند. نتیجه اینکه مدل هندسی شماره ۲ برای ساخت هندسه دریاچه مدول تیپ X1 مورد تایید قرار گرفته و مبنای بازشدگی دریاچه باید از خط مماس بر انحنای سرریز باشد.

همانگونه که از جداول ۳، ۴ و ۵ استنباط می شود، روش شماره ۲ برای برآورد و استخراج مقادیر دبی عبوری و هد از منحنی دبی-اشل به واقعیت نزدیکتر بوده و بیشترین میزان انطباق و کمترین میزان اختلاف را نشان می دهد. همچنین روش های شماره ۲ و ۳ مقادیر نزدیکی به هم دارند ولی روش شماره ۱ در پیدا کردن نقاط مهم در منحنی دبی-اشل با اختلاف زیادی مواجه شده و اختلاف معنی دار نشان می دهد. لذا تعیین نقاط

مهم طراحی در منحنی دبی-اشل با روش ارائه شده توسط Bos (1989) اختلاف معنی داری با نتایج آزمایشگاهی دارند. همانگونه که از شکل ۱۳ قابل استنباط است، می توان نتیجه گرفت که اگر در هنگام نصب دریاچه های نیروییک در کانال فرعی برای آبیگری، شیب کف در محل آبیگری نسبت به افق صفر نباشد (و در نتیجه بدنه دریاچه نیز شیب دار باشد)، در اینصورت منحنی دبی-اشل، منطبق بر منحنی استاندارد نبوده و دارای تغییر قابل ملاحظه ای خواهد بود. در نتیجه، در صورت اجبار برای احداث آبیگر در ابتدای کانال های دارای شیب افقی، لازم است در انتخاب ابعاد هندسی سازه اصلاحاتی انجام شود و متناسب با زاویه شیب بدنه دریاچه نسبت به تغییر در زوایای سرریز و تیغه ها اقدام گردد. بررسی دقیق این موضوع برای پژوهش های میدانی و آزمایشگاهی به پژوهشگران و محققین توصیه می شود.

این تحقیق به صورت آزمایشگاهی و در مقیاس واقعی (۱:۱) روی یکی از تیپ های دریاچه مدول (تیپ X1) انجام شده است. انجام آزمایش های مشابه روی سایر تیپ های یک تیغه ای و دو تیغه ای دریاچه های نیروییک به منظور کنترل و بازبینی ابعاد هندسی برای ساخت و نیز ارزیابی روش تعیین نقاط مهم در منحنی

- 3- Amiri-Tokladany, A. and Siahi, M.K., 2015. Design of irrigation canals and related structures. Chapter 11: Intakes. 361p. University of Tehran Press. [In Persian].
- 4- Ankum, P., 2002. Design of open-channels and hydraulic structures. Lecture notes. *Delft University of Technology, Delft, the Netherlands*.
- 5- Basafa, H., Dashti, F., Rajabi-Memari, M.R. and Ghafari-Tehran, A., 2016. Technical specifications of hydromechanical equipment for diversion dams and irrigation systems (construction, installation and operation), Publications of the National Planning and Management Organization. Standard No. 699. [In Persian].
- 6- Behzadi-Nasab, M., Minaei, S. and Mokhtaran, R., 2006. Performance evaluation and issues and problems of the NEYRPIIC measurement structure in the irrigation and drainage networks of the Avan plain and northeast of Ahvaz. Proceedings of the National Conference on Irrigation and Drainage Networks, Shahid Chamran University of Ahvaz. Faculty of Water Science Engineering. May. pp. 1-10. [In Persian].
- 7- Bijankhan, M. and Kouchakzadeh, S., 2012. Baffle modules: improved design based on the variable hydraulic sensitivity concept. *Irrigation and Drainage*, 61(2), pp. 260-269.
- 8- Bijankhan, M., Mehrzad, M., Golzar, M. and Kouchakzadeh, S., 2017. Volumetric water delivery using baffle sluice modules: New approach. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(10), p.04017043.
- 9- Bijankhan, M., Di Stefano, C. and Ferro, V., 2018. June. Generalised stage-discharge relationship for rectangular weirs. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 171(3), pp. 125-133).
- 10- Bos, M.G., 1989. Discharge measurement structures. Chapter 8: ORIFICES. *Elsevier*. 299p.
- 11- Davari, K. and Salarian, M., 2015. Fundamentals of Irrigation and Drainage Network Management (Operation and Maintenance). Mashhad University Jihad Publications. pp. 117-125. [In Persian].
- 12- Habibi-Kandban, A., Dosti, M. and Molaghadimi, A.H., 2017. Neyrpic-Modules Evaluation for Intake Structures in the Water Providence to Downstream Areas: A Case Study of the Sefidrud Irrigation and Drainage Network. *Bi-Quarterly Journal of Water and Sustainable Development*, pp. 65-72. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.54374>
- 13- Jorabloo, M. and Sarkardeh, H., 2010. Hydraulic evaluation of Neyrpic-Modules at water

دبی-اشل که در منابع علمی مختلف ارائه شده، در راستای بهبود عملکرد هیدرولیکی آبگیرها پیشنهاد می‌گردد

تقدیر و تشکر

نویسندگان از دانشگاه ارومیه به خاطر در اختیار قرار دادن آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب، تشکر می‌نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تایید همه نویسندگان است.

دسترسی به داده‌ها

بخشی از داده‌های این تحقیق مربوط به پایان‌نامه دکتری نویسنده اول می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:

نویسنده اول: انجام مراحل آزمایشگاهی شامل ساخت مدل آزمایشگاهی، داده‌برداری، جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و تحلیل آماری

نویسندگان دوم و سوم: راهنمایی، ویرایش و بازبینی متن مقاله، کنترل نتایج

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید همه آنها می‌باشد.

منابع

- 1- Akhavan, K., Khairy, M., Abbasi, S., Daneshfaraz, R., and Kalateh, F., 2023. Evaluation of Hydraulic Performance and Operation of Sluice and Neyrpic Modules in Water Distribution Canals (Case Study: Moghan Irrigation Network, Ardabil). *Iranian Scientific Research Journal of Irrigation and Water Engineering*, 13(3), pp. 1-22. [In Persian]. <https://doi.org/10.22125/iwe.2023.168163>
- 2- Afshani, M., Sarai Tabrizi, M. and Teimoori, M., 2022. A look at the performance of the irrigation and drainage network of the Varamin plain based on the SWOT model. *Journal of Water Research in Agriculture*, 36(2), pp. 147-164. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/jwra.2022.358181.918>

- National Committee of Irrigation and Drainage of Iran, No. 42. pp. 607-619. [In Persian].
- 24- Naeimi, M.A., Hamidi, H., Mousavi-Jahrami, H. and Shafaei-Bajestan, M., 2008. Design of a new type of water intake for irrigation networks (water intake check). Proceedings of the Second National Conference on Irrigation and Drainage Network Management, Shahid Chamran University of Ahvaz. Faculty of Water Science Engineering. February. pp. 1-8. [In Persian].
 - 25- Nouri, H., Haghighatjo, P., Monem, M.J. and Razavi-Nabavi, S.M., 2015. Evaluation of the performance of domestically produced double-bladed Neyrpic type XX2 valve compared to standard valve. Proceedings of the National Congress of Irrigation and Drainage of Iran. [In Persian].
 - 26- Pilpayeh, A., Afsharal, M. and Abdolhosseini-Roozbahani, M.A., 2008. Hydraulic evaluation of NEYRPIC modules in Moghan irrigation and drainage networks. Proceedings of the Second National Conference on Irrigation and Drainage Network Management, Shahid Chamran University of Ahvaz. Faculty of Water Science Engineering. February. Ahvaz. pp. 1-8. [In Persian].
 - 27- Razavi-Nabavi, M., 1994. Empirical coefficients in Neyrpic valves. Master's thesis in irrigation facilities. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University. Tehran. [In Persian].
 - 28- Salek, M., 2017. The effect of Baffle spacing in a Baffle valve on hydraulics. Master's thesis. Faculty of Civil Engineering and Mechanics. Civil Engineering major, Water Resources Management. Ghiasuddin Jamshid Kashani Institute of Higher Education. [In Persian].
 - 29- Seyedjavad, M.S. and Mashal, M., 2014. Evaluation of hydraulic sensitivity indicators for Baffle modules (Case study: Varamin Irrigation and drainage network). *Water and Irrigation Management*, 4(2), pp.229-242. [In Persian].
<https://doi.org/10.22059/jwim.2014.53038>
 - 30- Siah, M.K., Shamshirsaz, M.H.A., Ghezel-Ayagh, A., Molaei, M.J., Tahmasbi, M. and Tabe-Jamaat, M., 2004. Hydraulic criteria for the design of water level regulation buildings and water intakes in open channels, Publications of the National Planning and Management Organization. Publication No. 282. [In Persian].
 - 31- Vatankhah, A.R., 2014. Discussion of Discharge Coefficients for Baffle-Sluice Gates by PK Mishra, Wernher Brevis, and Cornelia Lang. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(4), pp.336-340.
 - distribution network of Garmsar plain. *World APPI. Science. Journal*, 10(11), pp.1363-1367.
 - 14- Kanooni, A., Pouryamanesh, M., Nikpour, M.R. and Feizi, A., 2019. Evaluation of hydraulic performance and operation of Neyrpic Modules in the main distribution canal (Case study: Yamchi irrigation network, Ardabil). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, pp. 1435-1447. [In Persian].
 - 15- Kaviani-Kowsarkhizi, Sh. and Parvaresh-Rizi, A., 2011. Study of the status of flow measurement structures in the country's irrigation networks. *Proceedings of the First National Congress of Modern Agricultural Sciences and Technologies*, University of Zanjan. September. [In Persian].
 - 16- Khan-Ahmadi, A., 2015. Neyrpic module valves. Summary of Dr. Zahiri's textbook. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. [In Persian].
 - 17- Manz, D.H., 1985. Systems Analysis of Irrigation Conveyance Systems. Thesis pre-sented to the University of Alberta in partialfulfill-ment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Water Resources, Department of Civil Engineering. 485 p.
 - 18- Mehrzad, M., Kouchakzadeh, S. and Bijankhan, M., 2014. Design criteria for parallel baffle modules. *Journal of Hydraulics*, 9(2), pp.37-51. [In Persian].
<https://doi.org/10.30482/jhyd.2014.8556>
 - 19- Mishra, P.K., Brevis, W. and Lang, C., 2013. Discharge coefficients for baffle-sluice gates. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 139(4), pp.336-340.
 - 20- Mishra, P.K., Larsen, P. and Satyanarayana, T., 1990. Development of low-discharge baffle-sluice modules. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 116(3), pp. 444-453.
 - 21- Mohammadi, A., Parvaresh-Rizi, A. and Abbasi, N., 2017. Evaluation of Hydraulic Performance of Regulators and Distribution Structures in Varamin Irrigation Network. *Journal of Hydraulics*. 12(13), pp. 1-12.
<https://doi.org/10.30482/jhyd.2017.52004>
 - 22- Momeni-Heravi, A., Kouchakzadeh, S. and Bijankhan, M., 2019. Numerical Simulation of Three-Dimensional Flow in Baffle Modules. *Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 20(75), pp. 101-116. [In Persian].
<https://doi.org/10.22092/idser.2018.122284.1331>
 - 23- Monem, M.J. and Masah, A., 2003. Development of a mathematical model of Neyrpic water intake valves. Proceedings of the 11th Conference of the

