بررسی آزمایشگاهی روش‌های مختلف طراحی مدول تیغه‌ای

محمد بی‌جن‌خان
دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
رشته تحصیلی: سازه‌های آبی
نشانی: پردیس کشاورزی و منابع طبیعی- گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، صندوق پستی ۴۱۱۱-۳۱۵۸۷ کرج ۷۷۸۷۱-۳۱۵۸۷
Irrigation and Reclamation Engineering Dept., University of Tehran, P.O. Box 31587-4111, Karaj, Iran 31587-77871.
bijankhan@ut.ac.ir

صلاح کوچک‌زاده
استاد
رشته تحصیلی:مهندسی هیدرولیک
نشانی: پردیس کشاورزی و منابع طبیعی- گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، صندوق پستی ۴۱۱۱-۳۱۵۸۷ کرج ۷۷۸۷۱-۳۱۵۸۷
Irrigation and Reclamation Engineering Dept., University of Tehran, P.O. Box 31587-4111, Karaj, Iran 31587-77871.

هاجر ساوری
فارغ التحصیل مقطع کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
رشته تحصیلی: سازه‌های آبی
نشانی: پردیس کشاورزی و منابع طبیعی- گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، صندوق پستی ۴۱۱۱-۳۱۵۸۷ کرج ۷۷۸۷۱-۳۱۵۸۷
Irrigation and Reclamation Engineering Dept., University of Tehran, P.O. Box 31587-4111, Karaj, Iran 31587-77871.

مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۱۰ **تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۲۴**

چکیده

در این پژوهش آزمایشگاهی به بررسی عملکرد هیدرولیکی روش‌های مختلف و متداول طراحی مدول تیغه‌ای پرداخته شده است. مدول‌های تیغه‌ای برای تحویل حجمی آب به شکل نسبتاً ثابت به ازای تغییرات ارتفاع آب بالادست در دامنه مشخص مورد توجه قرار گرفته‌اند. داده‌های جمع آوری شده در این تحقیق نشان داد که به طور کلی این سازه به صورت مدولار عمل می‌کند و به عنوان سازه تحویل حجمی آب مطمئن می‌تواند به شکل وسیع بکار رود. همچنین عملکرد هیدرولیکی سازه در چرخه‌های افزایش و کاهش ارتفاع آب بالادست برای روش‌های مختلف طراحی مورد ارزیابی قرار گرفت و این نتیجه به دست آمد که بر خلاف سازه‌های مشابه، افزایش یا کاهش ارتفاع آب بالادست تاثیری در عملکرد مدول تیغه‌ای ندارد. در پایان نشان داده شد که انتخاب ضریب بده با دقت مناسب تاثیر چشمگیری در نتایج طراحی خواهد داشت و از اینرو بهترین روش طراحی موجود با انتخاب ضریب بده مناسب اصلاح شده است.

واژه‌های کلیدی: مدول تیغه‌ای، تحویل حجمی آب، ضریب بده،عملکرد هیدرولیکی، چرخه افزایش و کاهش ارتفاع آب بالادست.

مقدمه

تحویل حجمی آب با دقت مطلوب اساسی ترین هدف برنامه‌ی بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی است که برای رسیدن به آن علاوه بر توجه به سازه‌های انشعابات کانال‌های اصلی، باید به تجهیزات تحویل آب در کانال‌های فرعی توجه خاص شود. زیرا که تعداد این تجهیزات در سطح شبکه بسیار است و وجود نقص کوچک نتایج برنامه بهره برداری را از اهداف خود دور می‌نماید. به همین دلیل دستورالعمل ساخت یک سازه تحویل آب که جریان با بده‌های کم را کنترل کند و عملکرد مطلوبی از خود نشان دهد ضروری است. به ویژه اینکه در ایران توجه به کانال‌های فرعی اخیراً مورد توجه خاص ارگان‌های ذی‌ربط شده است. طبق بررسی‌های انجام شده در تحقیق حاضر، مدول تیغه‌ای، که به صورت تعدادی دریچه کشویی که در یک چارچوب به صورت متوالی پشت سرهم قرار می‌گیرند، سازه مناسبی برای این منظور تشخیص داده شده است. در عمل این سازه متشکل از سه تیغه عمودی است که ارتفاع آنها در جهت جریان افزایش و بازشدگی آنها کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر دریچه‌های کشویی هستند که با بازشدگی معین پشت سر هم قرار می‌گیرند و به ازای تغییرات مشخصی از ارتفاع آب بالادست, میزان آب عبوری از آنها برابر بده طراحی می‌باشد. این مدول‌ها دارای ابعاد ثابتی بوده که به ازای بده طراحی مشخص می‌شود.

نخستین گام‌های ارائه اصول طراحی مدول تیغه‌ای با بررسی ضریب بده دریچه کشویی و انتخاب رابطه مناسب جهت تعیین ابعاد تیغه‌ها برداشته شد (Larsen & Mishra, 1990). پس از آن محققین به کمک مفهوم حساسیت هیدرولیکی طراحی جامع‌تری را برای این سازه ارائه کردند که با بررسی آزمایشگاهی مدول تیغه‌ای چنین نتیجه‌گیری کردند که سازه طراحی شده به روش جدید می‌تواند در محدوده تغییرات ارتفاع از ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر بده تقریباً ثابتی داشته باشد (Mishra et al, 1990)، در این مقاله از این روش با عنوان روش طراحی میشرا و همکاران نام برده می‌شود. در ادامه تحقیقات استفاده از دو تیغه به جای سه تیغه مد نظر قرار گرفت به طوریکه با تغییر دادن فاصله بین تیغه‌ها نتیجه‌ای مشابه با روش‌های ارائه شده با سه تیغه حاصل شد (Verma & Pasricha, 1994). یکی از عواملی که به شدت روی عملکرد سازه تاثیر دارد استغراق می‌باشد که با بررسی تاثیر این پدیده روی سازه، ۷/۹ سانتی‌متر استغراق مجاز اعلام شده است (Maheswara et al, 1996). از دیگر روش‌های مورد استفاده برای طراحی سازه استفاده از بهینه‌سازی می‌باشد. در این روش با استفاده از رابطه‌ای جامع برای برآورد ضریب بده (Swamee, 1992) و استفاده از روشی که بر پایه بهینه‌سازی استوار است می‌توان ابعاد جدیدی برای مدول تیغه‌ای بدست آورد. شایان ذکر است که روش اخیر از نظر تئوری بهترین عملکرد را برای مدول تیغه‌ای به همراه دارد (Anwar, 1999)، اما بدلیل عدم بررسی آزمایشگاهی، کاربرد عملی از ابعاد ارائه شده در روش آخر هنوز امکان‌پذیر نمی‌باشد. لازم به ذکر است که در این نوشتار این روش طراحی با عنوان روش طراحی انور یاد می‌شود.

در این تحقیق با انجام آزمایش‌های گسترده‌ای به بررسی هیدرولیکی مدول تیغه‌ای پرداخته شده است و بطور کلی تلاش شده است که با تبیین موارد زیر نکات مبهم طراحی و عملکرد سازه روشن‌تر شود:

۱ - میزان تطابق روند تغییرات داده‌ها با عملکرد مورد انتظار از مدول تیغه‌ای
۲ - عملکرد مدول تیغه‌ای در فرآیند افزایش ارتفاع آب بالادست مدول و کاهش آن
۳ - مقایسه عملکرد مدول‌های تیغه‌ای طراحی شده به روش‌های موجود
۴ - روش‌های نظری و آزمایشگاهی ممکن برای بهبود بیشتر عملکرد مدول

مواد و روش‌ها

مجموعه آزمایشگاهی

از آنجایی که هدف از طراحی مدول تیغه‌ای ارائه سازه‌ای است که توسط کشاورز قابل حمل باشد لذا لازم است که ابعاد آن به شکلی باشد که این امر محقق گردد. برای این منظور در این تحقیق عرض مدول ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Mishra et al, 1990). تیغه‌های مدول از جنس پلکسی‌گلس به ضخامت ۸ میلی‌متر ساخته شد و

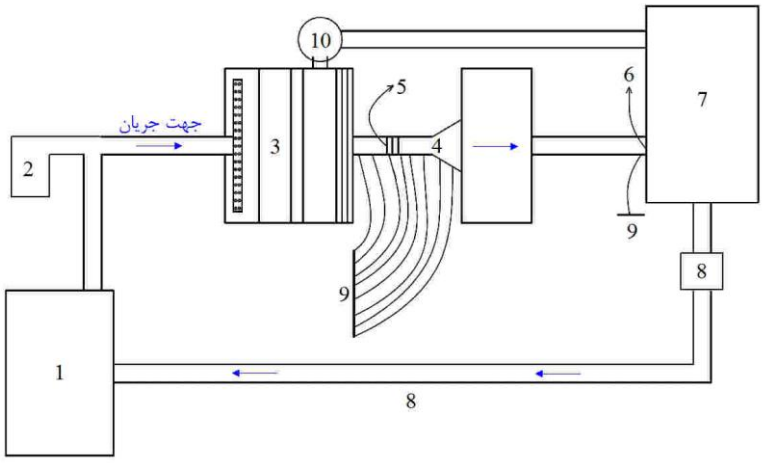
در یک قاب به عرض داخلی ۱۰ سانتی‌متر و طول ۴۰ سانتی‌متر نصب گردید. لازم به ذکر است که به منظور از بین بردن تاثیر ورود آب به داخل چارچوب نصب مدول‌ها لبه قاب‌ها با زاویه ۶۰ درجه پخ زده شد.

هر یک از مدول‌های ساخته شده در مجرایی به عرض ۱۱/۶ سانتی‌متر مستقر و ارتفاع آب پشت مدول به کمک پیزومترهای تعبیه شده در بالادست آن اندازه‌گیری می‌شد. به منظور برآورد دبی عبوری از مدول، یک سرریز مستطیلی در پایین دست تعبیه شد.

بده عبوری از سازه‌ای که جهت تحویل حجمی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد در محدوده مشخصی از نوسانات سطح آب بالادست، معمولاً تغییراتی معادل ۵٪± یا ۱۰٪± نسبت به بده طراحی دارد. به عنوان مثال سازه‌ای که جهت تحویل بده طراحی ۲ لیتر بر ثانیه مورد استفاده قرار می‌گیرد حداکثر تغییراتی معادل ۰/۲ لیتر بر ثانیه در بده عبوری از آن وجود دارد. به همین دلیل دقت اندازه‌گیری بده در این تحقیق از اهمیت بسیار بالایی برخوردار بود. برای این منظور از روش داده‌برداری دیجیتال (به کمک دوربین عکاسی) استفاده شد. در این راستا دو دوربین برای ثبت داده‌های پیزومترها در بالادست و پایین دست نصب گردید. نحوه انجام آزمایش‌ها به این شکل بود که ابتدا جریان مشخصی وارد کانال می‌شد و پس از ثابت شدن آن از پیزومترها عکس گرفته و با استفاده از نرم افزاری خاص عکس‌ها رقومی شد. به این ترتیب ارتفاع آب پشت سرریز و مدول قرائت می‌گردید.

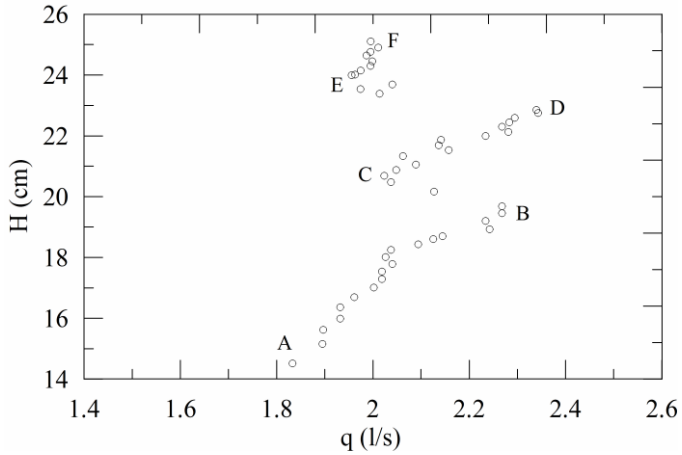
اجزای تشکیل دهنده مجموعه آزمایشگاهی استفاده شده در این تحقیق که در شکل (**۱**) ارائه شده است، شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- مخزن ذخیره، ۲- سامانه تغذیه مجموعه آزمایشگاهی، ۳- مخزن تنظیم سطح آب و اندازه گیری کل بده ورودی به مجموعه آزمایشگاهی، ۴- مجرای نصب مدول، ۵- چارچوب جاگذاری تیغه‌ها، ۶-سامانه تخلیه آب و اندازه‌گیری جریان پایین دست، ۷- مخزن پایین دست جمع‌آوری آب، ۸- سامانه گردش آب از مخزن جمع‌آوری به مخزن ذخیره، ۹- سامانه و تجهیزات داده‌برداری، ۱۰- سرریز دایره‌ای جهت تنظیم سطح آب مخزن بالادست.



شکل (۱) نمایی شماتیک از مجموعه آزمایشگاهی

به طور کلی در این مجموعه آزمایشگاهی سه نوع سرریز مورد استفاده قرار گرفت. یک سرریز مثلثی مرکب که در ورودی آب به مخزن تنظیم سطح آب قرار داشت و کل بده ورودی به مجموعه آزمایشگاهی توسط این سرریز قابل قرائت بود. سرریز مستطیلی، که در انتهای سامانه تخلیه آب مستقر شده بود و به منظور اندازه‌گیری بده عبوری از مدول تیغه‌ای مورد استفاده قرار می‌گرفت و در نهایت یک سرریز دایره‌ای که آب اضافی را از مخزن تنظیم سطح آب خارج می‌کرد. هدف از تعبیه سرریز دایره‌ای فراهم کردن شرایط آزمایشگاهی برای برداشت داده‌های کافی و قابل اطمینان بود. به عبارت دیگر به‌جای عبور بده ثابت و تنظیم سطح آب در کانال اصلی با یک دریچه، در این تحقیق تصمیم بر آن شد تا افزایش ارتفاع آب با افزایش بده و تنظیم سطح آب به طور خودکار با عبور آب مازاد از سرریز دایره‌ای صورت گیرد.



شکل (۲) نمونه‌ای از داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده بازای بده ۲ لیتر بر ثانیه

برداشت نقاط B، C، D و E در شکل (**۲**) یا به عبارت دیگر بیشینه و کمینه مقادیر انحراف از بده طراحی بسیار دشوار است (Anwar, 1999)، چراکه هنگام برداشت داده‌ها، در نزدیکی این نقاط باید با گام‌های بسیار کوچک ارتفاع آب پشت سازه افزایش یابد. از اینرو در این تحقیق برای تنظیم دور الکتروموتور پمپ سامانه تغذیه (مورد ۲ در شکل (**۲**)) از یک درایو (راه‌انداز) از نوع ماکرو مستر ۴۲۰ تولید شرکت زیمنس استفاده شده است. این راه‌انداز قابلیت تغییر فرکانس با دقت ۰/۰۱ هرتز را دارد که نتیجه آن با تغییر در سرعت دوران الکترو موتور دیده می‌شود. این میزان تغییرات در فرکانس، ایجاد تغییرات بسیار اندک در جریان ورودی را برای کاربر میسر کرده و بدین ترتیب شرایط تغییر ارتفاع آب پشت مدول تیغه‌ای با گام‌های بسیار کوچک به شکل بسیار مطلوبی فراهم می‌شود که این امر باعث بالا رفتن دقت برداشت داده‌های آزمایشگاهی می‌گردد.

لازم به ذکر است که آزمایش‌ها برای ظرفیت‌های ۲، ۴ و ۷ لیتر بر ثانیه بر سانتی‌متر انجام شده است. همچنین در این تحقیق فاصله بین تیغه‌ها در روش طراحی انور مطابق با توصیه محققین گذشته در نظر گرفته شده است (Mishra et al, 1990). ابعاد مدول‌های مورد استفاده در آزمایشگاه در(جدول ۱) آورده شده است، ارتفاع تیغه های اول، دوم و سوم در روش طراحی میشرا و همکاران به ترتیب برابر ۱۵، ۱۹/۴ و ۲۵ سانتی‌متر و در روش طراحی انور برابر ۱۷/۷، ۲۱/۰ و ۲۵ سانتی‌متر می‌باشد (Mishra et al, 1990 و Anwar, 1999).

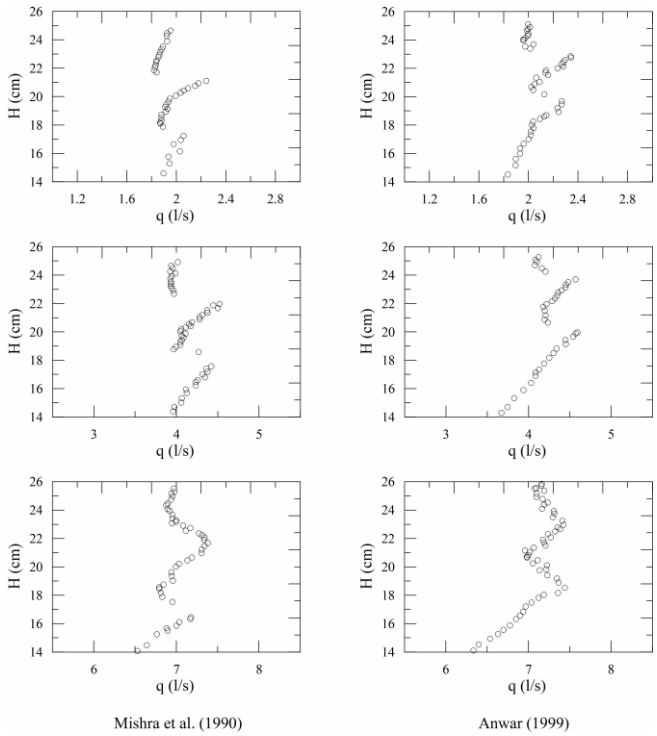
جدول(۱) ابعاد مدول‌های بکار رفته در آزمایشگاه

روش طراحی	بده طراحی (l/s)	بازشدگی تیغه اول،a_1 (سانتی‌متر)	بازشدگی تیغه دوم، a_2 (سانتی‌متر)	بازشدگی تیغه سوم، a_3 (سانتی‌متر)
میشرا و همکاران	۲	۲/۰	۱/۷	۱/۵
	۴	۴/۳	۳/۷	۳/۲
	۷	۸/۰	۶/۹	۵/۹
انور	۲	۱/۹	۱/۷	۱/۶
	۴	۴/۰	۳/۶	۳/۲
	۷	۷/۴	۶/۶	۵/۹

نتایج و بحث

تطابق روند داده‌ها با عملکرد مورد انتظار مدول

به طور کلی از یک سازه تحویل حجمی آب انتظار می‌رود که با تغییرات ارتفاع آب بالادست آن، در دامنه معین بده تحویلی نسبت به بده طراحی تغییرات کمی داشته باشد و حول مقدار مشخصی نوسان داشته باشد. به عبارت دیگر ساز و کار سازه تحویل حجمی آب باید به شکلی باشد که در مقاطعی از تغییرات ارتفاع آب بالادست قادر به کاهش بده عبوری باشد.

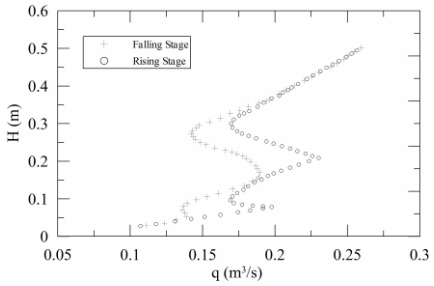


شکل (۳) نتایج آزمایشات انجام شده برای مدول‌های ۲، ۴ و ۷ لیتر بر ثانیه

همانطور که در شکل (**۳**) مشاهده می‌شود در هر دو روش طراحی میشرا و همکاران و انور سازه با تشکیل چرخه‌های افزایشی و کاهشی در بده عبوری، توانسته است حول بده طراحی نوسان داشته باشد و عملکرد سازه در هر دو روش طراحی به طور کلی با آنچه که از یک سازه تحویل حجمی آب انتظار می‌رود مطابقت دارد.

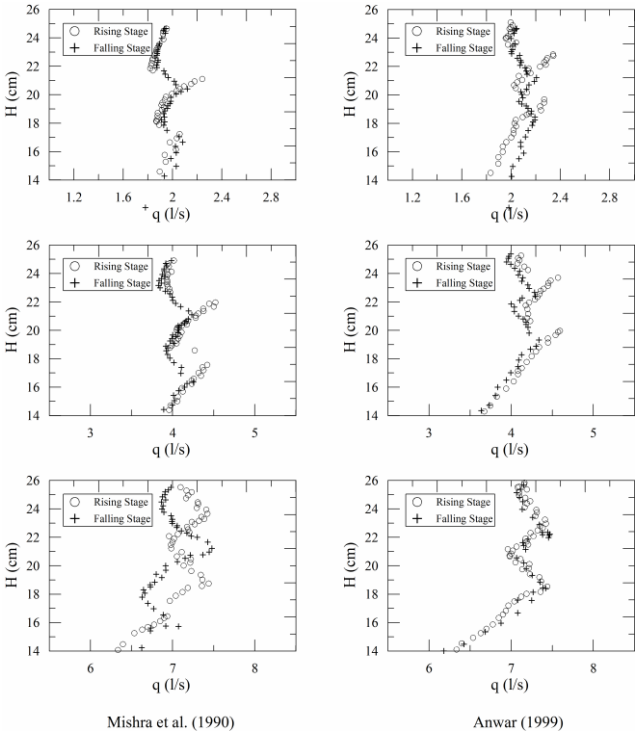
عملکرد مدول در فرآیندهای افزایش و کاهش ارتفاع آب بالادست

از دیگر سازه‌هایی که برای تحویل حجمی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد مدول نیرپیک است. بر اساس منحنی‌هایی که تولید کننده برای این مدول ارائه کرده است عملکرد سازه در مرحله‌های افزایش و کاهش ارتفاع آب بالادست متفاوت می‌باشد (Bos, 1989). به عنوان مثال برای مدول نیرپیک XX2 نتایج آزمایش‌های تولید کننده سازه مطابق با شکل (۴) گزارش شده است (Bos, 1989). این شکل تفاوت عملکرد مدول نیرپیک را در مراحل افزایش و کاهش ارتفاع آب پشت سازه نمایش می‌دهد. در مرحله کاهش ارتفاع آب پشت سازه، برگشت منحنی بده-اشل (کم شدن بده عبوری از سازه) نسبت به مرحله افزایش ارتفاع آب پشت سازه زودتر اتفاق افتاده است.



شکل (۴) بده عبوری در مقابل تغییرات ارتفاع آب بالادست برای مدول نیرپیک XX2 در مراحل افزایش و کاهش ارتفاع آب بالادست (بازسازی شده داده‌های Bos, 1989)

به دلیل تفاوت عملکرد مدول نیرپیک در مراحل افزایش و کاهش ارتفاع آب بالادست و مشابهت ساز و کار مدول نیرپیک با مدول تیغه‌ای لزوم بررسی چرخه کاهشی در مدول تیغه‌ای روشن شده لذا در این بخش از ارائه نتایج، به بررسی این مطلب پرداخته می‌شود.



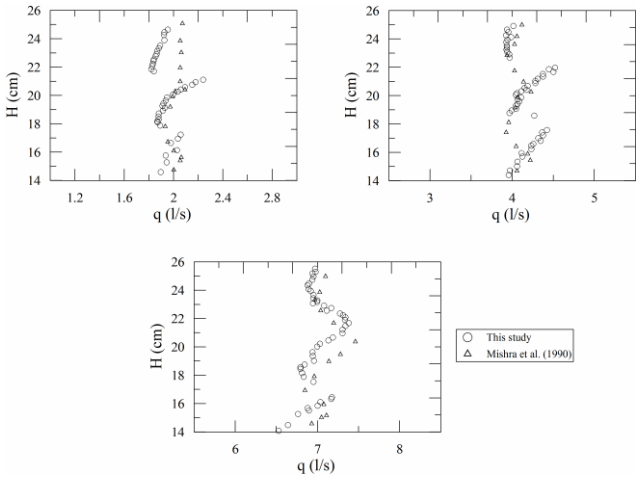
شکل(۵) منحنی‌های بده-اشل در مراحل افزایش و کاهش ارتفاع آب بالادست برای مدول‌های ۲، ۴ و ۷ لیتر بر ثانیه

با توجه به شکل(۵) مشاهده می‌شود که به جز مدول با بده طراحی ۷ لیتر بر ثانیه بقیه مدول‌های آزمایش شده در چرخه کاهش ارتفاع آب انحراف کمتری نسبت به بده طراحی دارند. اما به طور کلی رفتار مدول تیغه‌ای در چرخه‌های کاهشی و افزایشی تقریباً مشابه بوده در حالیکه رفتار مدول نیرپیک در چرخه‌های کاهش و افزایش مطابق با آزمایش‌های انجام شده توسط شرکت سازنده (شکل (۴)) تغییرات بیشتری را نشان می‌دهد. بطور کلی چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از مدول تیغه‌ای در کانال‌هایی که تغییرات ارتفاع آب در آنها باعث ایجاد چرخه‌های افزایش و کاهش ارتفاع آب پشت سازه می‌شود تاثیر قابل توجهی روی عملکرد مدول نداشته و در صورت نصب صحیح سازه می‌توان از تاثیر نوسانات آب روی عملکرد مدول صرفنظر کرد.

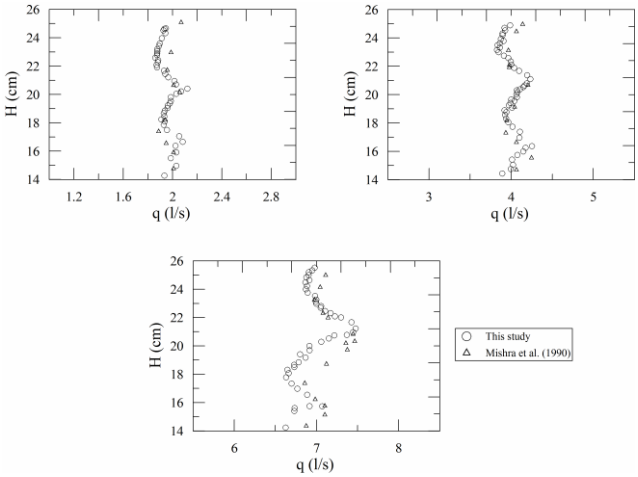
مقایسه عملکرد مدول در روش‌های مختلف طراحی

لازم به ذکر است که روش طراحی میشرا و همکاران به صورت آزمایشگاهی نیز مورد بررسی قرار گرفته است (Mishra et al, 1990) حال آنکه عملکرد آزمایشگاهی مدول تیغه‌ای طرح انور تا بحال بررسی نشده و نتایج آزمایشگاهی این روش برای اولین بار در این تحقیق ارائه شده است. از این رو ابتدا نتایج آزمایشگاهی این تحقیق در روش میشرا و همکاران با نتایج آزمایشگاهی موجود برای این روش که توسط محققین قبلی بدست آمده است (Mishra et al, 1990) مورد مقایسه قرار می‌گیرد و سپس نتایج آزمایشگاهی به دست آمده از مدول‌های تیغه‌ای طراحی شده به روش انور تجزیه و تحلیل می‌شوند.

به منظور تبیین دقیق نتایج، داده‌های مرحله افزایش رقوم سطح آب بالادست مدول و مرحله کاهش آن به تفکیک مقایسه و ارزیابی شده‌اند. به همین دلیل داده‌های این تحقیق در کنار داده‌های آزمایشگاهی روش میشرا و همکاران برای مراحل افزایش و کاهش ارتفاع سطح آب به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷) ارائه شده است.



شکل (۶) مقایسه منحنی‌های بده-اشل، برای افزایش ارتفاع آب بالادست، در مدول‌های ۲، ۴ و ۷ لیتر بر ثانیه



شکل (۷) مقایسه منحنی‌های بده-اشل، برای کاهش ارتفاع آب بالادست، در مدول‌های ۲، ۴ و ۷ لیتر بر ثانیه

شکل (**۶**) نشـان مـی‌دهـد کـه در چرخـه افـزایش ارتفاع آب بالادست سازه داده‌های تحقیق حاضـر انحـراف بیشتری از بده طراحی نسبت به آنچه که محققین پیشین ارائه کرده‌اند دارد حال آنکه برای مرحله کاهش ارتفاع آب تطابق قابل قبول‌تری دارنـد (شـکل (**۷**)). از آنجـایی کـه برداشت نقاط بیشینه و کمینه انحراف از بـده طراحـی در آزمایشگاه بسیار دشوار بوده و با توجه به نحوه داده‌برداری محققین پیشین احتمال وجود خطا در ایـن نقـاط بسـیار بالا مـی‌باشـد (Anwar, 1999). بـه همـین دلیـل در ایـن تحقیق طراحی مجموعه آزمایشـگاهی بـه شـکلی صـورت گرفت تـا ایجـاد گـام‌هـای بسـیار کوچـک در تغییـر بـده برداشت نقاط مربوط به بیشـینه و کمینـه انحـراف از بـده طراحی میسر شود. از این رو داده‌های برداشت شده بـرای کل دامنه و بـویژه در نقـاط مینـیمم و مـاکزیمم از دقـت بسیار قابل قبـولی نسـبت بـه آنچـه کـه محققـین دیگـر داشته‌اند برخوردار است، بطوریکه در تحقیق حاضر بـازای تغییرات ارتفاع آب بالادست سازه از ۱۵ تا ۲۵ سـانتی‌متـر به طور متوسط برای هر آزمایش حدود ۴۵ نقطه برداشـت شد (حدوداً بازای هر ۲/۲ میلیمتر یک نقطه) حال آنکه در روش‌های دیگر داده‌برداری به طور متوسـط ۱۳ نقطـه در آزمایشگاه برداشـت شـده اسـت کـه تقریبـاً بـازای هـر ۸ میلیمتر یک نقطه قابل قرائت بوده اسـت (Mishra et al, 1990). به این ترتیب در آزمایش‌هایی که محققـین قبلـی انجام داده‌اند، امکـان قرائـت نقـاطی کـه دارای حـداقل و حداکثر بده عبوری از مدول تیغه‌ای باشند کمتر است.

جدول (۲) بیشینه و کمینه انحراف از بده طراحی مشاهده شده در تحقیق حاضر و تحقیق‌های گذشته

	دبی طراحی (l/s)	بیشینه انحراف از بده طراحی(روش میشرا و همکاران)	بیشینه انحراف از بده طراحی(تحقیق حاضر)	کمینه انحراف از بده طراحی(روش میشرا و همکاران)	کمینه انحراف از بده طراحی(تحقیق حاضر)
افزایش ارتفاع آب	۲	+٪۴/۶۵	+٪۱۲/۰۰	-٪۳/۴۰	-٪۹/۰۰
	۴	+٪۵/۷۰	+٪۱۳/۰۰	-٪۱/۸۵	-٪۱/۸۸
	۷	+٪۶/۵۷	+٪۵/۴۳	-٪۲/۱۹	-٪۶/۷۴
کاهش ارتفاع آب	۲	+٪۳/۴۸	+٪۵/۹۹	-٪۵/۶۴	-٪۷/۰۰
	۴	+٪۶/۱۷	+٪۶/۳۳	-٪۱/۶۶	-٪۴/۲۵
	۷	+٪۶/۶۴	+٪۶/۸۰	-٪۲/۰۴	-٪۵/۲۷

به منظور مقایسه روش‌های میشرا و همکاران و انور از میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) استفاده شد. این پارامترها بوسیله روابط زیر قابل محاسبه هستند:

$$MAE = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|q_d - q_i|}{q_d} \qquad (۱)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(q_d - q_i)^2\right]^{0.5} \qquad (۲)$$

در روابط فوق n، تعداد نقاط برداشت شده در آزمایشگاهی، q_d، بده طراحی و q_i، بده مشاهده شده در هر یک از نقاط آزمایشگاهی می‌باشد. پارامترهای فوق برای داده‌های آزمایشگاهی محاسبه و در جدول (۳) ارائه شده است. لازم به ذکر است که از آنجایی که هر آزمایش دو مرتبه تکرار شد تا از دقت داده‌های برداشت شده اطمینان حاصل شود، مقادیر ارائه شده MAE و RMSE میانگینی از دو تکرار برای هر آزمایش می‌باشند.

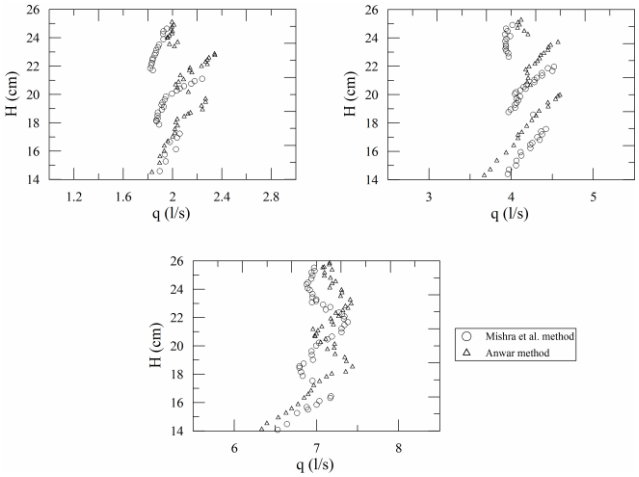
جدول (۳) نتایج محاسبات پارامترهای آماری با استفاده از روابط (۱) و (۲)

	دبی طراحی (l/s)	RMSE (l/s)		MAE (٪)	
		انور	میشرا و همکاران	انور	میشرا و همکاران
افزایش ارتفاع آب	۲	۰/۱۵	۰/۱۱	۵/۷	۴/۹۱
	۴	۰/۳۲	۰/۲۰	۶/۸۵	۳/۸۳
	۷	۰/۲۴	۰/۱۹	۲/۹۹	۲/۲۵
کاهش ارتفاع آب	۲	۰/۱۱	۰/۰۸	۴/۳۷	۳/۵۳
	۴	۰/۱۵	۰/۱۱	۳/۱	۲/۳۵
	۷	۰/۳	۰/۲۲	۳/۷۱	۲/۵۸

همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود در روش انور علی‌رغم دستاوردهای تئوری ایشان مبنی بر طراحی مدول تیغه‌ای به شکلی که عملکرد آن افزایش یابد، تمام شاخص‌ها نشاندهنده کاهش عملکرد سازه به روش طراحی انور و افزایش خطا نسبت به بده طراحی در هر دو چرخه افزایش و کاهش ارتفاع آب پشت سازه در مقایسه با روش طراحی میشرا و همکاران هستند.

روش‌های ممکن برای بهبود طراحی روش انور و تعیین ابعاد مناسبتر

از دیدگاه نظری اساس طراحی به روش انور به گونه‌ای است که توقع بهبود عملکرد سازه را ایجاد می‌کند. چراکه در این روش با در نظر گرفتن ارتفاع تیغه اول برابر ۱۷/۷ سانتی‌متر این تیغه نیز در کنترل جریان شرکت می‌کند و بطور کلی باعث کمتر شدن حساسیت سازه نسبت به روش‌های گذشته می‌شود (Anwar, 1999) چراکه در روش میشرا و همکاران (۱۹۹۰) ارتفاع اولین تیغه برابر کمینه ارتفاع طراحی یعنی ۱۵ سانتی‌متر درنظر گرفته شده و نقش این تیغه در کنترل جریان به مجرد افزایش ارتفاع آب از بین می‌رود (Anwar, 1999). در نتیجه چنین انتظار می‌رود که نتایج آزمایشگاهی نیز بهبود عملکرد سازه را در روش انور در پی داشته باشد اما شکل (۸) نشان می‌دهد که روش انور نتنها عملکرد سازه را بهبود نداده است بلکه انحراف آن از بده طراحی نیز نسبت به روش میشرا و همکاران بیشتر است.



شکل (۸) مقایسه منحنی‌های بده-اشل، در طراحی به روش میشرا و همکاران و انور

به نظر می‌رسد که دلایل زیر را برای تبیین این موضوع می‌توان بر شمرد.:

۱ - در آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق فاصله بین تیغه‌ها در روش انور همان مقادیر پیشنهادی محققین قبلی (Mishra et al, 1990) درنظر گرفته شده. چراکه در روش طراحی انور فقط روی ابعاد تیغه‌ها مطالعه شده است و توصیه‌ای جهت تعیین فاصله تیغه‌ها وجود ندارد (Bijankhan, 1388). در نتیجه، مشخص نبودن فاصله بهینه بین تیغه‌ها در روش انور باعث شده تا آب بیشتری از روی تیغه‌ها به صورت سرریزی عبور کند و به طور کلی میزان انحراف از بده طراحی افزایش یابد.

۲ - یکی از پارامترهای بسیار مهم در تعیین ابعاد مدول تیغه‌ای ضریب بده دریچه کشویی می‌باشد. دقت رابطه مورد استفاده در روش انور برای برآورد ضریب بده جای سوال دارد چراکه برای بدست آوردن این رابطه از رقومی کردن داده‌های آزمایشگاهی محققین گذشته استفاده شده است و در چنین شرایطی احتمال وجود خطا بسیار بالا می‌باشد (Bijankhan, 1388). به همین دلیل در ادامه این بحث با ذکر برخی از روابط موجود جهت برآورد ضریب بده دریچه کشویی و مقایسه آنها با داده‌های آزمایشگاهی موجود به بررسی دقت ضریب بده استفاده شده در روش طراحی انور برای دریچه کشویی پرداخته می‌شود.

روابط (۳)، (۴) و (۵) برخی از روابطی است که توسط محققین مختلف جهت برآورد ضریب بده دریچه کشویی ارائه شده است (Larsen and Mishra, 1990 و Swamee, 1992 و Abdualaziz, 1998):

$$C_d = 0.489\left(\frac{a}{H}\right)^{0.075} \qquad (۳)$$

$$C_d = 0.611\left(\frac{H-a}{H+15a}\right)^{0.072} \qquad (۴)$$

$$C_d = 0.63\left(\frac{H-a}{H+15a}\right)^{0.0649} \qquad (۵)$$

شایان ذکر است که در روش طراحی انور از رابطه (۴) استفاده شده است.

روابط فوق در شکل (**۹**) رسم شده و با داده‌های آزمایشگاهی محققین دیگر مورد مقایسه قرار گرفته است (Rajarat and Subramanya, 1967nam). همانطور که در این شکل مشخص است رابطه (۴) مقادیر ضریب بده را همواره کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند حال آنکه رابطه (۵) در اکثر نقاط ضریب بده را بیشتر نشان می‌دهد. روند معادله (۳) که در شکل(۹) ترسیم شده است مخالف رند تغییرات روش‌های دیگر است. بنابراین به نظر می‌رسد که توان رابطه باید منفی باشد و در مقاله اصلی (Larsen & Mishra, 1990) این علامت منفی از قلم افتاده است. از این رو رابطه اخیر به صورت زیر اصلاح می‌شود:

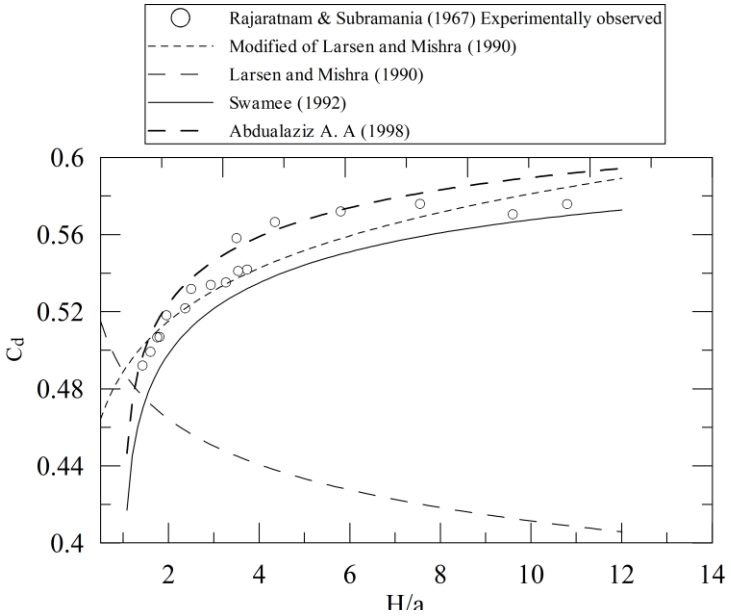
$$C_d = 0.489(\frac{a}{H})^{-0.075} \qquad (۶)$$

مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای (RMSE) برای معادلات (۴)، (۵) و (۶) به ترتیب برابر ۰/۱۲۱، ۰/۰۵۳ و ۰/۰۳۹ می‌باشد که در نتیجه رابطه (۶) کمترین خطا را دارد. حال آنکه رابطه بکار گرفته شده در روش طراحی انور (رابطه (۴) بیشترین خطا را نسبت به داده‌های آزمایشگاهی از خود نشان می‌دهد.

به عنوان نتیجه‌گیری کلی از این بخش چنین می‌توان ذکر کرد که از آنجایی که رابطه (۴) همواره ضریب بده را کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد و طراحی روش انور بر اساس آن استوار شده است، در این روش مقادیر بازشدگی تیغه‌ها همواره بیشتر از مقدار حقیقی محاسبه می‌شود و همین امر باعث می‌شود تا بده عبوری از مدول تیغه‌ای انحراف بیشتری از بده طراحی داشته باشد. حال اگر به جای رابطه(۴) از رابطه رابطه(۶) در طراحی به روش انور استفاده شود ابعاد اصلاح شده محاسبه و تعیین خواهد شد. نتایج محاسبات در جدول (۴) قید شده است. ذکر این نکته ضروری است که ارتفاع تیغه اول و دوم همان مقادیر ۱۷/۷ و ۲۱/۰ سانتی‌متر می‌باشد.

به طور کلی کاهش بازشدگی تیغه‌ها و تعیین فاصله بهینه تیغه‌ها به شکلی که انتقال جریان به تیغه بعد با کمترین افزایش بده ناشی از جریان سرریز-روزنه صورت پذیرد، می‌تواند عملکرد روش انور را بهبود بخشد.

مطابق با جدول (۴)، در ابعاد اصلاح شده روش انور بازشدگی بازشدگی هر یک از تیغه‌ها حدود یک میلیمتر کاهش یافته است. به طور مثال بازای بده طراحی ۲ لیتر بر ثانیه بازشدگی تیغه‌ها به طور متوسط حدود ۵/۸ درصد کاهش یافته است و این مقدار برای سازه‌ای که در نظر است تنها ±۵٪ انحراف نسبت به بده طراحی داشته باشد چشمگیر بوده و باید اصلاح گردد. در پایان توصیه می‌شود تا در پژوهشی دیگر به بررسی ابعاد اصلاح شده روش طراحی انور پرداخته شود همچنین لازم است تا فواصل بهینه بین تیغه‌ها نیز که در عملکرد سازه تاثیر مستقیم دارد تعیین گردد.



شکل (۹) هد بدون بعد در مقابل ضریب بده دریچه کشویی برای معادلات مختلف ارائه شده توسط محققین

جدول (۴) ابعاد اصلاح شده روش طراحی انور

دبی طراحی (l/s)	روش انور			انور اصلاح شده		
	a_1 (cm)	a_2 (cm)	a_3 (cm)	a_1 (cm)	a_2 (cm)	a_3 (cm)
۲	۱/۹	۱/۷	۱/۶	۱/۸	۱/۶	۱/۵
۴	۴/۰	۳/۶	۳/۲	۳/۹	۳/۵	۳/۲
۷	۷/۴	۶/۶	۵/۹	۷/۲	۶/۴	۵/۸

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی روش‌های متداول طراحی مدول تیغه‌ای پرداخته شد. نتایج بررسی‌های تحقیق حاضر نشان داد که روش طراحی میشرا و همکاران در چرخه افزایش ارتفاع آب بالادست نسبت به آنچه آنها در گزارشات خود ذکر کرده‌اند انحراف بیشتری از بده طراحی دارد. در واقع طراحی ویژه مجموعه آزمایشگاهی در تحقیق حاضر اشاره به گونه‌ای انجام شد که داده‌برداری با گام‌های بسیار کوچک افزایش ارتفاع آب بالادست سازه امکان‌پذیر بود و برداشت نقاط بیشینه و کمینه انحراف از بده طراحی را امکان‌پذیر می‌کرد. همچنین بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داد که روش طراحی انور بر خلاف دستاوردهای تئوری مبنی بر بهبود عملکرد مدول تیغه‌ای چنین نتیجه‌ای را در بر ندارد. در پایان دلایل عدم تطابق روش طراحی انور با آنچه مورد انتظار بود آورده شد و ابعاد اصلاح شده ارائه گردید.

سپاس‌گذاری

این تحقیق در راستای ماموریت قطب علمی "ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی" انجام شده است. از حمایت‌های قطب مذکور و از حمایت‌های دانشگاه تهران برای ایجاد امکانات و فضای مناسب تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. بی‌جن‌خان. م. ۱۳۸۸. بررسی هیدرولیکی مدول تیغه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

2. Abdualaziz, A. A. 1998. Coefficient of discharge for free flow of sluice gates. J. King. Saud. University, 11(1), 33-48.
3. Anwar, A. A. 1999. Baffle sluice module with improved performance. J. Irrig. Drain. Eng 125, No. 2, 91–95.
4. Henry, H. R. 1950. Diffusion of submerged jets. By Albertson, M. L., Dai, Y. B., Jensen, R. A. and Rouse, H. Trans 115: 687-694.
5. Laresen, A. P. and Mishra, P. K. 1990. Constant discharge device for field irrigation. J. Hydr. Res. Delft, The Netherlands 28, No. 4, 481–489.
6. Maheswara Babu, B., Mishra, P. K. and Satyanarayana, T. 1996. Performance of baffle-sluice module with change module dimensions. J. Irrig. Drain. Eng. 122, No. 5, 310–313.
7. Mishra, P. K., Laresen, A. P. and Satyanarayana, T. 1990. Development of Low-Discharge Baffle-Sluice Module. J. Irrig. Drain. Eng 116, No. 3, 444–453.
8. Rajaratnam, N. and Subramanya, K. 1967. Flow equation for sluice gate. J. Irrig.

Drain. Eng. 3: 167-187.
9. Swamee, P. K. 1992. Sluice gate discharge equation. J. Irrig. Drain. Eng 118, No. 8, 56─60.
10. Verma, D. V. S. and Pasricha, A. 1994. Hydraulic characteristics of baffle modules. J. Inst. Engrs 75, 155─158.

Experimental investigation on the different design methods of the baffle sluice gate

Abstract

In this experimental study, deferent design methods for baffle sluice gates have been investigated. Baffle modules are considered as a water delivery structure releasing a semi-constant discharge within specific upstream water fluctuations. According to the result of experimental data it was revealed that the performance of this structure is concurred with a desire volumetric water delivery structure and it can be widely used in irrigation channels. Module behavior has been evaluated for both increasing and decreasing of the water depth for deferent design methods. There was no significant effect due to increasing or decreasing of the upstream water depth on the hydraulic performance of the baffle sluice gate. Finally, it was demonstrated that choosing an accurate discharged coefficient can affect the design results significantly. In this regard, the best current design method has been improved based on choosing a suitable discharge coefficient.

Key words: Baffle sluice gate, Volumetric water delivery, Discharge Coefficient, hydraulic performance, Increasing and decreasing of water depth.