

بررسی تأثیر تیغه‌های گرداب‌شکن ۴۵ درجه بر ضریب تخلیه سرریز نیلوفری با استفاده از مدل FLOW-3D

سحر نوروزی^۱ و جواد احدیان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز ja_ahadiyan@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۲۵

چکیده

ایجاد گردابه‌ها در دهانه‌ی ورودی سرریزهای نیلوفری می‌تواند باعث کاهش ضریب دبی و کارایی نامناسب سرریز گردد. بنابراین استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن باعث کاهش این گردابه‌ها شده و کارایی سرریز را افزایش می‌دهد. در این تحقیق هدف، مدل‌سازی عددی جریان عبوری از سرریز نیلوفری و بررسی تأثیر تیغه‌های گرداب‌شکن در جریان سرریز نیلوفری به کمک مدل ریاضی FLOW-3D می‌باشد. بنابراین در این تحقیق مدل‌سازی سرریز در حالت با و بدون تیغه‌ها (۳، ۴ و ۶ تیغه با زاویه ۴۵ درجه) انجام شد. کلیه مدل‌ها در دبی‌های مختلف با استفاده از مدل آشفتگی اصلاح شده‌ی $k-\epsilon$ تحت عنوان RNG $k-\epsilon$ اجرا و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شدند. نتایج نشان داد که در سرریز نیلوفری به‌طور کلی با کاهش ارتفاع آب روی سرریز در حدود ۲۵ درصد، ضریب دبی به میزان ۴۲ درصد افزایش می‌یابد. در بین سه آرایش تیغه‌های گرداب‌شکن، آرایش شش تایی دارای نتایج مطلوب‌تری نسبت به حالت‌های دیگر است و همچنین بیشترین تأثیر را در کاهش ارتفاع آب دارد. مقایسه نتایج با مدل شاهد نشان می‌دهد که با افزودن شش تیغه، در محدوده $+0.1$ ارتفاع نسبی آب، ضریب دبی به میزان حدود $+0.4$ درصد افزایش یافته است و در محدوده $+0.2$ ارتفاع نسبی آب، ضریب دبی به میزان حدود $+0.57$ درصد افزایش یافته است.

کلید واژه‌ها: سرریز نیلوفری، ضریب دبی، گرداب شکن، مدل عددی FLOW-3D.

Effect of Vortex Breaker Blades 45 Degree on Discharge Coefficient of Morning Glory Spillway Using Flow-3D

S. Noruzi¹ and J. Ahadiyan^{2*}

1- M.Sc. Student, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2* - Corresponding Author, Associate Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 16 September 2015

Accepted: 20 January 2016

Abstract

The discharge coefficient of morning glory spillway is decreased with eddies created by vortex at the inlet part of weir. However, a series of specific blades can reduce vortices which result in the spillway efficiency is increased. Hence, in this research numerical modeling of installed breaker blade on morning glory spillway was evaluated using Flow-3D model. To achieve these purposes, morning glory spillway was modeled without and with blades 3, 4 and 6 blades at 45 degree angle. To simulate the turbulence fluctuations, the modified $\kappa-\epsilon$ model (RNG $\kappa-\epsilon$) was used and its results were compared to the experimental data. Results showed that by installing blades, the discharge coefficient increases up to 42 percent with 25 percent decreasing in the upstream water level. Moreover, among the three different arrangements of blades, the six-blade model was found to have more satisfactory results than other models. In comparison to control

model, for H/D between 0 to 0.1 and 0.1 to 0.2 the discharge coefficient has been increased 40 and 57 percent for six-blade arrangement, respectively.

Keywords: Morning glory spillway, Discharge coefficient, Vortex breaker, Numerical model of FLOW-3D.

می‌باشد (ورستگ و مالالاسکرا^۵، ۱۹۹۵). مدل FLOW-3D قابلیت تحلیل سه بعدی میدان جریان را داراست و محدوده کاربردی بسیار وسیعی را در مسائل مربوط به سیالات دارد. معادله‌های حاکم در این مدل، معادله‌های ناویر استوکس و معادله بقای جرم است. در این مدل، روش‌های مدل‌سازی آشفتگی مختلفی ارائه شده است: طول اختلاط پراتل^۶، مدل تک معادله‌ای انرژی جنبشی آشفتگی^۷، مدل دو معادله‌ای $k-\epsilon$ ^۸، مدل گروه‌های نرمال شده RNG^۹، مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ^{۱۰} (قاسمزاده، ۱۳۹۲). با توجه به کارایی مدل RNG در تحلیل جریان‌های هیدرولیکی با اختلاف فشار زیاد و تشخیص مناسب بودن این مدل برای مدل‌سازی هیدرولیکی (یاخوت و اسمیت^{۱۱}، ۱۹۹۲) از آن در این تحقیق استفاده گردید.

پیشینه تحقیق

مطالعاتی که تاکنون در زمینه تحقیقات مدل فیزیکی و عددی روی هندسه سرریز نیلوفری انجام گردیده است: فاتور و بچیگا^{۱۲} (۲۰۰۳) به این نتیجه رسیدند که در سرریزهای نیلوفری در صورتی که سرریز مستغرق باشد، مقدار دبی $1/34$ برابر دبی جریان در حالت آزاد می‌باشد و در صورت عدم هوادهی تونل در سرریز جریان متلاطم و ناپایداری رخ می‌دهد. خاتسوریا^{۱۳} (۲۰۰۵) مطالعاتی از جمله فشار، نسبت استغراق و ضریب دبی روی سرریزهای صاف انجام داد. نتایج این محقق با نتایج اداره عمران آمریکا در مورد سرریزهای نیلوفری صاف مطابقت داشته است. نوک و همکاران^{۱۴} (۲۰۰۷) این محققان مطالعات جدیدی روی سرریزهای نیلوفری انجام داده‌اند و نتیجه مطالعات خود را در قالب فرمول‌های استغراق جریان بیان نموده‌اند. باقری و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر چندوجهی کردن سرریز نیلوفری را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که چندوجهی کردن سرریز نیلوفری باعث افزایش دبی گذرا از میان سرریز و همچنین افزایش ضریب دبی می‌گردد و بیشترین افزایش مربوط به سه وجهی کردن تاج سرریز می‌باشد. توانا و همکاران (۲۰۱۱) بهینه‌سازی تعداد و مکان قرارگیری تیغه‌های گرداب‌شکن در سرریز نیلوفری را مورد بررسی

مقدمه

از سرریزها برای عبور آب‌های اضافی و سیلاب‌ها از سراب به پایاب سدها استفاده می‌شود. بنابراین سرریز باید سازه‌ای قوی، مطمئن و با کارایی بالا انتخاب شود که هر لحظه بتواند برای بهره‌برداری آمادگی داشته باشد. انتخاب نوع سرریز تابع شرایط محل، نوع سد و هزینه‌ی طرح بوده می‌باشد.

سرریز نیلوفری یکی از محدود سازه‌های مجزا از بدنه سد می‌باشد که برای تخلیه سیلاب‌ها از مخزن سد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سرریز به شکل قیف می‌باشد و در انتها به تونلی با انحنای مشخص ختم می‌گردد. این سازه معمولاً در تنگه‌های باریک و در جاهایی که شیب کناره‌ها تند است مورد استفاده قرار می‌گیرد. سه کنترل در سرریز نیلوفری وجود دارد: کنترل در تاج^۱ که در دبی‌های پایین می‌باشد، کنترل روزنه یا کنترل گلوگاه^۲ که با افزایش دبی انجام می‌گردد و کنترل خروجی^۳ که در تونل پایین دست می‌باشد (موسوی و همکاران، ۲۰۱۳).

از آنجایی که در ورودی این نوع سرریز جریان به صورت گردابی تشکیل می‌شود، مسیر خطوط جریان طولانی شده و در نتیجه کاهش ضریب دبی سرریز را به همراه خواهد داشت. به همین دلیل ضریب دبی این نوع سرریزها از سرریزهایی که به صورت آزاد عمل می‌کنند کمتر می‌باشد. جریان‌های گردابه‌ای در اثر تغییر جهت جریان، لزجت و کشش سطحی رخ می‌دهند. وجود این نوع جریان‌ها تأثیر منفی در عملکرد سازه‌هایی نظیر سرریز نیلوفری می‌گذارد. بررسی این نوع جریان در این نوع سرریزها مسئله‌ای مهم می‌باشد، زیرا ممکن است تأثیر منفی آن بر عملکرد سرریز نیلوفری باعث خسارت‌های جبران ناپذیری شود (سامانی، ۱۳۷۶). از روش‌هایی که می‌تواند برای کنترل گرداب موثر باشد استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن است که این کار بر افزایش دبی و ضریب دبی تأثیر زیادی خواهد داشت (بی نام، ۱۹۶۵).

در این تحقیق هدف مدل‌سازی سرریز نیلوفری با و بدون تیغه‌های گرداب‌شکن با استفاده از مدل FLOW-3D است. مدل FLOW-3D یکی از مدل‌های قوی در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی^۴ است. دینامیک سیالات محاسباتی یک روش بسیار قدرتمند در زمینه‌های کاربرد صنعتی و غیرصنعتی می‌باشد. مزیت‌های آن نسبت به مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی، هزینه کم و پذیرفتن تغییرات مختلف در تغییر هندسه سازه و داده‌های مدل

5-Versteg and Malalasekera
6-Prandtl mixing length
7-One-equation, turbulent energy model
8-Two equation (k-ε) model
9-Renormalized group (RNG) model
10-Large eddy simulation model
11-Yakhot and Smith
12-Fattor and Bacchiaga
13-Khatsuria
14-Novak and *et al.*

1-Crest control
2-Throat control
3-Tunnel control
4-Computational Fluid Dynamic, CFD

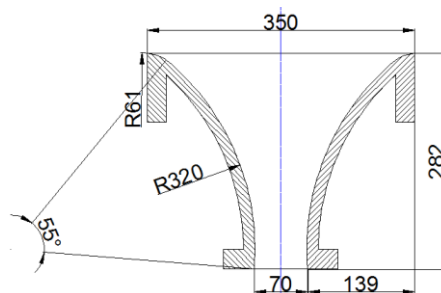
مقاطع دایره و مربعی را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج آنها بهترین زاویه قرارگیری ۹۰ درجه بوده که در مقطع دایره‌ای به دست آمده است. رضانی و همکاران (۱۳۹۲) پارامترهای مؤثر بر آبگذری سرریز نیلوفری سدهای البرز، پانزده خرداد و تهم را مورد آزمایش قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کاهش عمق تقرب، افزایش قطر تاج سرریز و تعبیه گرداب‌شکن منجر به افزایش آبگذری این سرریزها می‌شود. حاجی‌پور (۱۳۹۳) به کمک مدل آزمایشگاهی سرریز نیلوفری به همراه تیغه‌های گرداب‌شکن قائم با آرایش‌های متفاوت، مشاهده نمود که ضریب دبی سرریز در حالت وجود گرداب‌شکن بیشتر از حالت شاهد بوده است و همچنین با افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها راندمان سرریز نیلوفری بیشتر خواهد شد. نظری پورکیانی (۱۳۹۳) فشار و سرعت جریان در سرریز نیلوفری سد البرز را با استفاده از FLOW-3D بررسی نمود. سرعت متوسط در تمامی دبی‌ها همواره مقادیر کمتری را در مقایسه با مدل آزمایشگاهی شامل شده است که می‌توان به دلیل تأثیر زبری و روش حل معادله‌ها دانست. بر اساس آنچه در این بخش گذشت، در مطالعات گذشته کمتر به مدل‌سازی اثر تیغه‌های گرداب‌شکن پرداخته شده است، لذا در این تحقیق مدل فیزیکی سرریز نیلوفری را که با و بدون تیغه‌های گرداب‌شکن در آزمایشگاه اجرا شده است، با مدل عددی FLOW-3D نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش تحقیق

در این تحقیق برای مدل‌سازی سرریز نیلوفری از نتایج مدل آزمایشگاهی حاجی‌پور (۱۳۹۳) روی مدل فیزیکی سرریز نیلوفری که واقع در آزمایشگاه واحد علوم تحقیقات خوزستان می‌باشد، استفاده گردید. در این مدل قطر دهانه سرریز ۳۵ سانتی‌متر، قطر گلوگاه سرریز ۷ سانتی‌متر، ارتفاع سرریز تا گلوگاه ۲۸/۲ سانتی‌متر و طول کل سرریز با تونل آب‌بر ۲۹۱ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین تیغه‌های مورد استفاده دارای ابعاد (۳×۲×۳/۵) سانتیمتر بوده که وجه بالایی آن‌ها دارای زاویه ۴۵ درجه با افق می‌باشد. از یک سرریز ساده به عنوان سرریز شاهد و سه سرریز به همراه تیغه‌های ۳، ۴ و ۶ تایی در شش دبی مختلف برای ارزیابی استفاده شد (حاجی‌پور، ۱۳۹۳). در شکل (۱) ابعاد سرریز و در شکل (۲) ابعاد تیغه‌ها مشخص می‌باشد.

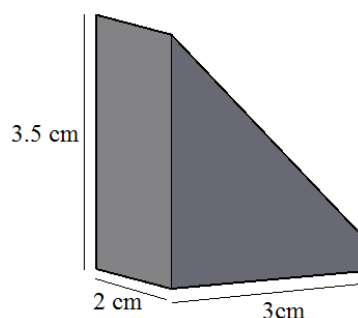
قرار دادند. در تحقیق آن‌ها ملاحظه شد که با افزایش تعداد تیغه‌ها ظرفیت سرریز بیشتر می‌شود. همچنین با افزایش تعداد تیغه‌ها استغراق سرریز کمتر شده و این کمتر شدن استغراق باعث افزایش ضریب دبی گردیده است. موسوی و همکاران (۲۰۱۳) روی سرریز نیلوفری با دهانه مربعی شکل و اثر تیغه‌های گرداب‌شکن آزمایش‌هایی را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها در هر دو دهانه مربعی و دایره‌ای باعث افزایش آستانه استغراق می‌شود و همچنین استغراق برای بار آبی بالا در ورودی سرریز اتفاق می‌افتد. اکبری و همکاران (۲۰۱۵) اثر تیغه‌های گرداب‌شکن روی الگوی جریان سرریز نیلوفری را به صورت عددی با نرم‌افزار FLOW-3D مورد مطالعه قرار دادند. ضریب دبی سرریز نیلوفری با سه گرداب‌شکن، شش گرداب‌شکن و ۱۲ گرداب‌شکن بررسی گردید. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود تیغه‌های گرداب‌شکن با ابعاد ۵×۸×۱۰ در ارتفاع ثابتی دارای اثر زیادی در افزایش ضریب دبی داشته و با افزایش تعداد تیغه‌ها دبی گذرا بیشتر شده و همچنین با افزایش ارتفاع آب، سرعت جریان افزایش می‌یابد. نوحانی و جمالی (۱۳۹۴) مطالعه‌ای آزمایشگاهی روی ضخامت تیغه‌های گرداب‌شکن بر ضریب تخلیه سرریز نیلوفری انجام داد و نتیجه گرفت که تأثیر توأم افزایش تعداد تیغه‌ها و ضخامت تیغه‌ها موجب افزایش ضریب تخلیه سرریز نیلوفری

می‌شود. رنجبر ملک‌شاه (۱۳۹۳) در خصوص مدل‌سازی رفتار سرریز نیلوفری پلکانی تحقیق خود را انجام داد. برای این منظور وی مشخصات هندسی مدل آزمایشگاهی سرریز نیلوفری سد البرز واقع در شیرگاه شهرستان سوادکوه استفاده نمود. در مدل‌سازی انجام شده توسط وی در شرایط هیدرولیکی مختلف به این نتیجه رسید که روش‌های CFD با توانایی مناسب قادر به بررسی رفتار هیدرولیکی سرریز هستند. حیدری ارچلو و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی اثر شیب و تعداد پلکان در عملکرد سرریزهای پلکانی را بررسی نمودند. در تحقیق آنها آزمایش‌های مختلفی به ازای انرژی ثابت بالادست انجام گردید و هدف اساسی بر میزان استهلاک انرژی استوار شد. بر اساس نتایج به دست آمده در آن پژوهش افزایش شیب تا ۳۰ درجه می‌تواند منجر به افت انرژی حداکثر گردد. کمان‌بدست و موسوی (۱۳۹۵) در یک تحقیق آزمایشگاهی به بررسی اثر تعداد و زاویه تیغه گرداب‌شکن بر سرریز نیلوفری با



شکل ۱- ابعاد تیغه گرداب‌شکن

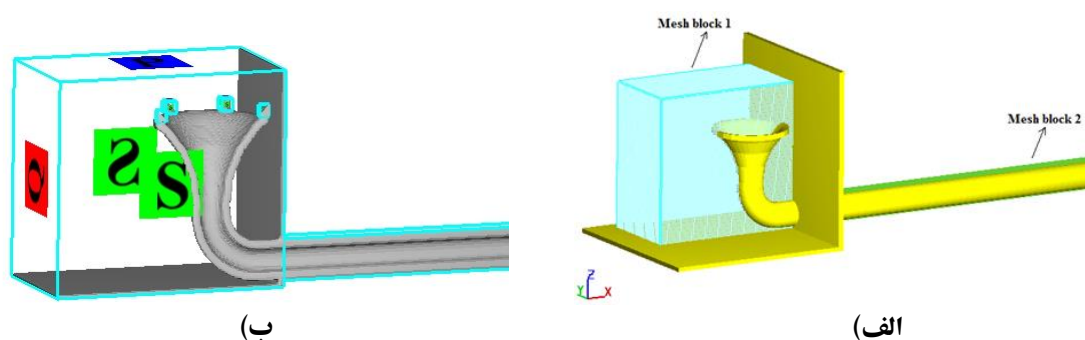
نوروزی و احدیان: بررسی تأثیر تیغه‌های گرداب‌شکن ۴۵ درجه...



شکل ۲- ابعاد تیغه گرداب‌شکن

جدول ۱- مقادیر دبی‌های مورد استفاده در مدل‌سازی

مراحل مدل سازی	دبی (L/s)
۱	۳/۱
۲	۴/۱
۳	۵/۲
۴	۶/۱
۵	۷
۶	۸/۵

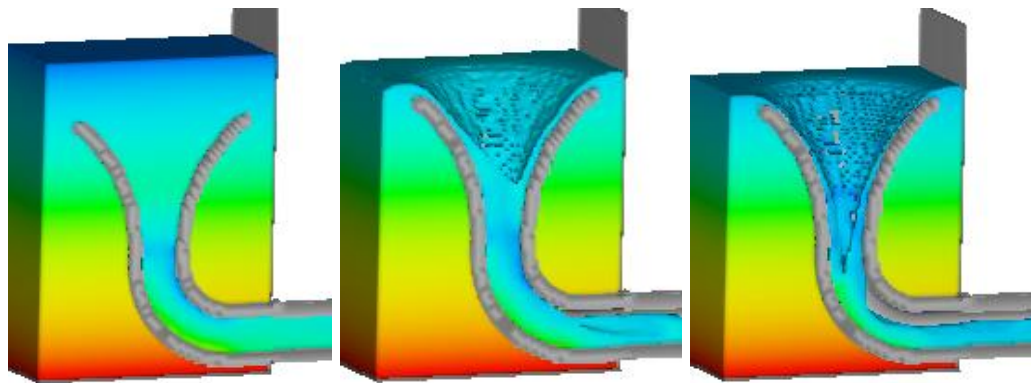


شکل ۳- الف) مدل فیزیکی سرریز نیلوفری بدون تیغه، ب) مدل فیزیکی سرریز نیلوفری با تیغه‌های گرداب‌شکن.

و در پایین‌دست به صورت خروجی، شرایط مرزی در جهت Y در مرز بالایی و پایینی به صورت متقارن و شرایط در جهت Z در مرز بالایی به صورت فشار برابر با جو و در مرز پایینی به صورت دیوار و برای مش‌بلوک دو: شرایط مرزی در جهت X در بالادست و Y در بالادست به صورت تقارن، شرایط مرزی در جهت X در پایین‌دست به صورت خروجی و بقیه جهات به صورت دیوار در نظر گرفته شد. در شکل (۳) مدل فیزیکی ترسیم شده در اتوکد در فضای نرم‌افزار FLOW-3D با مشخص کردن مش‌بندی به صورت متقارن و شرایط مرزی نشان داده شده است. در مدل‌سازی به دلیل اینکه سرریز به صورت متقارن در نظر گرفته شد تعداد تیغه‌ها به نصف کاهش یافت. زمان شبیه‌سازی برای ایجاد شرایط جریان آرام ۱۵ ثانیه در نظر گرفته شد.

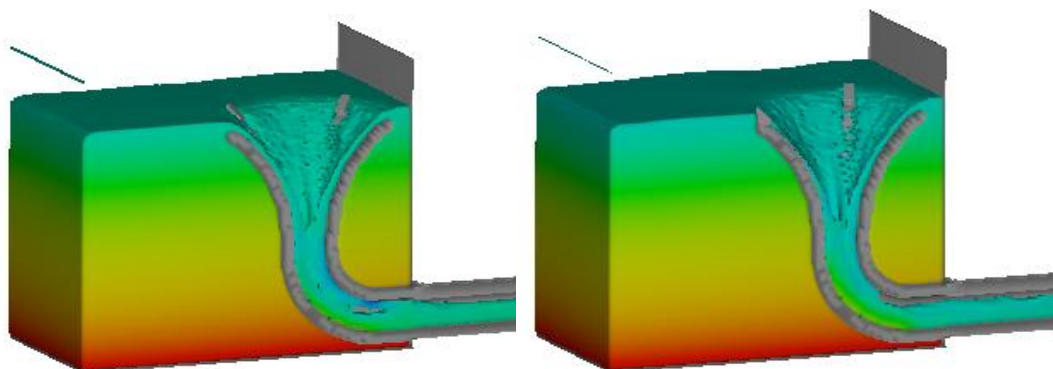
از آنجا که در تحقیقات آزمایشگاهی به دلیل محدودیت‌های متعدد آزمایشگاهی امکان بررسی همه‌ی پارامترها نیست لذا در تحلیل‌های این تحقیق، مقایسه بین نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی، برای صحت مدل عددی FLOW-3D مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

برای مدل‌سازی این سرریز در ابتدا هندسه سرریز در نرم افزار اتوکد ترسیم و با فرمت stl در نرم افزار FLOW-3D فراخوانی شد. به منظور کاهش زمان محاسبات از شکل متقارن سرریز استفاده گردید، از دو مش‌بلوک استفاده گردیده است که شرایط مرزی به قرار زیر در نظر گرفته شد: در مش‌بلوک یک: شرایط مرزی در جهت X در بالادست سرریز به صورت دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه، که تعداد دبی‌های مورد استفاده به صورت جدول (۱) می‌باشد.



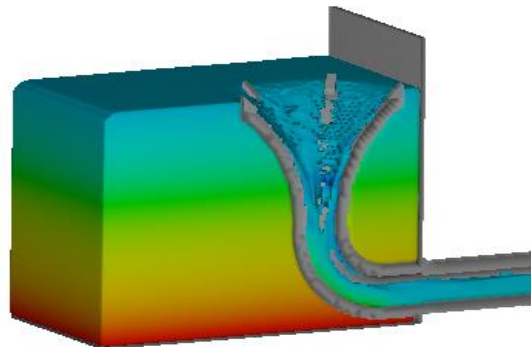
الف) کنترل تاج ب) کنترل روزنه ج) کنترل خروجی

شکل ۴- مدل سازی سرریز نیلوفری ساده به صورت متقارن در نرم افزار FLOW-3D



ب- سرریز با چهار تیغه گرداب شکن

الف- سرریز با سه تیغه گرداب شکن



ج- سرریز با شش تیغه گرداب شکن

شکل ۵- مدل سازی جریان در سرریز نیلوفری با تیغه‌های گرداب شکن (متقارن) در نرم افزار FLOW-3D

تاج سرریز می‌باشد. سپس دبی و ضریب دبی مشاهده‌ای از مدل عددی با مدل آزمایشگاهی، با استفاده از نمودارهای دبی-اشل و نمودار نسبت ارتفاع-ضریب دبی مقایسه گردید (بی نام، ۱۹۶۵).

پس از محاسبه‌ی هد در حالت پایدار از رابطه دبی در سرریزها برای به دست آوردن ضریب دبی اقدام می‌شود. رابطه دبی در سرریزهای نیلوفری به صورت زیر بیان می‌شود:

نتایج و بحث

در تحقیق حاضر اثر تیغه‌های گرداب شکن بر راندمان سرریز نیلوفری با استفاده از مدل عددی بررسی شد. در پژوهش‌های پیشین مشاهده شد که ضریب دبی در حالت‌هایی که سرریز به صورت ساده (بدون تیغه) می‌باشد از بقیه حالت‌ها کمتر است و در حالتی که همراه تیغه است، بار آبی روی سرریز کاهش یافته و در

$$Q = C_d LH^{1.5} \quad (1)$$

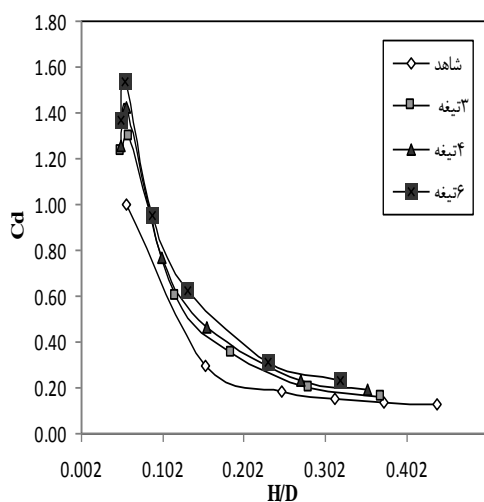
$$L = 2\pi R_s \quad (2)$$

در این رابطه، Q : دبی عبوری از سرریز، C_d : ضریب تخلیه سرریز، L : طول تاج سرریز، H : ارتفاع آب روی سرریز و R_s : شعاع

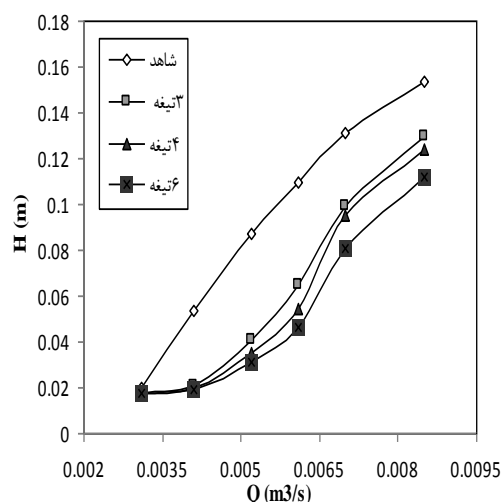
در شکل (۵) مشاهده می‌شود که وجود تیغه‌ها به‌طور مرتب باعث شکست خطوط جریان شده و باعث کاهش اثر گردابه‌ها می‌گردد. بنابراین از بین سه آرایش مورد آزمایش هر چه تعداد تیغه‌ها بیشتر بوده این اثر نیز بیشتر خواهد بود. از طرفی با افزایش تیغه‌ها ارتفاع آبی که بر روی سرریز وجود دارد نسبت به حالت شاهد کاهش یافته است. به‌طوری که آرایش تیغه‌ها با ۶ عدد تأثیر بیشتری نسبت به سایر آرایش‌ها داشته است. همچنین با کاهش بار آبی، فشار آبی که بر روی سرریز وارد می‌شود نیز کاهش می‌یابد. در شکل (۶) نمودارهایی از مدل عددی این تحقیق آورده شده است.

در شکل (۶) مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع آب روی تاج، ضریب دبی کاهش یافته و با کاهش این ارتفاع، ضریب دبی افزایش یافته است. همچنین سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن، دارای ضریب دبی بیشتری که به طور متوسط در حدود ۴۵ درصد است، نسبت به سرریز بدون تیغه می‌باشد و هر چه تعداد تیغه‌ها بیشتر شده است ارتفاع آب کاهش یافته و به تبع از آن ضریب دبی افزایش داشته است. به‌طوری که سرریز با شش تیغه گرداب‌شکن ضریب دبی بیشتری نسبت به سایر آرایش‌ها دارد. در شکل (۷) مقایسه بین نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی صورت گرفته است.

نتیجه ضریب دبی افزایش یافته است. در مجموع از بین تیغه‌های مورد آزمایش هر چه تعداد تیغه‌ها بیشتر شود بار آبی کمتر شده و به تبع از آن ضریب دبی افزایش می‌یابد. تیغه‌ها باعث جدایی خطوط جریان شده و گردابه‌ها را کمتر می‌کنند. البته افزایش تعداد تیغه‌ها تا حدودی که باعث مسدود نشدن ورودی سرریز شود می‌تواند این نتایج را دربرگیرد. نتایج به دست آمده از مدل عددی در این تحقیق برای سرریز ساده در شکل (۴) مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است سرریز دارای سه کنترل در تاج، گلوگاه و خروجی می‌باشد. تا زمانی که دبی سرریز در حدود ۶ لیتر بر ثانیه است کنترل در تاج سرریز می‌باشد و با افزایش دبی، سرریز به سمت استغراق پیش می‌رود و کنترل در روزنه (گلوگاه) است. در این قسمت که تقریباً ۵۰ درصد از سرریز از آب پر شده است، در این قسمت حالت گردابه‌ای در سرریز پیش می‌آید این گردابه‌ها دارای ابعاد کوچکی می‌باشند که با افزایش دبی ابعادشان افزایش می‌یابد و تلاطم جریان بیشتر می‌گردد. با استغراق کامل سرریز، جریان در تونل پایین‌دست به صورت یک لوله پر عمل کرده که در این حالت تونل کنترل‌کننده دبی، خروجی می‌باشد. پس از بررسی سرریز شاهد، سرریز با تیغه‌ها بررسی می‌گردد که در شکل (۵) نمایی از اجرای آزمایش آورده شده است.

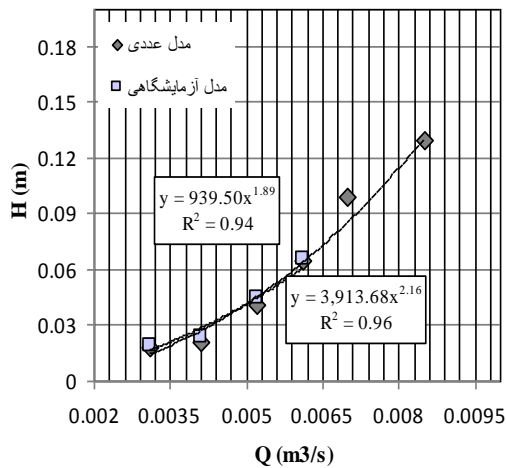


(ب)

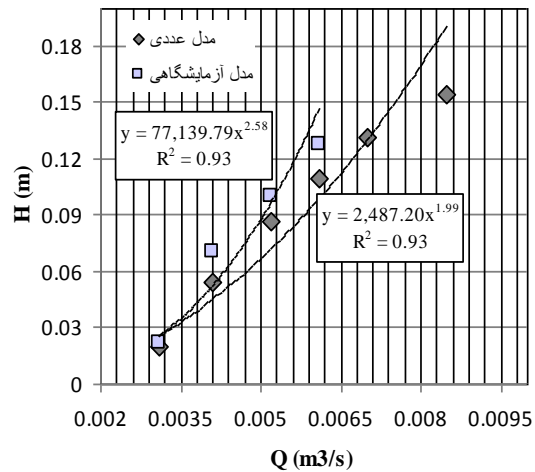


(الف)

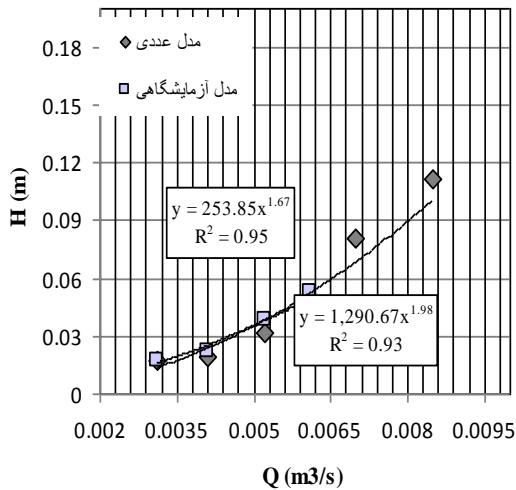
شکل ۶- نمودار مقایسه سرریز با و بدون تیغه گرداب‌شکن، الف) نمودار دبی اشل سرریز، ب) نمودار ضریب دبی با نسبت بار آبی- قطر سرریز



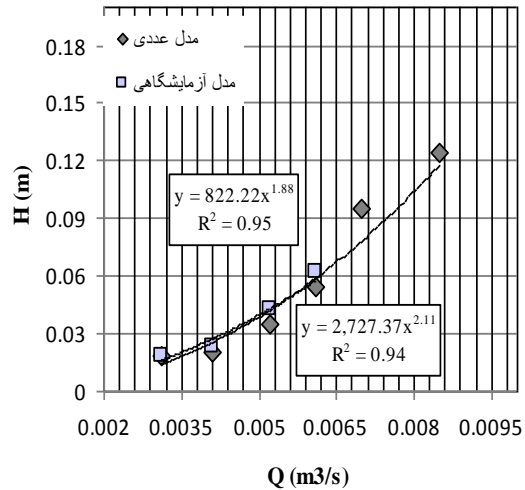
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

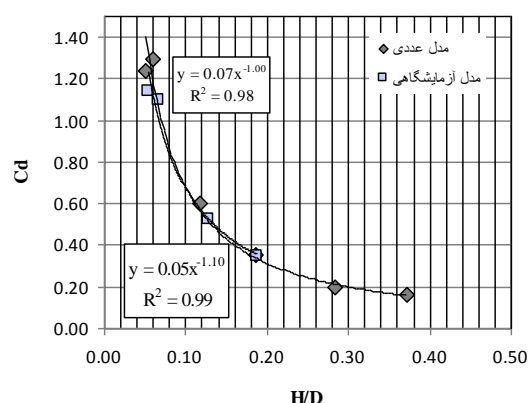
شکل ۲- مقایسه نمودار دبی اشل مدل عددی با آزمایشگاهی،

(الف) سرریز بدون تیغه، (ب) سرریز با ۳ تیغه، (ج) سرریز با ۴ تیغه، (د) سرریز با شش تیغه

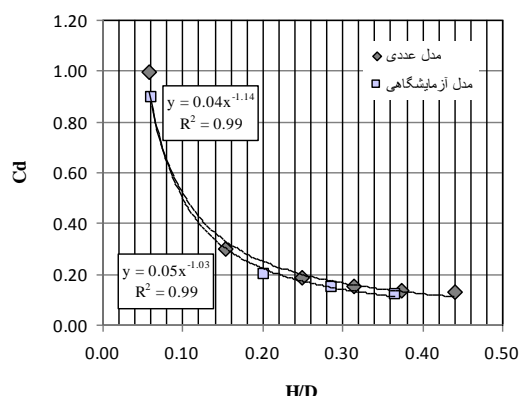
حدود ۴۱ درصد نسبت به سرریز شاهد دارد. بنابراین از بین ۳ آرایش هر چه تعداد تیغه‌ها بر روی تاج سرریز افزایش یابد، مقدار بار آبی کاهش می‌یابد. در نتیجه سرریز با وجود تیغه‌های بیشتر به صورت یک سرریز با لبه‌ی تیزتری عمل کرده که این امر باعث بالا رفتن کارایی سرریز می‌گردد.

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود تفاوت خیلی کمی بین نتایج این تحقیق با داده‌های آزمایشگاهی وجود دارد. همچنین مشاهده می‌شود در سرریز شاهد با افزایش ۲۱ درصدی دبی، ارتفاع آب روی سرریز به میزان ۲۰ درصد افزایش یافته و با قرارگرفتن تیغه‌ها بر روی تاج سرریز، این ارتفاع آب کاهش یافته به طوری که در سرریز با شش تیغه گرداب‌شکن، هد آب کمتری در

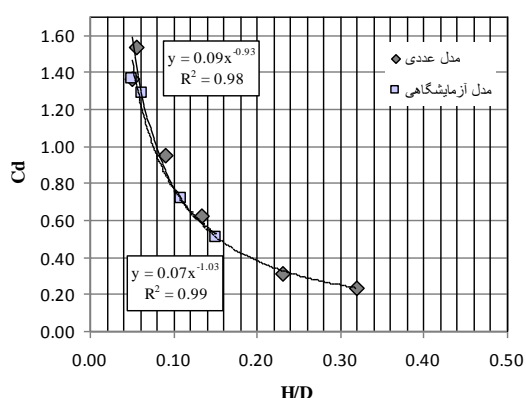
نوروزی و احدیان: بررسی تأثیر تیغه‌های گرداب‌شکن ۴۵ درجه...



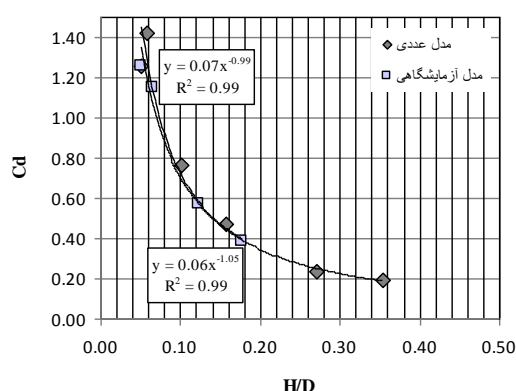
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۸- مقایسه نمودار ضریب دبی - نسبت استغراق مدل عددی با آزمایشگاهی: (الف) سرریز بدون تیغه، (ب) سرریز با سه تیغه، (ج) سرریز با چهار تیغه، (د) سرریز با شش تیغه

جدول ۲- مقایسه درصدی سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن نسبت به سرریز بدون تیغه در مدل عددی و آزمایشگاه

مقادیر آزمایشگاهی (ب)			مقادیر عددی (الف)				
مقایسه درصدی C_D			محدوده H/D	مقایسه درصدی C_D			محدوده H/D
سه تیغه	چهار تیغه	شش تیغه		سه تیغه	چهار تیغه	شش تیغه	
۲۴/۸۷	۳۴/۸۵	۴۸/۱۵	۰-۰/۱	۲۶/۹۵	۳۴/۴۸	۴۵/۶۸	۰-۰/۱
۱۱۸/۴	۱۴۰/۸۶	۲۰۸/۰۱	۰/۱-۰/۲	۶۰/۹۷	۱۰۷/۵۵	۱۶۴/۲۹	۰/۱-۰/۲

از مقایسه درصدی بین سرریز بدون تیغه با سرریز همراه تیغه‌های گرداب‌شکن ملاحظه می‌شود که حالت سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن در محدوده ارتفاع نسبی آب بین ۰ تا ۰/۱، سرریز با تیغه تفاوتی در حدود ۳۵ درصد با سرریز شاهد داشته است بنابراین در این محدوده که ارتفاع آب کم است کنترل در تاج سرریز می‌باشد، در محدوده ۰/۱ تا ۰/۲ دارای تفاوت زیادتری بوده است که به طور متوسط به میزان ۱۲۰ درصد می‌باشد، در این حالت ارتفاع آب روی سرریز بیشتر شده و سرریز تا حدودی مستغرق می‌شود که کنترل در روزه صورت می‌گیرد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در نتایج آزمایشگاهی نیز این روند بوده است. همچنین بین نتایج عددی حاضر با نتایج آزمایشگاهی مشاهده

در شکل (۸) مشاهده می‌شود که تفاوت ناچیزی بین ضریب دبی داده‌های عددی با داده‌های آزمایشگاهی وجود دارد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در نتایج داده‌های عددی نیز این اصل برقرار است که سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن دارای ضریب دبی بیشتری نسبت به سرریز بدون تیغه می‌باشد. به طوری که در بالاترین ارتفاع، سرریز با سه تیغه دارای افزایش ضریب دبی به میزان ۳۱ درصد، سرریز با چهار تیغه دارای افزایش ضریب دبی به میزان ۴۲ درصد و سرریز با شش تیغه دارای افزایش ضریب دبی به میزان ۵۷ درصد نسبت به سرریز شاهد می‌باشد. در جدول (۲) مقایسه درصدی بین نتایج آمده است.

متلاطم شدن جریان می‌گردد و با مستغرق شدن کامل سرریز، کنترل در خروجی می‌باشد و تونل پایین دست مانند یک لوله پر عمل می‌کند. در بین سه آرایش تیغه‌های گرداب‌شکن سه، چهار و شش، آرایش شش تایی دارای نتایج مطلوب‌تری نسبت به حالت‌های دیگر است و همچنین بیشترین تأثیر را در کاهش ارتفاع آب روی سرریز در حدود ۳۸ درصد داشت. از طرفی با افزایش دبی و استغراق گرداب‌شکن‌ها، جریان متلاطم شده و خطوط شکسته با حالت گردابه‌ای مخلوط می‌گردد. از مقایسه درصدی سرریز با تیغه نسبت به سرریز شاهد مشاهده گردید که با افزودن شش تیغه، در محدوده ۰/۱-۰/۰ ارتفاع نسبی آب، ضریب دبی به میزان حدود ۴۰ درصد افزایش یافته است و در محدوده ۰/۲-۰/۱ ضریب دبی به میزان حدود ۵۷ درصد افزایش یافته است. همچنین صحت نتایج مدل عددی نسبت به آزمایشگاهی سنجیده شد به طوری که خطای برآورد شده به طور کلی حدود ۲۰ درصد تخمین زده شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مدل FLOW-3D کارایی مناسبی در زمینه مسائل هیدرولیکی داراست.

می‌شود که در ارتفاع‌های پایین‌تر تفاوت ناچیزی به طور متوسط در حدود ۲ درصد مشاهده می‌شود و با افزایش ارتفاع آب بین مدل عددی و مدل آزمایشگاهی تفاوت بیشتری در حدود ۴۵ درصد مشاهده می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شده است با استفاده از مدل عددی، تأثیر تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن را روی کنترل گرداب در ورودی سرریز و افزایش ضریب دبی سرریز نیلوفری مورد بررسی قرار گیرد. مشاهده شد که سرریز نیلوفری به صورت ساده (بدون تیغه‌های گرداب‌شکن) دارای سه کنترل می‌باشد، که هر سه کنترل در سرریز نیلوفری با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D نیز رخ دادند؛ تا ارتفاع آب حدود ۰/۱ سرریز به صورت آزاد عمل می‌کند و کنترل در تاج سرریز رخ می‌دهد، با افزایش ارتفاع آب تا حد ۰/۲ سرریز به سمت استغراق پیش می‌رود و کنترل در گلوگاه سرریز می‌باشد در این حالت گردابه‌هایی ایجاد می‌شود که باعث

منابع

- ۱- حیدری ارجلو، س.، موسوی چهرمی، س. ح. و ادیب، ا. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر شیب بر تعداد بهینه پلکانها در سرریزهای پلکانی، مجله علوم و مهندسی آبیاری (علمی کشاورزی)، ۳۳(۲): ۱۳۹-۱۲۷.
- ۲- حاجی‌پور، گ. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی تأثیر تیغه‌های گرداب‌شکن بر هیدرولیک جریان سرریز نیلوفری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۳- رنجبر ملک‌شاه، م.، ۱۳۹۳. بررسی رفتار سرریز نیلوفری با پایین دست تاج پلکانی بوسیله مدلسازی رایانه‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیر طوسی.
- ۴- رضائی، س. کاویانپور، م. ر. و ع. حسینی نژاد. ۱۳۹۲. بررسی پارامترهای مؤثر بر آبگذری سرریزهای نیلوفری. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان.
- ۵- سامانی، م. ۱۳۷۶. طراحی سازه‌های هیدرولیکی. انتشارات شرکت مهندسی مشاور دز آب اهواز.
- ۶- قاسم‌زاده، ف. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی مسائل هیدرولیکی در FLOW-3D. تهران، نوآور.
- ۷- کمان‌بدست، ا.، موسوی، س. ر. ۱۳۹۵. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تعداد و زاویه گرداب‌شکن بر مشخصات جریان در سرریز نیلوفری مربعی، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال بیستم، شماره ۷۸، صفحه ۱۸۲-۱۷۱.
- ۸- نظری پورکیانی، ع. ا. ۱۳۹۳. بررسی فشار و سرعت جریان در سرریز نیلوفری سد البرز با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D. اولین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران.
- ۹- نوحانی، ا.، جمالی امام‌قیس، ر. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل تیغه‌های ضد گرداب بر راندمان تخلیه‌ی سرریزهای نیلوفری، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۹، شماره ۵، صفحه ۷۴۹-۷۴۱.

10-Akbari, A A., Nohani, E and A. Afrous. 2015. Numerical study of the effect of anti-vortex plates on the inflow pattern in shaft spillways. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 5(S1): 3819-3826.

11-Anonymous, 1965. Design of Small Dams. Water Resources Technical publication, U.S Department of the interior Bureau of Reclamation.

- 12-Bagheri, A., Shafai Bajestan, M., Mousavi Jahromi, H., Kashkuli, H. and H. Sedghi. 2010. Hydraulic evaluation of the flow over polyhedral morning glory spillways. *Word Applied Sciences Journal*, 9(7): 712-717.
- 13- Fattor, C. A. and J. D. Bacchiega. 2003. Analysis of instabilities in the charge of regime in morning glory spillways. *Journal of Hydraulic Research*, 40(4): 114-123.
- 14- Khatsuria, R. M. 2005. *Hydraulics of spillways and energy dissipaters*. Marcel Dekker. Department of Civil and Environmental Engineering Georgia, Institute of Technology Atlanta, Newyork, USA.
- 15-Mousavi. S. R., Kamanbedast, A.A., and H. Fathian. 2013. Experimental investigation of the effect of number of anti-vortex piers on submergence threshold in morning glory spillway with square inlet. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(24): 3534-3540.
- 16- Novak, P. 2007. *Hydraulic Structures*, Fourth edition published by Taylor and Francis. University of New Castle upon, Tyne, UK, Landon and Network.
- 17-Tavana, M H., Mousavi Jahromi, H., Shafai Bajestan, M., Masjedi, A. R. and H. Sedghi. 2011. Optimization of number and direction of vortex breakers in the morning glory spillway using physical model. *Economy, Environmental and Conservation Journal*, 17(2): 435-440.
- 18-Vresteeg. H. K and W. Malalasekera. 1995. *An introduction to computational fluid dynamics*. Longman Scientific and Technical. New York.
- 19-Yakhot. V and L. M. Smith. 1992. The renormalization group. The e-expansion and of turbulence models. *Journal of Computing*, 7(1): 35-61.