نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم/ شماره سی و سوم/ بهار ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
10th Year/ No. 33/ June 2023

بررسی عددی تأثیر تعداد و زاویه تیغه‌های گرداب‌شکن بر عملکرد سرریز نیلوفری

علیرضا دلزنده قانع [۱]
علیرضا مردوخ پور [۲*]

چکیده

ساخت سرریزهای نیلوفری بیشتر در سدهای خاکی به صورت جدای از بدنه سد ترجیح داده می‌شود که موجب کاهش ریسک آب شستگی و اشباع شدن پوسته پایین دست سد می‌گردد. از آنجایی که در ورودی این نوع سرریز، جریان به صورت گردابی تشکیل می‌شود، گرداب باعث طولانی شدن مسیر خطوط جریان شده و در نتیجه موجب کاهش دبی و ضریب دبی سرریز می‌شود. 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 و کشش سطحی رخ میدهند. وجود این نوع جریانها، تأثیر منفی در عملکرد سازه‌هایی نظیر سرریز نیلوفری می‌گذارد. بررسی این جریان در این نوع سرریزها، مسئله‌ای مهم می‌باشد زیرا ممکن است تأثیرات منفی آن بر عملکرد سرریز نیلوفری، باعث خسارات جبران‌ناپذیری شود. از روش‌هایی که می‌تواند برای کنترل گرداب، مؤثر باشد، استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن است که این روش بر افزایش دبی و ضریب دبی تأثیر زیادی خواهد داشت. در این تحقیق، شبیه‌سازی سرریز نیلوفری به شکل ساده و همراه با تیغه‌های گرداب‌شکن با استفاده از جریان عبوری از نرم‌افزار FLOW-3D به میزان تأثیر تعداد و زاویه این تیغه‌ها بر روی هیدرولیک سرریز نیلوفری پرداخته شده و نتایج حاصل از این پژوهش، با نتایج مدل فیزیکی حاصل از تحقیق حاجی‌پور، ۱۳۹۳ مقایسه شده است. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد تیغه‌ها بر روی تاج سرریز، ضریب دبی افزایش یافته است و این خود، باعث بالا رفتن کارایی سرریز می‌گردد. همچنین مشاهده شد که در بین ۵ زاویه مورد آزمایش گرداب‌شکن با زاویه ۵۰ درجه، دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر زوایا می‌باشد. بنابراین هر چه تیغه‌های گرداب‌شکن تیزتر باشند، نتیجه بهتری خواهند داد.

واژه‌های کلیدی:

بررسی عددی، تیغه گرداب‌شکن، سرریز نیلوفری، نرم‌افزار Flow-3D

[۱] کارشناس ارشد گروه عمران، مؤسسه جهاد دانشگاهی رشت، رشت، ایران
[۲] استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

مقدمه

سرریز برای عبور آب‌های اضافی و سیلابها از سراب به پایاب سدها استفاده می‌شود. با توجه به کاربرد آن، سرریز باید از سازه‌های قوی، مطمئن و با کارایی بالا انتخاب شود که هر لحظه بتواند برای بهره‌برداری آمادگی داشته باشد. معمولاً سرریزها را بر حسب مهمترین مشخصه آنها تقسیم بندی می‌کنند. این مشخصه می‌تواند در رابطه با سازه کنترل، کانال تخلیه و یا هر عضوِ دیگر آن باشد. از طرفی، ساخت سرریزهای نیلوفری، بیشتر در سدهای خاکی به صورت جدای از بدنه سد ترجیح داده می‌شود که موجب کاهش ریسک آب شستگی و اشباع شدن پوسته‌ی پایین دست سد می‌گردد. از آنجایی که در ورودی این نوع سرریز، جریان به صورت گردابی تشکیل می‌شود، گرداب باعث طولانی شدن مسیر خطوط جریان شده و در نتیجه موجب کاهش دبی و ضریب دبی سرریز می‌شود. به همین دلیل ضریب دبی این نوع سرریزها از سرریزهایی که به صورت آزاد عمل می‌کنند، کمتر است. جریان‌های گردابه‌ای در اثر تغییر جهت جریان و کشش سطحی رخ می‌دهند. وجود این نوع جریانها، تأثیر منفی، در عملکرد سازه‌هایی نظیر سرریز نیلوفری می‌گذارد. بررسی این جریان در این نوع سرریزها مسئله‌ای مهم می‌باشد. زیرا ممکن است تأثیرات منفی آن، بر عملکرد سرریز نیلوفری باعث خسارات جبران‌ناپذیری شود. از روش‌هایی که می‌تواند برای کنترل گرداب مؤثر باشد، استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن است که این کار بر افزایش دبی و ضریب دبی، تأثیر زیادی خواهد داشت (باقری و همکاران، ۱۳۹۱).

آیبار[1]، ۲۰۱۲ پژوهشی در زمینه مدل‌سازی عددی جریان سطح آزاد آب، در ورودی سازه‌ها را با استفاده از نرم‌افزار FLOW- 3D مورد مطالعه قرار داد. قدرت گردابه به وسیله توزیع سرعت محاسبه شده به صورت تکرار محاسبه گردید و با مقادیر بدست آمده از آزمایشگاه، مقایسه گردید. در اندازه‌گیری سرعت، برای اندازه دبی‌های بالا، نتایج دقیق‌تری به دست آمد. در دبی‌های پایین، اندازه سرعت کوچک بوده و خطاهای اندازه‌گیری بارزتر بودند. علاوه بر این، اندازه‌گیری سرعت نزدیک به هسته گردابه به دلیل سه‌بعدی بودن جریان در این منطقه و نوسانات سطح آزاد، در فضای عمودی و افقی به چالش کشیده شدند. از مقادیر تجربی و عددی نسبت به یکدیگر، نتایج رضایت‌بخشی حاصل شد و خطای سرعت جریان در آنها نسبت به هم، نزدیک به ۱۵ درصد اندازه‌گیری شد.

موسوی و همکاران[2]، ۲۰۱۳پژوهشی بر روی سرریز نیلوفری با دهانه مربعی‌شکل و اثر تیغه‌های گرداب‌شکن آزمایش‌هایی را انجام دادند. نتایج نشان داد که افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها در هر دو دهانه مربعی و دایره‌ای، باعث افزایش آستانه استغراق می‌شود و همچنین استغراق برای هد بالا در ورودی سرریز اتفاق می‌افتد.

موسوی و همکاران، ۲۰۱۴ پژوهشی در زمینه‌ی اثر تعداد و زاویه گرداب‌شکن را بر هیدرولیک جریان سرریز نیلوفری با ورودی به شکل مربع مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه، مدل فیزیکی سرریز با مقطع دایره‌ای و مقطع مربع ساخته شد. تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی نشان داد که افزایش تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن، آستانه استغراق را در سرریز با دهانه مربعی افزایش می‌دهد و بیشترین اثر در ضریب دبی، حداکثر مقادیر جریان و ارتفاع آب در شرایط جریان آزاد زمانی است که ورودی سرریز به شکل مربع و دارای ۱۲ تیغه روی تاج آن باشد. از طرفی، افزایش زاویه‌ی تیغه‌ی گرداب‌شکن، باعث کاهش جریان گذرا تحت شرایط استغراق می‌باشد. در نتیجه، سرریز با ورودی مربعی به همراه تیغه گرداب‌شکن تحت زاویه ۳۰ درجه، بیشترین تأثیر را در ضریب دبی و پارامترهای جریان در آستانه استغراق داراست.

رهنورد و همکاران[3]، ۲۰۱۴ در پژوهشی جریان دو فازی را در سرریزهای نیلوفری با استفاده از روش حجم سیال مدل کرده‌اند. نتایج نشان داد که دینامیک سیالات محاسباتی، یک روش مناسب در بررسی هد در مقابل دبی و شاخص کاویتاسیون برای اشکال مختلف ورودی از سرریز نیلوفری در مقایسه با مدل فیزیکی با توجه با زمان و هزینه می‌باشد.

[1] Aibar
[2] Mousavi et al
[3] Rahnavard et al

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

باقری و نوحانی، ۲۰۱۴ در پژوهشی در زمینه اثر چندوجهی‌کردن تاج سرریز نیلوفری بر ضریب دبی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان داد که چندوجهی کردن تاج سرریز، باعث افزایش ضریب دبی عبوری از سرریز می‌شود و بیشترین اثر را سرریزی که به صورت سه‌وجهی ساخته شده است، دارا می‌باشد.

نوحانی[1]، ۲۰۱۵ در پژوهشی، اثر افزایش طول تیغه‌های گرداب‌شکن، روی تاج سرریز نیلوفری را بر روی ضریب دبی بررسی کردند. نتایج نشان داد که طول تیغه‌های گرداب‌شکن مستقل از شکل تیغه‌ها می‌باشد و افزایش طول تیغه‌ها، باعث افزایش ضریب دبی می‌گردد. همچنین اثر طول تیغه گرداب‌شکن به نسبت L/d=۰.۲ است و بیش از این نسبت اثر طول گردابه تأثیر کاهشی دارد. نوحانی، ۲۰۱۵ در پژوهشی، اثر ضخامت تیغه‌های گرداب‌شکن روی تاج سرریز نیلوفری را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج تحقیقات نشان داد که با افزایش عمق آب، سرعت جریان و ضریب سرعت جریان افزایش می‌یابد. افزایش ضخامت تیغه‌ی گرداب‌شکن، باعث کاهش ۲۴ درصدیِ سرعت جریان و همچنین کاهش۱۹/۲ درصدیِ ضریب دبی می‌گردد. همچنین افزایش ضخامت تیغه‌های گرداب‌شکن باعث کاهش طول مؤثر سرریز و در نتیجه کاهش دبی خروجی از سرریز می‌گردد.

اکبری و همکاران[2]، ۲۰۱۵ پژوهشی درخصوص اثر تیغه‌های گرداب‌شکن روی الگوی جریان سرریز نیلوفری را به صورت عددی با نرم افزار FLOW-3D مورد مطالعه قرار داده اند. ضریب دبی سرریز نیلوفری با ۳ گرداب‌شکن، ۶ 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.

رمضانی و همکاران، ۱۳۹۲ در پژوهشی، 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.

نظری پورکیایی، ۱۳۹۳ در پژوهشی جهت فشار و سرعت جریان در سرریز نیلوفری سد البرز را با استفاده از نرم افزار FLOW-3Dبررسی کردند. نتیجه نشان داد که مدل‌های عددی در مقایسه با مدل‌های فیزیکی می‌توانند جزئیات بیشتری درباره‌ی توزیع سرعت و فشار ارائه دهند و در تمامی موارد اقتصادی‌تر نیز می‌باشد. 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 معادلات دانست (نظری پورکیایی، ۱۳۹۳)

صفریان، ۱۳۹۴ در پژوهشی، با ساخت مدل فیزیکی-هیدرولیکی سرریز نیلوفری، تأثیر پلکانی کردن سطح داخلی سرریز، روی شرایط هیدرولیکی جریان، مانند مقدار دبی عبوری و میزان افت انرژی در مدخل خروجی با انجام آزمایشات متعدد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در حالت کنترل روزنه پله‌ها تأثیر بسزایی در افزایش میزان دبی عبوری و کاهش افت انرژی در مدخل خروجی سرریز دارند.

در این تحقیق، مدل‌سازی سرریز نیلوفری به شکل ساده و همراه با تیغه‌های گرداب شکن انجام شد و بررسی عددی تأثیر تعداد و زاویه این تیغه‌ها بر روی هیدرولیک سرریز نیلوفری انجام شد. لذا هدف این تحقیق، بررسی شرایط هیدرولیکی حالات مختلف کنترل در سرریز و اثر تیغه‌های گرداب‌شکن بر روی هیدرولیک جریان عبوری از سرریز است.

مواد و روش‌ها

شرح مدل فیزیکی سرریز نیلوفری

یک مدل فیزیکی مشابه با سرریز نیلوفری سد سن لوئیس فربای واقع در دره‌ی مرکزی ایالت کالیفرنیای آمریکا با مقیاس ۱ به ۵۰ در آزمایشگاه واحد علوم و تحقیقات خوزستان مورد استفاده قرار گرفت (حاجی پور، ۱۳۹۳). طبق آزمایشات حاجی پور، ۱۳۹۳، مخزن سرریز دارای

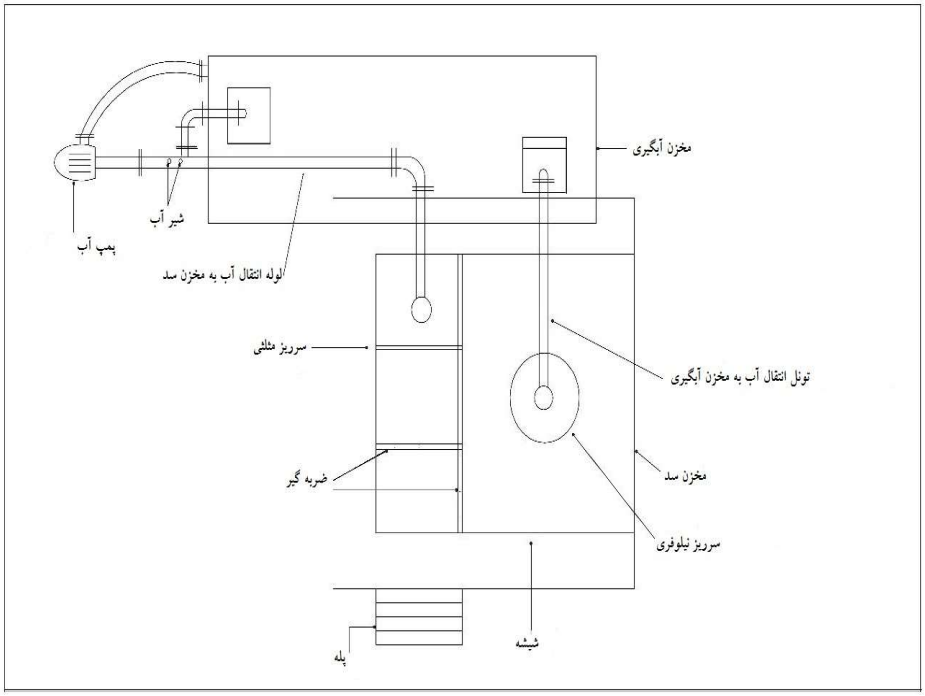
[1] Nohani

[2] Akbari et al

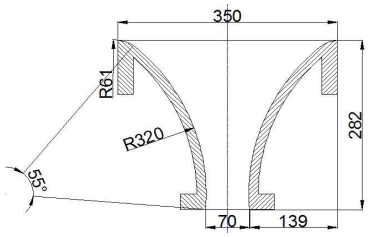
[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

ابعاد مشخص در واحد متر مکعب می‌باشد و جهت اندازه‌گیری دبی ورودی به مخزن از یک سرریز مثلثی با زاویه مشخصی استفاده شده است. شکل (۱) و (۲) به ترتیب نمای پلان فیزیکی و هندسه‌ی سرریز را نشان می‌دهد.



شکل (۱): پلان مدل فیزیکی موجود در آزمایشگاه سازمان آب و برق اهواز (حاجی پور، ۱۳۹۳)



شکل (۲): هندسه سرریز (حاجی پور، ۱۳۹۳)

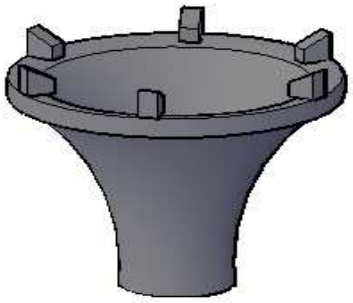
مشخصات مدل فیزیکی به شرح جدول (۱) می‌باشد.

جدول (۱): مشخصات مدل فیزیکی و عددی

مخزن سرریز	۱*۰/۸۸*۱/۰۶ متر
سرریز مثلثی	۰/۲*۰/۲*۰/۲ متر
زاویه داخلی سرریز	۶۰ درجه
ارتفاع سرریز نیلوفری	۲۸/۴سانتی متر
قطر تاج سرریز نیلوفری	۳۵ سانتی متر
قطر گلوگاه سرریز	۷ سانتی متر

مدلسازی با نرم افزار FLOW-3D

این نرم‌افزار، قابلیت تحلیل دوبعدی و سه‌بعدی میدان جریان را به صورت حجم محدود دارا می‌باشد. برنامه‌ی FLOW-3D از المان‌های سه بعدی متعامد استفاده می‌کند. در این مدل‌سازی، پس از بدست آوردن تعداد مش‌ها، به دلیل زیاد بودن آنها و طولانی بودن زمان اجرای برنامه و محاسبات، از شکل متقارن سرریز استفاده گردید. برای این سرریز از دو مش‌بلوک استفاده شده است. شکل(۳) هندسه سرریز نیلوفری همراه تیغه‌های گرداب‌شکن در مدل را نشان می‌دهد.

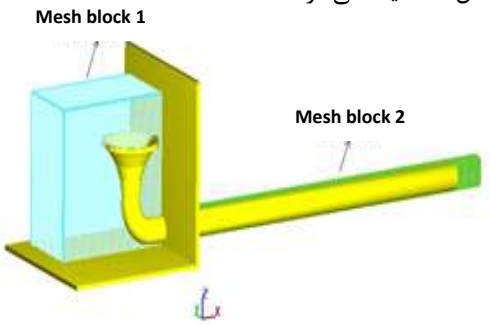


شکل (۳): هندسه سرریز نیلوفری همراه تیغه‌های گرداب‌شکن

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

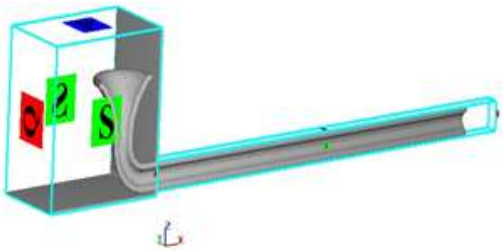
همچنین نمایش مش‌بندی سرریز نیلوفری در نرم‌افزار در شکل (۴) دیده می‌شوند.



شکل (۴): مش بندی‌های سرریز در نرم‌افزار

درخصوص نسبت اندازه سلول‌ها نیز، جهت حصول نتایج درست و منطقی و کاهش خطاها و زمان شبیه‌سازی، باید نسبت اندازه‌ی دو سلول مجاور تا حد امکان نزدیک به ۱ باشد و حداکثر از ۱/۲۵ تجاوز نکند. همچنین نسبت شکل نیز تا حد ممکن نزدیک ۱ باشد و حداکثر از ۳ تجاوز نکند. در این پروژه، اندازه مشها ۰/۰۰۸ در نظر گرفته شد که تعداد کل مشها حدود ۴۰۰۰۰۰ بدست آمد.

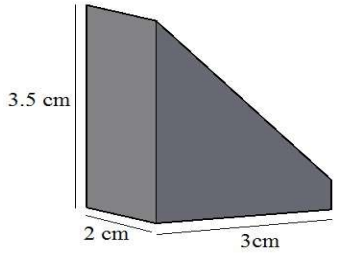
پس از مرحله‌ی مش‌بندی، نیاز به شرایط مرزی و اولیه می‌باشد. برای Mesh Block 1 قسمت Boundaries در جهت‌های مختلف X،Y و Z شرایط مورد نیاز در نظر گرفته شد. در جهت Xmin، دبی Volume flow rate، در جهت Zmin، به صورت Wall، در جهت Zmax، Specified pressure که برابر با فشار جو می‌باشد و برای سایر جهت‌ها به صورت Symmetry در نظر گرفته شد. برای Xmax، Mesh block 2 به صورت Outflow، Xmin و Ymin به صورت تقارن و Zmax ، Zmin و Ymax به صورت دیواره در نظر گرفته شد. در شکل (۵) همه‌ی مرزبندی‌ها مشخص می‌باشند.



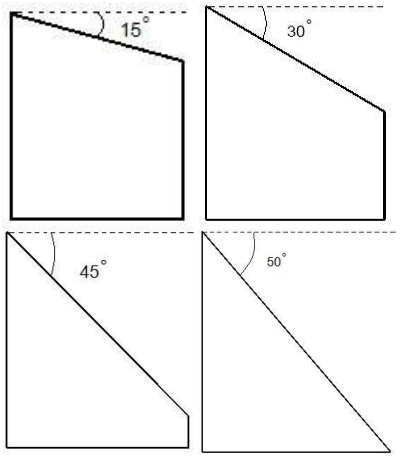
شکل (۵): نمایش شرایط مرزی سرریز نیلوفری در مدل عددی

پس از مشخص شدن شرایط مرزی برای این کار شرایط اولیه‌ای نیز در نظر گرفته می‌شود. در قسمت Initial گزینه Global و سپس pressure، در حالت Hydrostatic pressure in z direction قرار داده شد. شرایط اولیه سرریز به‌صورت ارتفاع آب بوده است

سرریز به همراه تیغه‌های گرداب‌شکن در هر مرحله مدل‌سازی می‌شود. شکل و ابعاد تیغه‌های گرداب شکن در زیر آمده است. این ابعاد براساس نتایج آزمایشگاهی حاجی پور، ۱۳۹۳ طراحی شده‌اند.



شکل (۶): ابعاد تیغه‌های گرداب‌شکن



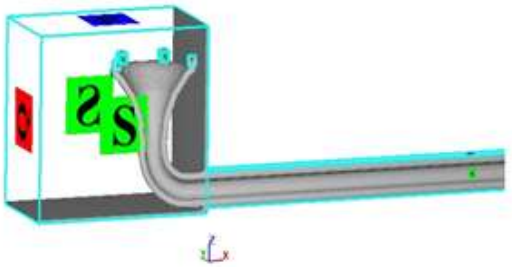
شکل (۷): زاویه تیغه‌های گرداب‌شکن

این تیغه‌ها به تعداد ۳، ۴ و ۶ بر روی تاج سرریز قرار می‌گیرند و هندسه‌ی آنها به صورت فرمت STL به مدل FLOW-3D داده می شود. برای هر تعداد از تیغه‌ها، مش‌بندی لازم انجام می‌گردد تا فرم هندسه‌ی آنها به درستی شکل گیرد و سپس همانند سرریز ساده مدلسازی می‌شود. شکل (۸) سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن می‌باشد که در نرم‌افزار FLOW-3D با مش‌بندی

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

مشخص، به صورت متقارن در نظر گرفته شده است. تعداد تیغه‌ها نیز به نصف کاهش می‌یابد.



شکل (۸): سرریز نیلوفری با تیغه های گرداب شکن در فضای نرم افزار FLOW-3D

تعداد و مراحل اجرای آزمایش

در تحقیق حاضر از ۳، ۴ و ۶ تیغه با زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۵۰ درجه بر روی تاج که با فاصله‌های تعیین شده قرار می‌گیرند، استفاده شده است. این تیغه‌ها دارای ابعاد یکسان بوده و فقط زاویه آنها تغییر کرده است. در کل آزمایشها با ۶ دبی مختلف، به تعداد ۷۲ عدد انجام گرفت، که به شرح جدول(۲) می باشند.

جدول (۲): تعداد و مراحل اجرای آزمایش

شماره حالت	میزان دبی(لیتر بر ثانیه)	زاویه(درجه)	تعداد تیغه گرداب شکن
حالت اول	۳/۱، ۴/۱، ۵/۲، ۶/۱، ۷ و ۸/۵	بدون زاویه	بدون تیغه گرداب شکن
حالت دوم		۱۵	۳ تیغه گردابشکن
حالت سوم			۴ تیغه گرداب شکن
حالت چهارم			۶ تیغه گرداب شکن
حالت پنجم		۳۰	۳ تیغه گرداب شکن
حالت ششم			۴ تیغه گرداب شکن
حالت هفتم			۶ تیغه گرداب شکن
حالت هشتم		۴۵	۳ تیغه گرداب شکن
حالت نهم			۴ تیغه گرداب شکن
حالت دهم			۶ تیغه گرداب شکن
حالت یازدهم		۵۰	۳ تیغه گرداب شکن
حالت دوازدهم			۴ تیغه گرداب شکن
حالت سیزدهم			۶ تیغه گرداب شکن

آنالیز و تحلیل نتایج

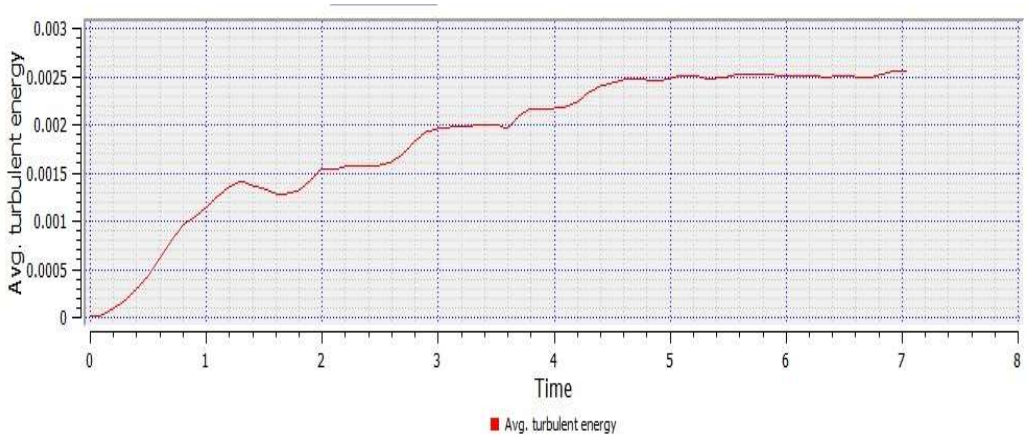
در دهانه سرریز نیلوفری گردابه‌هایی ایجاد می‌شود که باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل کاهش ضریب دبی و کارایی سرریز می‌گردد. بنابراین از تیغه هایی جهت کاستن اثر گردابه‌ها و یا از بین بردن آنها بر روی تاج سرریز استفاده می‌گردد. از آنجایی که به دلیل محدودیت در اجرا، نمی‌توان همیشه از مدل های فیزیکی استفاده کرد، در تحقیق حاضر اثر تیغه‌های گردابشکن بر راندمان سرریز نیلوفری با استفاده از مدل عددی انجام خواهد شد. پس از مراحل شبیه‌سازی سرریز نیلوفری با و بدون تیغه‌های گرداب شکن، نتایج بدست آمده در این خصوص مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.

بررسی مش‌بندی بهینه

ابتدا مش‌بندی که در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین در مدل شبیه‌سازی شده، انرژی آشفتگی نسبت به زمان بررسی گردید و طبق نمودار حاصل از آن مش‌بندی مورد استفاده، مناسب تشخیص داده شد. نمودار انرژی آشفتگی به صورت شکل (۹) نمایش داده شده است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]



شکل (۹): نمودار انرژی آشفتگی نسبت به زمان

در شکل (۸) مشاهده می‌گردد که از آشفتگی جریان در طی مراحل شبیه‌سازی کاسته شده است و جریان به سمت آرام شدن پیش می‌رود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌سازی با مش‌بندی مورد نظر مناسب بوده و می‌توان نتایج درستی را استخراج کرد. پس از اینکه از صحت مش‌بندی اطمینان حاصل گردید، نتایج مدل عددی مورد سنجش قرار می گیرد.

کالیبراسیون مدل عددی

به طور کلی یک مدل عددی زمانی برای بررسی یک پدیده قابل قبول است که با یک نمونه واقعی، صحت‌سنجی شود و دقت مناسبی برای مدل‌سازی پدیده مورد نظر دارا باشد. در این قسمت، نتایجی که از مدل‌سازی عددی سرریز نیلوفری به دست آمد و بیان گردید با نتایج مدل فیزیکی مقایسه می‌گردد تا از درستی نتایج و مناسب بودن این مدل در اجرای این آزمایش اطمینان حاصل شود. در ابتدا سرریز به صورت ساده بررسی می‌گردد و سپس سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

همچنین در سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن (۳-۴-۵ تیغه) برای هر مدل عددی و فیزیکی، نمودارهای دبی – اشل و نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق ترسیم و روند تغییرات مقایسه گردید. ابتدا سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن با سرریز شاهد، به صورت درصدی مقایسه شد. سپس این مقایسه درصدی با نتایج آزمایشگاهی نیز مقایسه گردید.

سرریز شاهد (بدون تیغه)

در تحقیق حاضر ابتدا سرریز نیلوفری به شکل ساده، بدون تیغه‌های گرداب‌شکن، بررسی گردید که نتایج مربوط به دبی و ارتفاع روی آب به صورت جدول (۳) آمده است.

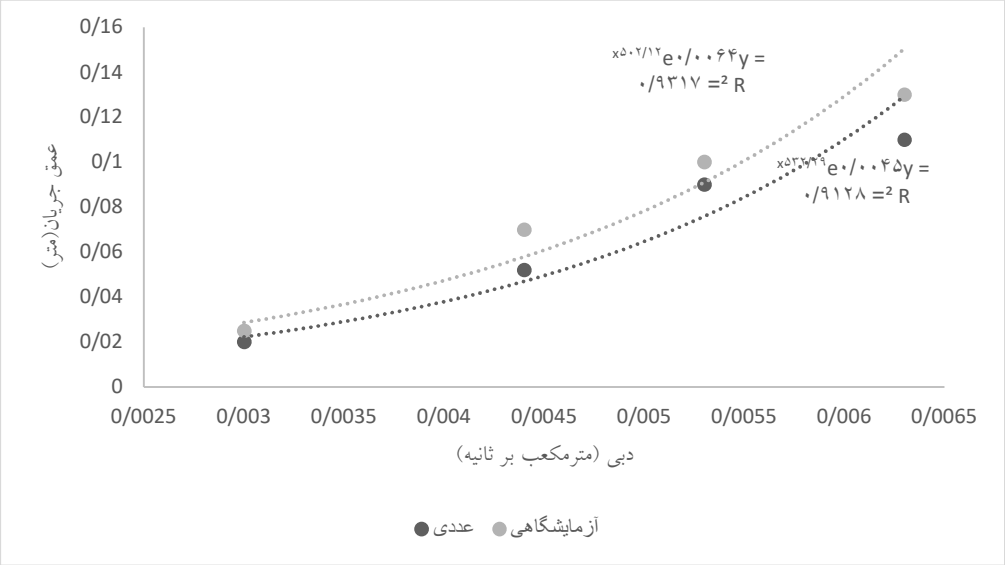
جدول (۳): نتایج حاصل از سرریز شاهد در مدل عددی

ارتفاع (متر)	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
۰/۰۲	۰/۰۰۳۱
۰/۰۵۴	۰/۰۰۴۱
۰/۰۸۷	۰/۰۰۵۲
۰/۱۱	۰/۰۰۶۱

طبق نتایج بدست آمده در این پژوهش مشاهده می‌شود که با افزایش ۲۷ درصدی دبی، ارتفاع آب روی سرریز به میزان ۶۱ درصد افزایش می‌یابد که در ابتدا جریان به صورت تیغه‌ای می‌باشد و با بیشتر شدن دبی، افزایش هد در پیش است و جریان از حالت تیغه‌ای خارجمی‌شود. همچنین در دهانه سرریز، گردابه‌هایی حاصل می‌شود که این گردابه ها باعث تلاطم شدید جریان، در ورودی آب به سرریز می‌شوند. برای صحت این موضوع و مقدار خطای ایجاد شده، نتایج این تحقیق با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه گردید که در نمودار دبی- اشل به صورت شکل (۱۰) مشاهده می‌شود.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]



شکل (۱۰): مقایسه نمودار دبی – اشل سرریز شاهد مدل عددی و مدل فیزیکی

ملاحظه می‌شود روند پیشروی داده‌ها در نتایج مدل عددی، همانند مدل فیزیکی که از قبل در آزمایشگاه صورت گرفته است، پیش می‌رود. همانطور که در مطالب قبل گفته شده است، با افزایش دبی، ارتفاع آب افزایش یافته است. همچنین در دبی کم مشاهده شد که مدل عددی و فیزیکی دارای اختلاف نتایج کمتر ۲ درصد بوده است و با افزایش دبی این خطا کمی بیشتر در حدود ۱۱ درصد شده است.

سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن

برای هر مدل عددی و فیزیکی، نمودارهای دبی – اشل و نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق ترسیم و روند تغییرات مقایسه گردید. ابتدا سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن با سرریز شاهد به صورت درصدی مقایسه شد، سپس این مقایسه درصدی با نتایج آزمایشگاهی نیز مقایسه گردید. نتایج حاصل از این مقایسه در جداولی بیان و سپس برای مشاهده بهتر به صورت نمودار نیز ترسیم شد. در همه مراحل آزمایش با بدست آوردن ارتفاع آب روی تاج سرریز و داشتن دبی های سرریز میتوان طبق معادله سرریز نیلوفری به شکل زیر می باشد، ضریب دبی را محاسبه کرد. همچنین لازم به ذکر است که در محاسبه طول تاج، طول گرداب‌شکن‌ها از طول تاج کم می‌شود.

$$Q = Cd(2\pi R)Hs^{1.5} \qquad (۱)$$

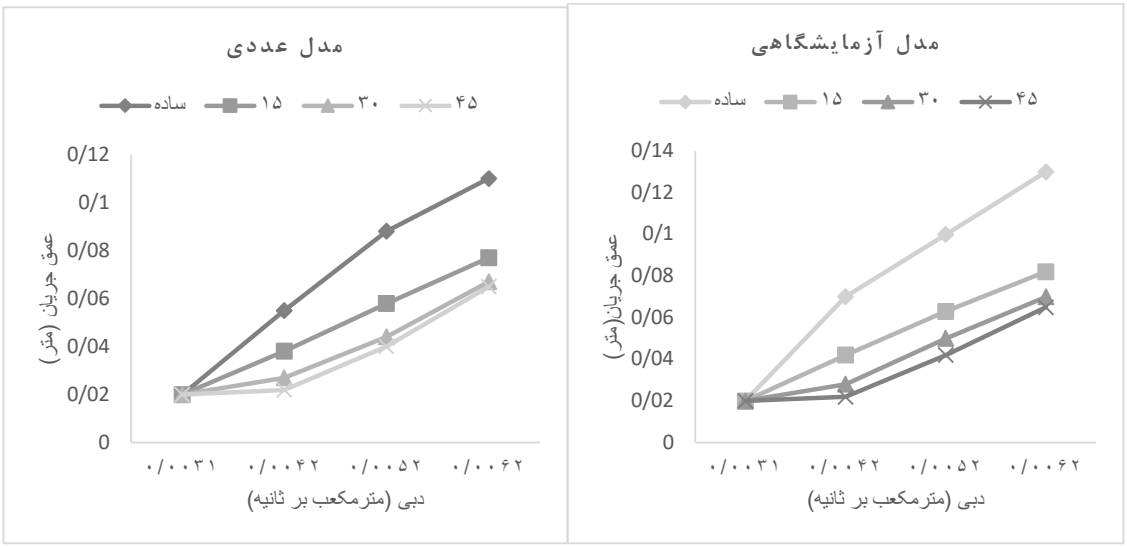
سرریز با سه تیغه گرداب‌شکن

الف) نمودار دبی- اشل

سه تیغه گرداب‌شکن با زوایای ۱۵، ۳۰ و ۱۲ درجه بر روی تاج سرریز قرار گرفت و با مدل سرریز شاهد مقایسه گردید. همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده شد، سرریز با تیغه‌های گرداب‌شکن نسبت به سرریز شاهد در مدل‌های آزمایشگاهی و عددی، ارتفاع آب کمتری داشته است. به طوریکه سرریز با تیغه ۴۵ درجه، دارای کمترین ارتفاع آب می‌باشد. این کاهش ارتفاع آب در مدل عددی به میزان ۷۰ درصد نسبت به سرریز شاهد و در مدل فیزیکی به میزان ۹۲ درصد برآورد شد. بنابراین نسبت به سایر تیغه‌ها، عملکرد بهتری دارد. لازم به ذکر است که در شکل(۱۱) نمودار دبی – اشل با ۳ تیغه گرداب‌شکن در مدل آزمایشگاهی و عددی نشان داده شده که خطوط رنگی نشانگر حالات زاویه ۰-۱۵-۳۰-۴۵ درجه را نشان می‌دهد.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

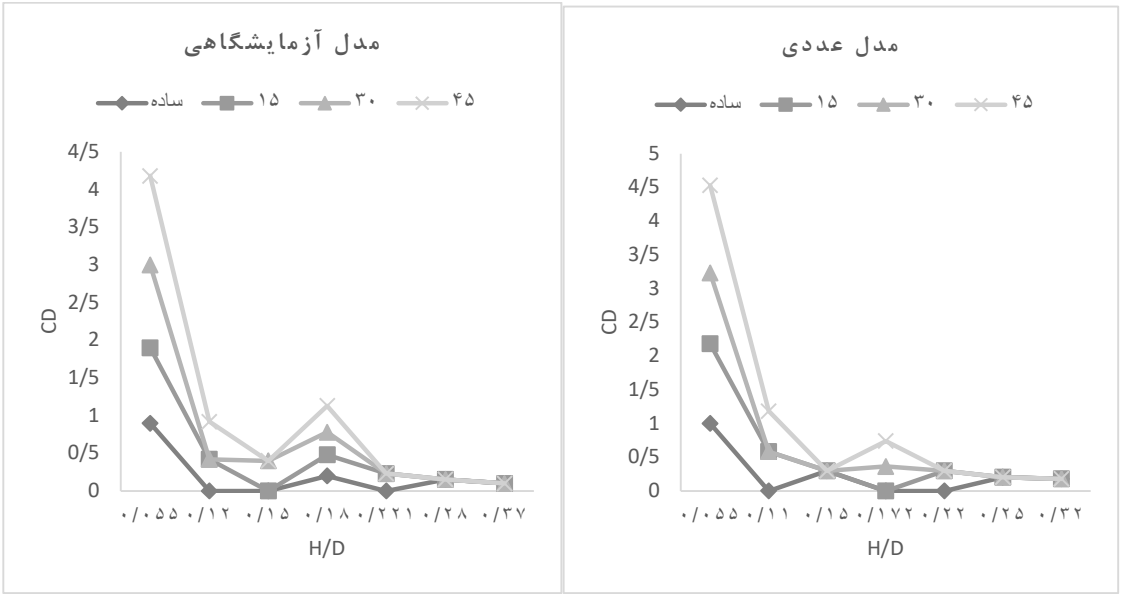
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]



شکل (۱۱): نمودار دبی- اشل سرریز با ۳ تیغه گردابشکن در مدل و آزمایشگاهی

ب) نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق

در این بخش از ۳ تیغه گرداب‌شکن استفاده شده است. بنابراین به اندازه طول هر سه تیغه از طول تاج کاسته می‌شود و سپس از معادله دبی، ضریب دبی بدست آورده شد. از شکل (۱۲) مشاهده می‌شود که در هر دو مدل عددی و آزمایشگاهی، ضریب دبی با عمق استغراق، رابطه عکس داشته است و با کاهش نسبت استغراق ضریب دبی افزایش پیدا کرده است. از بین تیغه‌های گرداب‌شکن، زاویه ۱۵ درجه، دارای کمترین ارتفاع آب بوده است. به‌طوری که سرریز با ۳ تیغه ۱۵ درجه دارای افزایش ضریب دبی به میزان ۱۳ درصد، در سرریز با ۳ تیغه ۳۰ درصد، افزایش ضریب دبی به میزان ۱۸ درصد و سرریز با ۳ تیغه ۴۵ درجه، دارای بیشترین ضریب دبی به میزان ۳۰ درصد می‌باشد.



شکل (۱۲): نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق سرریز با ۳ تیغه درمدل و آزمایشگاهی

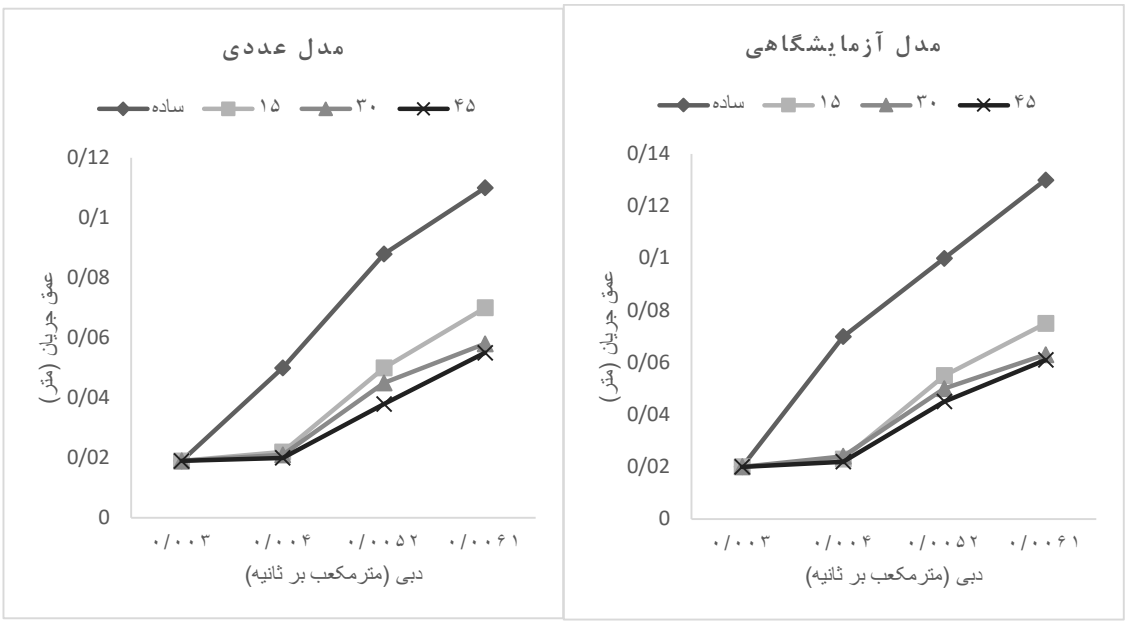
[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

سرریز با ۴ تیغه گرداب شکن

الف) نمودار دبی- اشل

در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود که در هر دو مدل عددی و آزمایشگاهی، تغییرات ارتفاع آب نسبت به دبی، افزایشی بوده است. با اضافه کردن تیغه، روی تاج سرریز، از ارتفاع آب کاسته شده و هر چه تیغه تیزتر بوده، این کاهش آب بیشتر مشاهده شده است. به طوری که سرریز با تیغه ۴۵ درجه، بیشترین تأثیر را دارا می‌باشد.



شکل (۱۳): نمودار دبی- اشل سرریز با ۴ تیغه درمدل عددی وآزمایشگاهی

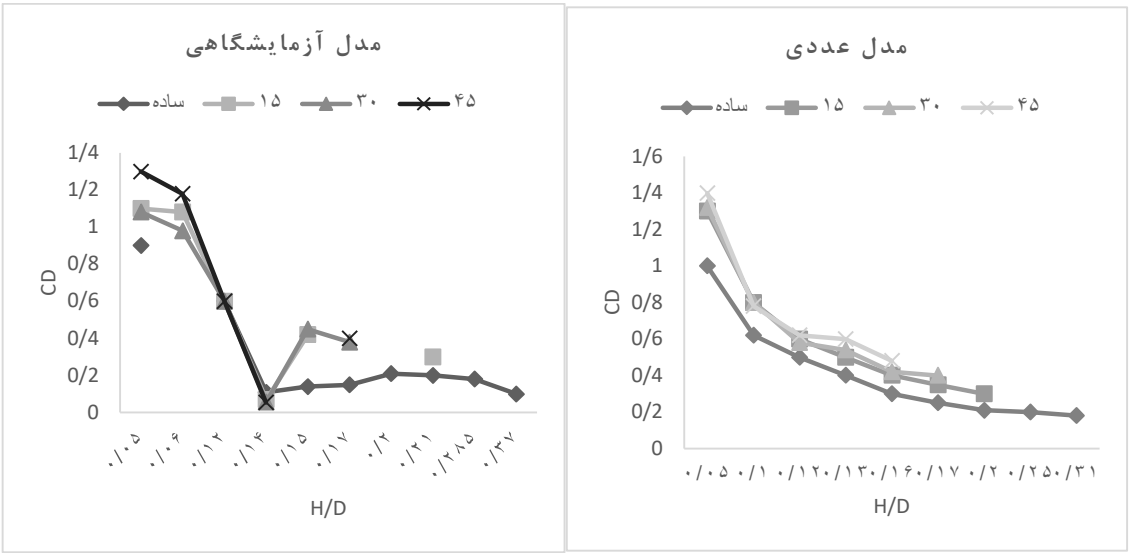
ب) نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق

برای محاسبه ضریب دبی، طول ۴ تیغه را از طول تاج کم کرده سپس از معادله دبی، ضریب دبی محاسبه گردید. برای هر مدل عددی و آزمایشگاهی نتایج مربوط به ضریب دبی به صورت شکل(۱۴) ارائه شد. در هر دو مدل عددی و آزمایشگاهی از بین تیغه‌های گرداب‌شکن زاویه ۴۵ درجه، دارای کمترین ارتفاع آب بوده است، بنابراین سرریز با ۴ تیغه ۴۵ درجه، دارای بیشترین ضریب دبی می‌باشد.

ضریب دبی در سرریز به همراه ۴ تیغه‌ی گرداب‌شکن با سرریز شاهد برای هر دو مدل عددی و آزمایشگاهی به صورت درصدی مقایسه شد. ملاحظه می‌شود که در سرریز با ۴ تیغه گرداب‌شکن ۴۵ درجه، بیشترین تغییرات را نسبت به سرریز شاهد داشته است. به طوری که متوسط تغییرات آن در مدل عددی حدود ۲/۳۲ برابر و در مدل فیزیکی حدود ۲/۵۶ برابر نسبت به حالت شاهد می‌باشد.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

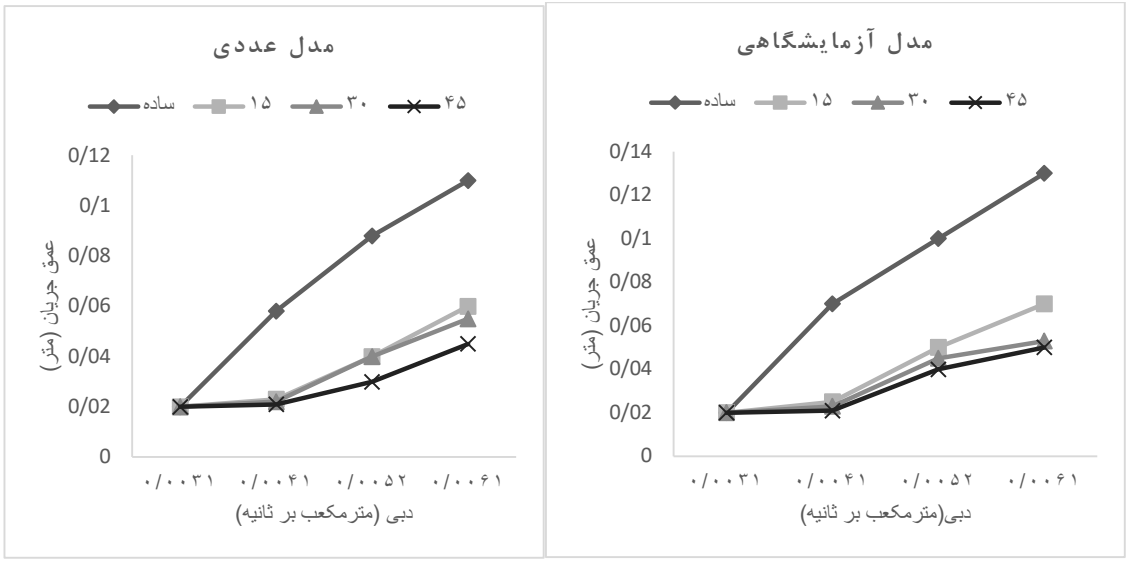


شکل (۱۴): نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق برای سرریز با ۴ تیغه گرداب شکن در مدل عددی و آزمایشگاهی

سرریز با شش تیغه گردابشکن

الف) نمودار دبی- اشل

طبق شکل (۱۵) سرریز با ۶ تیغه گرداب‌شکن با زوایای مختلف نیز در مدل عددی و فیزیکی روند تغییرات مشابه هم را دارا می‌باشند. از طرفی نتایج حاصل از هر دو مدل نشان داد که سرریز با ۶ تیغه ی گرداب‌شکن ۴۵ درجه، دارای کمترین ارتفاع آب روی تاج سرریز می‌باشد که در نتیجه آن استغراق سرریز کمتر شده که این خود باعث می‌شودکارایی سرریز بهتر گردد.



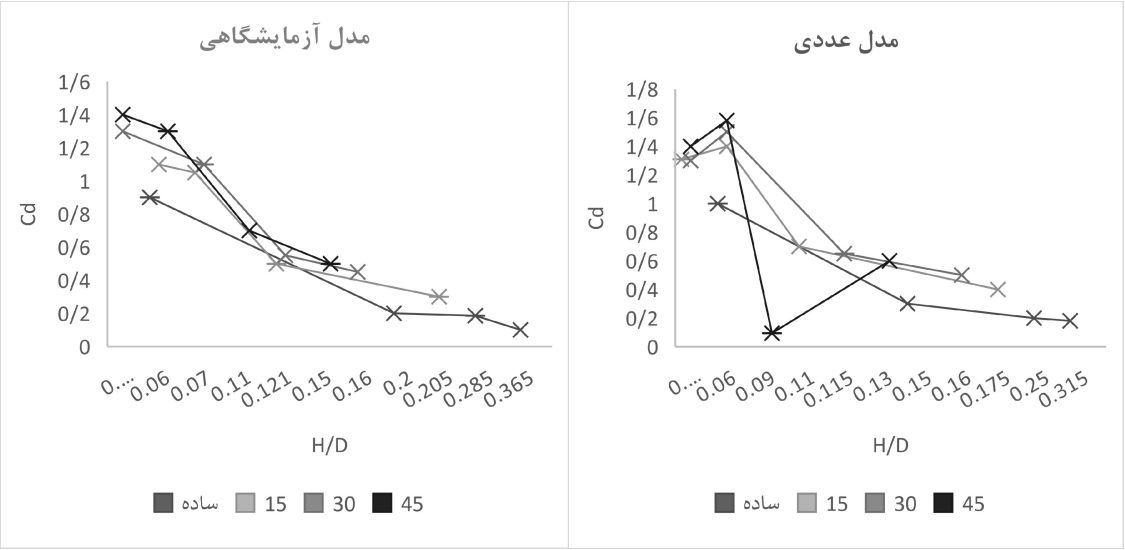
شکل (۱۵): نمودار دبی- اشل سرریز با ۶ تیغه گرداب شکن در مدل عددی و آزمایشگاهی

ب) نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق

جهت محاسبه ضریب دبی، طول شش تیغه از طول تاج تفریق و از معادله سرریز استفاده شد. برای هر مدل عددی و آزمایشگاهی نتایج مربوط به ضریب دبی به صورت شکل(۱۶) ارائه شد.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]



شکل (۱۶): نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق برای سرریز با ۶ تیغه در مدل عددی و آزمایشگاهی

در این شکل مشاهده می‌گردد که در هر دو مدل عددی و آزمایشگاهی، ضریب دبی با افزایش ارتفاع آب کاهش یافته است. با افزودن ۶ تیغه روی تاج سرریز، ارتفاع آب کاهش یافته است و به تبعِ آن، ضریب دبی افزایش پیدا کرده است. به طوری که سرریز با ۶ تیغه ۴۵درجه دارای ضریب دبی بیشتر و در نتیجه کارایی بهتر نسبت به سایر زوایا می‌باشد. در مرحله صحت‌سنجی، با بررسی‌های انجام گرفته، مشخص گردید که شبیه‌سازی سرریز نیلوفری با مدل عددی، دارای نتایج مطلوبی می‌باشد. بنابراین می‌توان از این مدل در مراحل بعدی نیز استفاده نمود.

اعتبارسنجی تحقیق

جهت اعتبارسنجی تحقیق، از چهار دبی مربوط به داده‌های آزمایشگاهی و دو دبی مازاد برآن استفاده گردید. همچنین علاوه بر ۳ زاویه که در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت، تیغه با زاویه ۵۰ درجه نیز، مورد ارزیابی قرار گرفت. درگام اول بررسی، انواع کنترل جریان در سرریز نیلوفری مطرح شد که آزمایشها نشان دادند تا زمانی که مقدار نسبت H/R_s کوچکتر از ۰/۴۵ باشد، کنترل در تاج سرریز است و با افزایش مقدار این نسبت، سرریز به سمت استغراق پیش می رود و کنترل در روزنه خواهد بود. زمانیکه مقدار این نسبت به واحد برسد، سرریز کاملا مستغرق خواهد شد. از این مرحله به بعد، کنترل در خروجی می‌باشد که نتایج نشان داد که در کنترل تاج جریان به صورت تیغه‌ای، در کنترل روزنه، قسمت گلوگاه از آب پر شده است و در کنترل خروجی، سرریز کاملاً مستغرق گشته است.

در گام دوم مقایسه، سرریز با تعداد متفاوت تیغه‌های گرداب‌شکن مطرح شد که برای از بین بردن و یا کاستن گردابه‌هایی که در دهانه ورودی سرریز نیلوفری ایجاد می‌شوند از تیغه‌های گرداب شکن با زاویه‌های مختلف و همچنین تعداد مختلف تیغه استفاده شده است. نتایج مدل‌سازی سرریز با این تیغه‌ها در مقایسه با سرریز به شکل ساده (بدون تیغه)، مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج نشان داد با بیشتر شدن تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن، ارتفاع آب روی تاج کاهش یافته است.

گام سوم، بررسی نمودار دبی- اشل برای زاویه منتخب می باشد که زاویه ۵۰ درجه از سایر تیغه‌ها نتایج بهتری دارد. بنابراین در نمودار دبی- اشل زیر تیغه ۵۰ درجه با تعداد ۳، ۴ و ۶ بررسی شد.

در گام چهارم، ضریب دبی – نسبت استغراق بررسی شد که با بدست آوردن ارتفاع آب روی تاج سرریز و داشتن دبی‌های سرریز، می‌توان طبق معادله سرریز نیلوفری ضریب دبی را محاسبه کرد.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

گام پنجم، بررسی نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق برای زاویه منتخب می‌باشد که مشاهده شد که از بین آرایش گرداب‌شکن‌ها با زاویه ۵۰ درجه، آرایش ۶ تیغه نتایج مطلوب‌تری دارد.

گام ششم، بررسی ضریب دبی و تعداد تیغه‌هاست و از آنجایی که هدف این تحقیق، بررسی تعداد تیغه‌ها نیز می‌باشد. در این قسمت تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن با زوایای منتخب نسبت به ضریب دبی بررسی گردید.

گام هفتم، بررسی ضریب دبی و زاویه گرداب‌شکن‌ها با ابعاد مختلف می‌باشد که برای ۳-۴-۶ تیغه گرداب‌شکن بررسی شد.

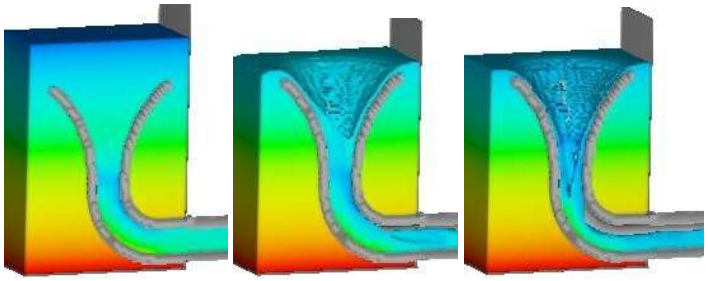
بررسی انواع کنترل جریان در سرریز نیلوفری

آزمایش‌ها نشان دادند تا زمانی که مقدار نسبت H/R_s کوچکتر از ۰/۴۵ باشد، کنترل در تاج سرریز است که در جدول(۳) نتایج مربوطه ذکر شده است.

جدول (۴): نتایج حاصل از مدل عددی

نسبت استغراق	ارتفاع (متر)	دبی (مترمکب بر ثانیه)
۰/۱۱۴	۰/۰۲	۰/۰۰۳۱
۰/۳۰۹	۰/۰۵۴	۰/۰۰۴۱
۰/۴۹۷	۰/۰۸۷	۰/۰۰۵۲
۰/۶۲۹	۰/۱۱	۰/۰۰۶۱
۰/۴۸۹	۰/۱۳۱	۰/۰۰۷
۰/۷۱۷	۰/۱۵۴	۰/۰۰۸۵

همانطور که در جدول بالا مشاهده می‌شود، با افزایش دبی، بار آبی افزایش یافته است. به طوری که با افزایش ۱۷ درصدی دبی، ارتفاع آب به میزان ۲۶ درصد افزایش یافته است. از طرفی مقدار H/R برای دبی ۴/۱ کمتر از ۰/۴۵ می‌باشد بنابراین تا دبی ۴/۱ کنترل در تاج سرریز می‌باشد و جریان به صورت تیغه‌ای رخ می‌دهد. با افزایش دبی بیشتر از این مقدار، ارتفاع آب روی تاج بیشتر شده و جریان به سمت استغراق پیش می‌رود به طوری که در قسمت گلوگاه از آب پر می‌گردد. با گذشت زمان و با افزایش دبی بیشتر، سرریز به صورت کامل مستغرق گشته به طوری که تونل خروجی همانند یک لوله پر عمل می کند بنابراین کنترل جریان در خروجی سرریز می‌باشد. در شکل (۱۷) انواع کنترل جریان دیده می شود.



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

شکل (۱۷): انواع کنترل جریان در سرریز نیلوفری با مدل عددی FLOW-3D

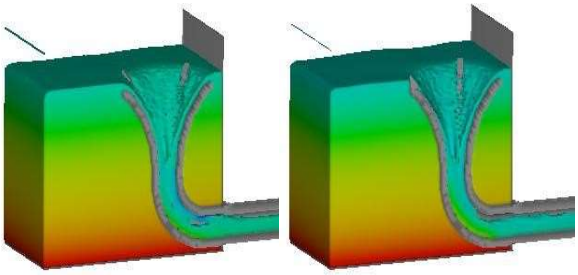
طبق شکل (۱۷)، در کنترل تاج جریان به صورت تیغه‌ای، در کنترل روزنه در قسمت گلوگاه از آب پر شده است و در کنترل خروجی سرریز کاملاً مستغرق گشته است.

مقایسه سرریز با تعداد متفاوت تیغه‌های گرداب‌شکن

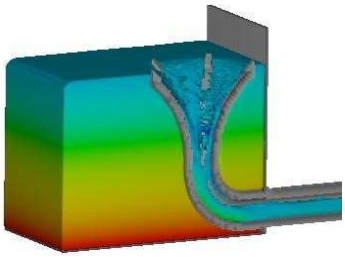
شکل (۱۸) نمایشی از سرریز نیلوفری با حضور تیغه‌های گرداب‌شکن را نشان می‌دهد.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]



الف) سرریز با سه تیغه گرداب‌شکن **ب)سرریز با چهار تیغه گرداب‌شکن**



ج) سرریز با شش تیغه گرداب‌شکن

شکل (۱۸): مدلسازی جریان در سرریز نیلوفری با تیغه‌های گرداب‌شکن در دبی ۴/۱ مترمکعب بر ثانیه در FLOW-3D

طبق شکل (۱۸)، با بیشتر شدن تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن، ارتفاع آب روی تاج کاهش یافته است. برای سهولت در کار، حالتهای سرریز به صورت جدول (۵) نامگذاری شده‌اند.

جدول (۵):حالت‌های سرریز

نوع حالت	تعداد تیغه	زوایا(درجه)
حالت اول	۳ تیغه	۱۵
		۳۰
		۴۵
		۵۰
حالت دوم	۴ تیغه	۱۵
		۳۰
		۴۵
		۵۰
حالت سوم	۶ تیغه	۱۵
		۳۰
		۴۵
		۵۰

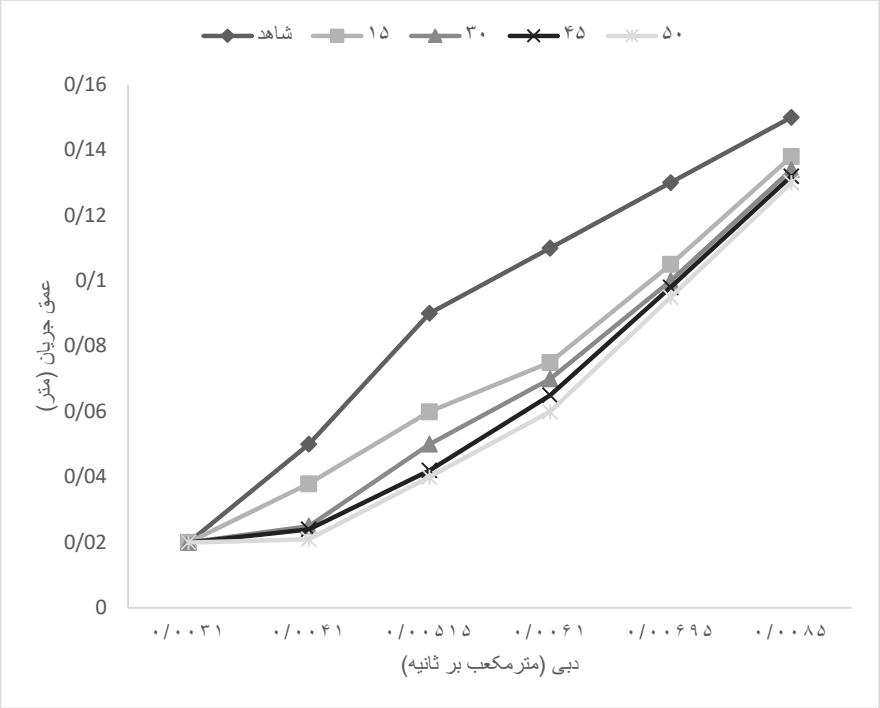
نمودار دبی- اشل

حالت اول:

از منحنی دبی اشل مربوط به شکل (۱۹) مشاهده می‌شود که در ابتدا که مقادیر دبی کم می باشد، منحنی‌ها به هم نزدیکتر بوده و با افزایش دبی، تفاوت در مقادیر ارتفاع مشاهده می‌گردد. در این حالت که تعداد ۳ تیغه گرداب-شکن با زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۵۰ درجه بر روی تاج قرار گرفته‌اند، با سرریز در حالتی که بدون تیغه می‌باشد مقایسه گردید، مشاهده می‌شود که وجود تیغه‌ها باعث تغییرات اندازه آب روی سرریز می‌گردد و با زاویه‌دار شدن تیغه‌ها، کاهش ارتفاع آب بیشتر است. ایجاد شکستگی‌ها در میان منحنی‌ها نشان-دهنده‌ی وجود گردابه‌ها در دهانه سرریز می‌باشد. بنابراین آرایش سه تیغه گرداب‌شکن ۵۰ درجه، دارای نتایج بهتری نسبت به سایر زوایا می‌باشد.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]



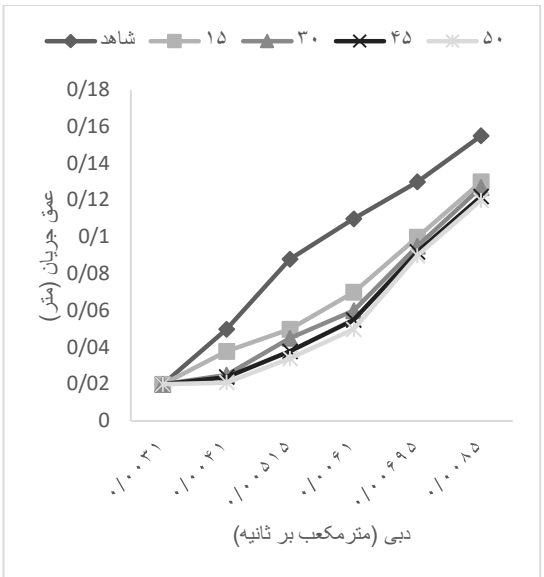
شکل (۱۹): نمودار دبی – اشل با آرایش ۳ تیغه گردابشکن

حالت دوم:

طبق شکل (۲۰) ، در این حالت که تعداد ۴ تیغه گرداب‌شکن با زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۵۰ درجه بر روی تاج قرار گرفته‌اند، مشاهده می‌شود که آرایش ۴ تیغه گرداب‌شکن ۵۰ درجه، دارای نتایج بهتری نسبت به سایر زوایا می‌باشد.

حالت سوم:

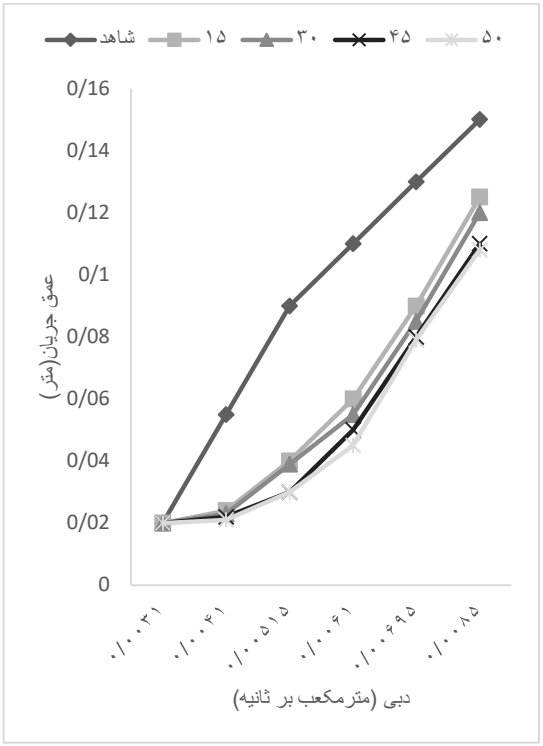
طبق شکل (۲۰) در این حالت که تعداد ۶ تیغه گرداب‌شکن با زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۵۰ درجه بر روی تاج قرار گرفته‌اند، مشاهده می‌شود که آرایش ۶ تیغه گرداب‌شکن ۵۰ درجه، دارای نتایج بهتری نسبت به سایر زوایا می‌باشد.



شکل (۲۰): نمودار دبی– اشل برای آرایش ۴ تیغه گرداب‌شکن

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

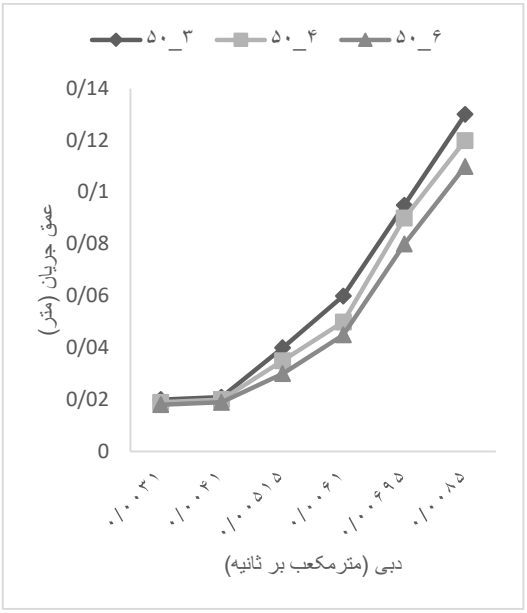


شکل (۲۱): نمودار دبی- اشل برای آرایش ۶ تیغه گردابشکن

بررسی نمودار دبی-اشل برای زاویه منتخب

از نتایج قبل مشاهده شد که زاویه ۵۰ درجه از سایر تیغه‌ها نتایج بهتری دارد. بنابراین در نمودار دبی- اشل زیر تیغه ۵۰ درجه با تعداد ۳، ۴ و ۶ بررسی می‌گردد.

از شکل(۲۲) مشاهده می‌شود که از بین سه آرایش تیغه با زاویه ۵۰ درجه، آرایش ۶ تیغه گرداب‌شکن دارای ارتفاع آب کمتری نسبت به سایر آرایش‌ها می‌باشد. به‌طوری که به طور متوسط با افزایش دبی به میزان ۱۷ درصد، ارتفاع آب به میزان ۵۰ درصد افزایش یافته است. بنابراین در بین تمامی آرایش تیغه‌های گرداب شکن، آرایش تیغه‌ها، با تعداد ۶ و زاویه ۵۰ درجه، نتیجه بهتری دارا می‌باشد.



شکل (۲۲): نمودار منتخب دبی - اشل

بررسی ضریب دبی-نسبت استغراق

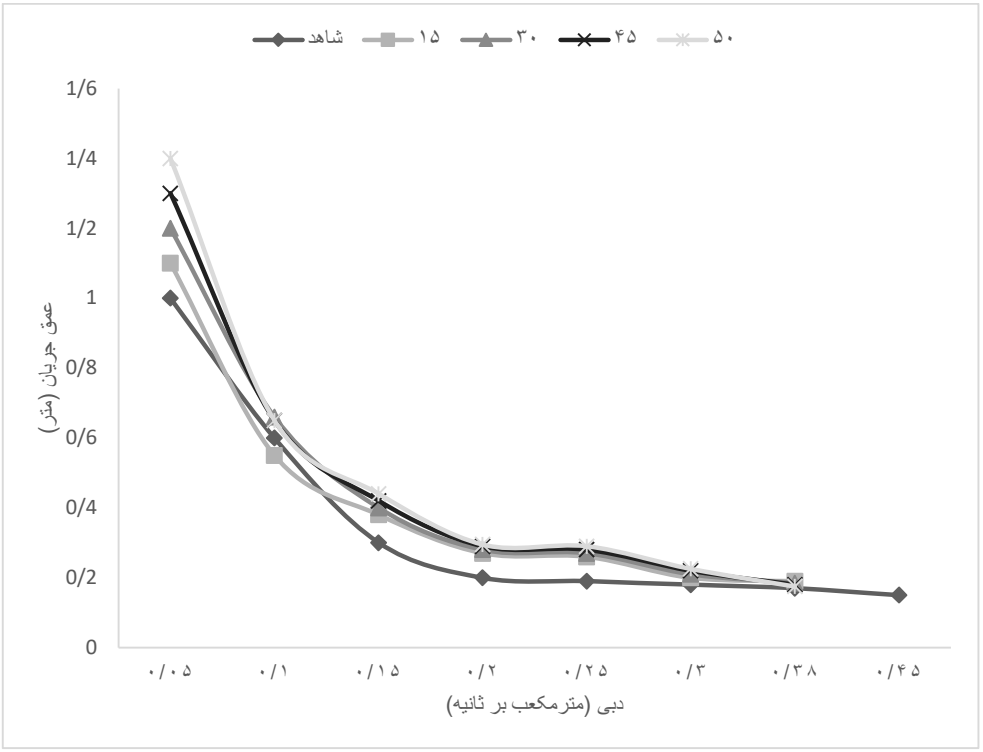
با بدست آوردن ارتفاع آب روی تاج سرریز و داشتن دبی‌های سرریز می‌توان طبق معادله سرریز نیلوفری، ضریب دبی را محاسبه کرد.

حالت اول

طبق شکل (۲۳) ضریب دبی با نسبت استغراق رابطه عکس داشته است. به طوری که با کاهش نسبت استغراق، ضریب دبی بیشتر می‌گردد. در ابتدای منحنی‌های بالا مشاهده می‌شود که در دبی‌های پایین، بینظمی‌هایی وجود دارد که به دلیل وجود گردابه‌ها در ورودی سرریز می‌باشد. با افزایش دبی، کمی از بی‌نظمی‌ها کاسته شده و گردابه‌ها جای خود را به نوساناتی در سطح آب می‌دهند. هر چه گرداب‌شکن‌ها، زاویه‌دار شوند ارتفاع آب کمتر گشته و به تبع آن، ضریب دبی بیشتر می‌شود. از بین ۴ حالت مشاهده شده در نمودار، آرایش ۳ تیغه گرداب‌شکن با زاویه ۵۰ درجه، دارای حد استغراق کم و در نتیجه ضریب دبی بیشتری می‌باشد. به طوری که این افزایش ضریب دبی نسبت به سرریز شاهد در حدود ۱/۵ برابر بوده است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

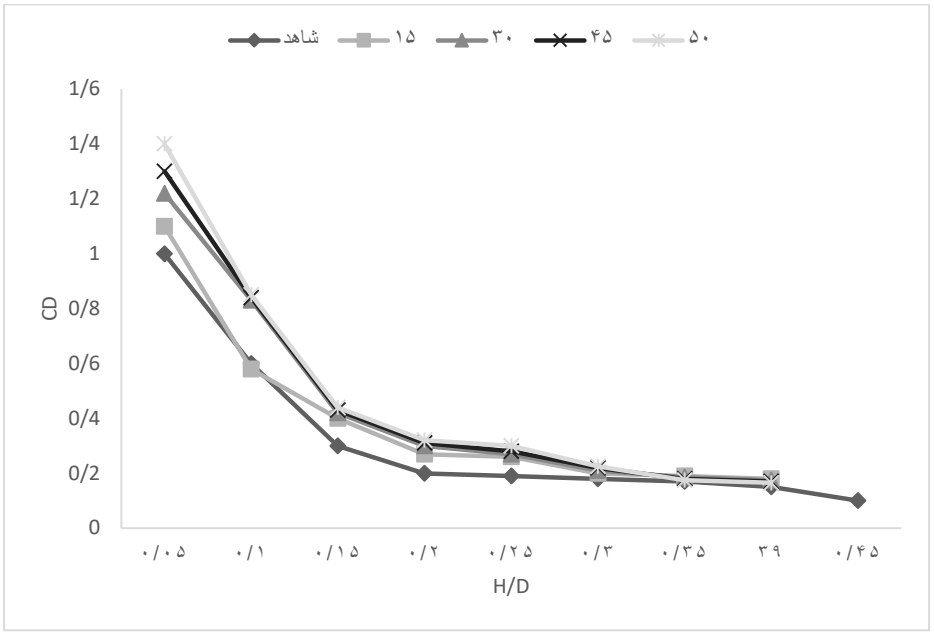
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]



شکل (۲۳): نمودار ضریب دبی – نسبت استغراق برای سرریز با ۳ تیغه

حالت دوم:

در این حالت ۴ تیغه گرداب‌شکن با زوایای مختلف می‌باشد که طبق شکل (۲۴) مشاهده می‌شود ضریب دبی سرریز با آرایش ۴ تیغه گرداب‌شکن، با زاویه ۵۰ درجه دارای بیشترین مقدار می‌باشد. به‌طوری که با کاهش ارتفاع آب به میزان ۷۰ درصد، ضریب دبی به میزان ۸۰ درصد افزایش یافته است.



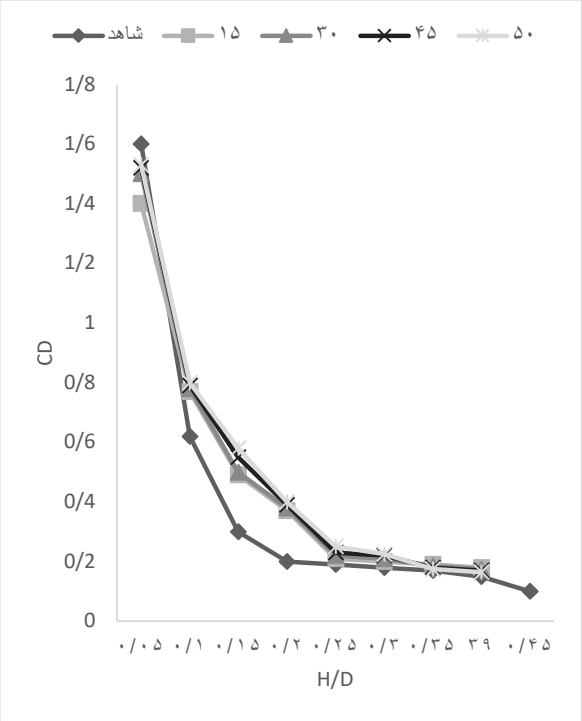
شکل (۲۴): نمودار ضریب دبی – نسبت استغراق برای سرریز با ۴ تیغه

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

حالت سوم:

در این حالت ۶ تیغه گرداب‌شکن با زوایای مختلف می‌باشد که طبق شکل (۲۵) مشاهده می‌شود سرریز با آرایش ۶ تیغه گرداب‌شکن با زاویه ۵۰ درجه، بیشترین ضریب دبی را دارا می‌باشد. به طوری که سرریز با تیغه ۵۰ درجه، دارای افزایش ضریب دبی در حدود ۲ برابر نسبت به سرریز شاهد می باشد. همچنین مشاهده می‌شود بیشترین تغییرات ضریب دبی مربوط به تیغه ۵۰ درجه می‌باشد به طوری که نسبت به حالت شاهد به طور متوسط به میزان ۲/۵ برابر افزایش داشته است.



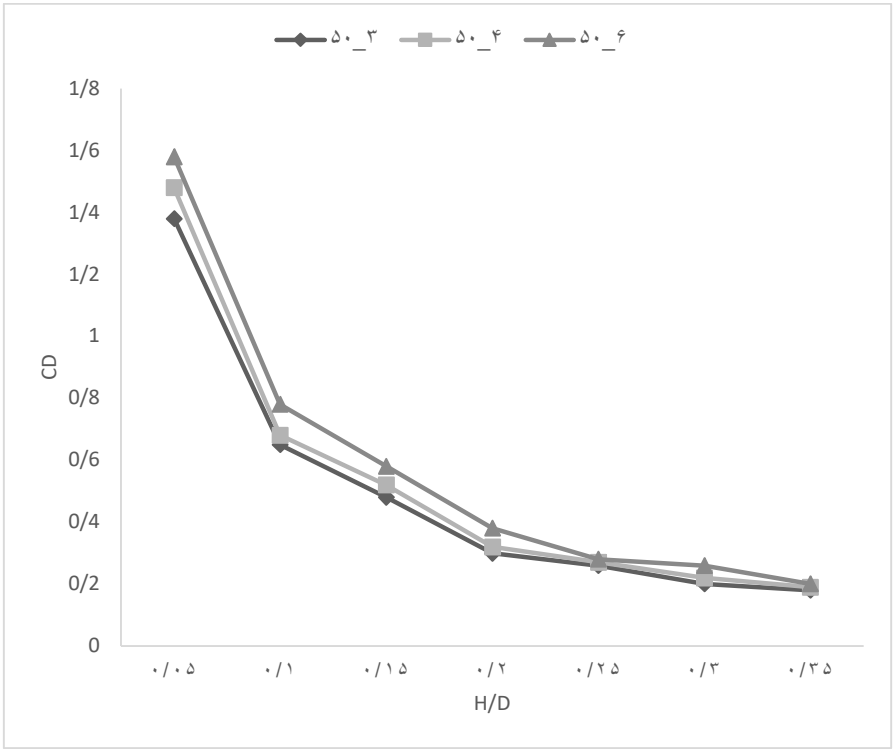
شکل (۲۵): نمودار ضریب دبی – نسبت استغراق برای سرریز با ۶ تیغه

بررسی نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق برای زاویه منتخب

طبق شکل (۲۶) مشاهده می‌شود که از بین آرایش گرداب‌شکن‌ها با زاویه ۵۰ درجه، آرایش ۶ تیغه نتایج مطلوب‌تری دارد. به طوری که با کاهش ۳۶ درصدی ارتفاع آب، ضریب دبی به میزان ۱/۵ برابر افزایش یافته است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]



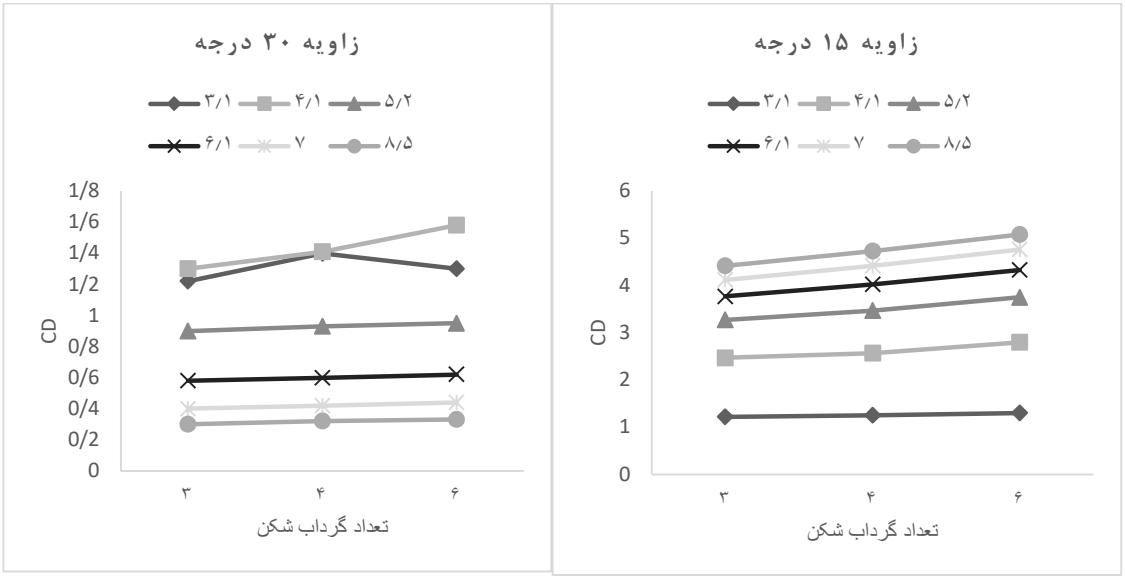
شکل (۲۶): نمودار ضریب دبی- نسبت استغراق تیغه های منتخب

بنابراین در بین تمامی آرایش تیغه‌ها، آرایش ۶ تیغه گرداب‌شکن با زاویه ۵۰ درجه بهترین حالت می‌باشد.

بررسی ضریب دبی و تعداد تیغه‌ها

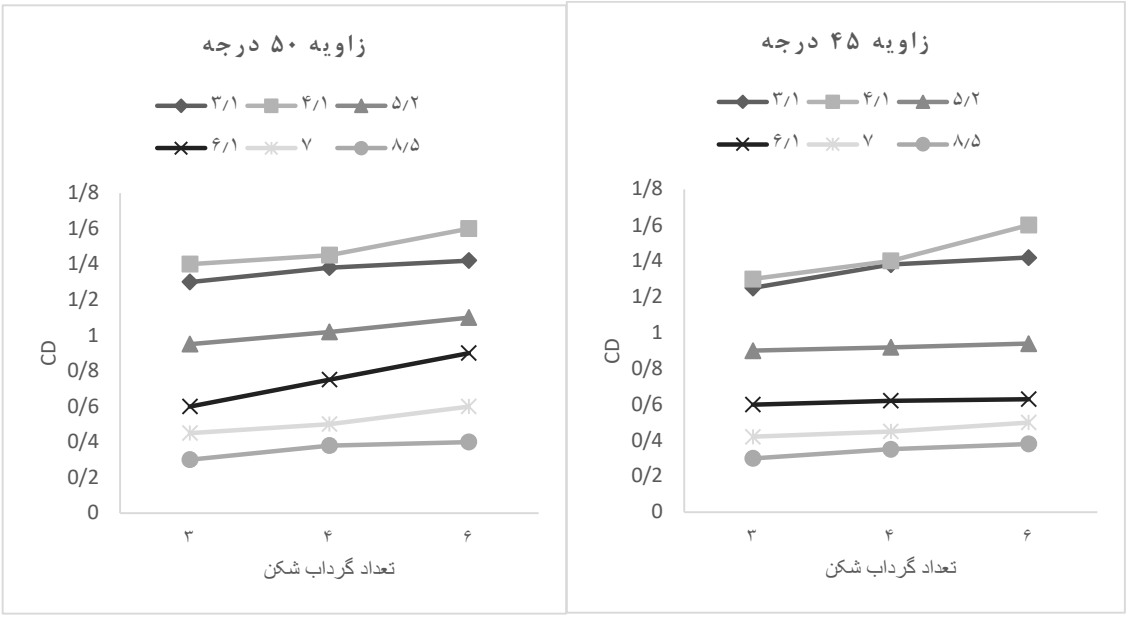
از آنجایی که هدف این تحقیق، بررسی تعداد تیغه‌ها نیز می‌باشد. در این قسمت تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن با زوایای منتخب نسبت به ضریب دبی بررسی می‌گردد.

شکل(۲۷)، تیغه گرداب‌شکن با زاویای ۱۵-۳۰-۴۵-۵۰ درجه نسبت به ضریب دبی بررسی گردید که در کلیه حالات مشاهده می‌شود از بین سه آرایش، آرایش تیغه به تعداد ۶ عدد، بیشترین تأثیر را در افزایش ضریب دبی داشته است.



[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

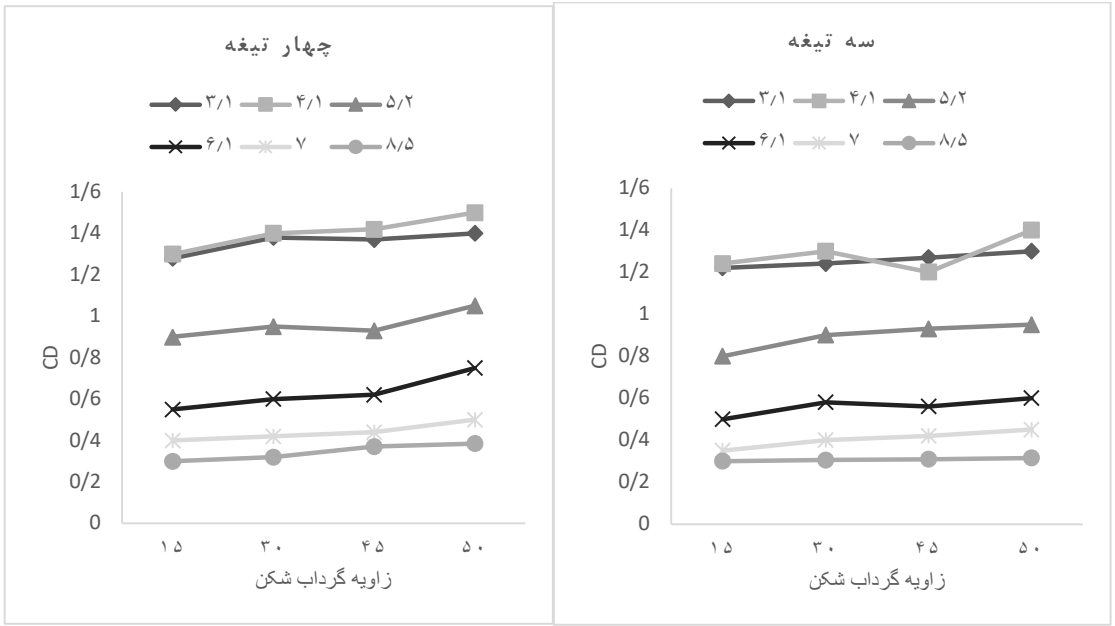
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]



شکل (۲۷): نمودار ضریب دبی – تعداد گرداب‌شکن‌ها با زاویه‌ی ۵۰-۴۵-۳۰-۱۵درجه

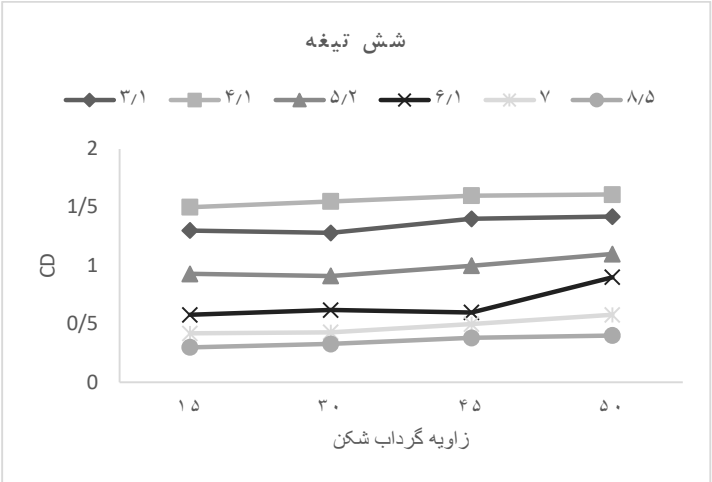
بررسی ضریب دبی و زاویه گرداب‌شکن‌ها با تعداد مختلف

در این حالت کلیه ارایش ۳-۴-۶ تیغه گرداب‌شکن با زاویه‌ی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۵۰ درجه، نسبت به ضریب دبی بررسی گردید. طبق شکل (۲۸) مشاهده می‌شود که با افزایش دبی، ضریب دبی کاهش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود با افزایش زاویه گرداب‌شکن‌ها، ضریب دبی بیشتر گردیده است. بنابراین از بین ۴ زاویه مورد آزمایش، در همگی آرایش ۳-۴-۶ تیغه گرداب‌شکن با زاویه ۵۰ درجه، بیشترین تأثیر را در افزایش ضریب دبی داشته است.



[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]



شکل (۲۸): نمودار ضریب دبی – زاویه گردابشکن به تعداد ۳-۴-۶ تیغه

نتیجه گیری

در این تحقیق مدل‌سازی سرریز نیلوفری به شکل ساده و همراه با تیغه‌های گرداب‌شکن انجام شد و بررسی عددی تأثیر تعداد و زاویه این تیغه‌ها بر روی هیدرولیک سرریز نیلوفری انجام شد. لذا هدف این تحقیق، بررسی شرایط هیدرولیکی حالات مختلف کنترل در سرریز و اثر تیغه‌های گرداب‌شکن بر روی هیدرولیک جریان عبوری از سرریز بود. بنابراین پس از انجام شبیه‌سازی مربوط به موضوع مورد نظر و انجام تجزیه و تحلیل‌های مورد نیاز در ارتباط با صحت انجام مدل‌سازی با مدل عددی FlOW-3D، نتایج موردی به شرح زیر می‌باشد:

۱- در مدل‌سازی، مهمترین مسئله، ایجاد شرایطی مناسب مطابق با شرایط مرزی در واقعیت می‌باشد که در این صورت می‌توان با اطمینان مراحل بعدی مدل‌سازی را طی کرد. همچنین در صحت‌سنجی مدل عددی مشخص شد که نتایج با مدل آزمایشگاهی همخوانی داشته و از تطابق خوبی برخوردار بوده است.

۲- 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؛ در دبی‌های کمتر از ۴/۱ مترمکعب بر ثانیه که سرریز به صورت آزاد عمل می‌کند کنترل در تاج سرریز رخ می‌دهد، در دبی بیشتر از این مقدار، سرریز به سمت استغراق پیش می‌رود و کنترل در گلوگاه سرریز می‌باشد و با مستغرق شدن کامل سرریز کنترل در خروجی می‌باشد.

۳- در هر دو مدل عددی و آزمایشگاهی ملاحظه شد که با افزایش دبی، مقدار ارتفاع آب روی تاج سرریز افزایش می‌یابد و با گذشت زمان در تاج سرریز گردابه‌هایی ایجاد می‌شود که باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل کاهش ضریب دبی و کارایی سرریز می‌گردد.

۴- در بین آرایش تیغه‌های گرداب‌شکن، آرایش ۶تایی، دارای نتایج مطلوبی، نسبت به حالتهای دیگر است و همچنین بیشترین تأثیر را در کاهش ارتفاع آب دارد بنابراین با افزایش تعداد تیغه‌ها بر روی تاج سرریز، ضریب دبی افزایش یافته است و این خود باعث بالا رفتن کارایی سرریز می‌گردد.

۵- همچنین مشاهده شد که در بین ۵ زاویه مورد آزمایش، گرداب‌شکن با زاویه ۵۰ درجه، دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر زوایا می‌باشد. بنابراین هر چه تیغه‌های گرداب‌شکن تیزتر باشند، نتیجه بهتری خواهند داد.

۷- به طور کلی، سرریز با ۶ تیغه گرداب‌شکن ۵۰ درجه، نسبت به سایر آرایش‌ها، دارای ارتفاع آب کمتر، ضریب دبی بیشتر و کارایی بهتر بوده است.

مراجع

Bagheri, A. Yusofund, F. and Tawana, M. (2012) The effect of changing the shape of the overflow crown geometry on the discharge coefficient of the Nilouferi overflow, the 11th Iranian Hydraulic Conference, Urmia University (in Persian).

Ghasemzadeh, F. (2012) Simulation of hydraulic problems in FLOW-3D, Tehran, Novavar. (in Persian).

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

of fundamental and applied life sciences ISSN: 22316345. 4(S4), 3633-3639.

Mousavi. S.R. Kamanbedast, A.A and Fathian, H. (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.

Mousavi. S.R. Kamanbedast, A.A and Barati, A. (2014). The effect of number and angle of guide piers on hydraulic behavior of morning glory spillway with square inlet. Advanses in environmental biology. ISSN 199-0756. EISSN 1998-1066. 8(7), 2377-2383.

Nohani, E. (2015). Laboratory evaluation of the effect of Anti-vortex blades' length on discharge coefficient of shaft spillway. An international peer-reviewed journal. DAMA international. ISSN: 2319-4731, 2319- 5037 e. 4(2), 150-155.

Nohani, E. (2015). Numerical simulation of the flow pattern on morning glory spillways. International journal of life scienses. ISSN NO.2091-0525. 9(4), 28-31

Rahnavard. M. Asadsangabi, F and Talebbeydokhti, M. (2014). Two phase flow modeling in shaft-spillways using Volume of Fluid (VOF) Method. IJST, transactions of civil Engineering. 38(CI), 99-109.

Hajipour, G. (2013). Laboratory investigation of the effect of vortex breaker blades on the hydraulics of Niloufari overflow flow. Master's thesis of Shahid Chamran University of Ahvaz (in Persian).

Ramezani, S. Kavianpur, Hosnejad district. (2012). Investigating the effective parameters on the water flow of Niloufari overflows of the 7th National Civil Engineering Congress, Shahid Nikbakht Engineering Faculty, Zahedan. (in Persian).

Safarian, M. Saeed Panah, A. and Tawana, M. (2014). Evaluation of flow rate and checking the amount of energy loss at the inlet and outlet of simple and stepped lotus spillways in orifice control mode. 10th International Congress of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tabriz.(in Persian).Akbari, A A, Nohani, E and Afrous, A. (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. ISSN: 22316345.5(S1), 3819-3826

Aibar, A. (2012). Computational modeling of free surface flow in intake structures using FLOW-3D software. A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university.

Bagheri, A and Nohani, E. (2014). Impact of making the crest of weir multifaceted on discharge coefficient of morning glory spillway. Indian journal

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم/ شماره سی و سوم/ بهار ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
10th Year/ No. 33/ June 2023

Numerical study of the effect of number factor and angle of vortex breaker blades on the performance of morning glory spillway

Alireza Delzandeh Ghaneh [1]
Alireza Mardookhpour [2 *]

Abstract

Construction of morning glory spillway in earthen dams is preferred separately from the dam body, which reduces the risk of scouring and saturation of the downstream shell of the dam. Since at the input of this type of spillway, the flow is formed in a vortex. The vortex lengthens the path of the flow lines and as a result reduces the flow rate and the spillway rate, therefore the flow rate of this type of spillway is lower than the overflows that operate freely. Vortex-currents occur due to changes in flow direction, viscosity and surface tension. The presence of this type of flow has a negative impact on the performance of structures such as the morning glory spillway. Investigation of this type of flow in this type of overflow is important because its negative effects on the performance of the morning glory spillway may cause irreparable damage. One of the methods that can be effective for vortex control is the use of vortex breaker blades, which will have a great impact on increasing the flow rate and flow rate. In this research, the modeling of the lotus overflow is simple and together with the vortex breaker blades, using the current passing through FLOW-3D software, the effect of the number and angle of these blades on the hydraulics of the morning glory spillway is investigated. The results showed that with increasing the number of blades on the spillway crown, the discharge coefficient has increased and this in turn increases the spillway efficiency. It was also observed that among the 5 angles tested, the vortex breaker with a 40-degree angle has better performance than other angles. Therefore, the sharper the vortex blades, the better the results.

Keywords

Numerical study, Vortex breaker blade, Morning glory Spillway, FlOW-3D software

[1] M.sc of Civil Engineering Department, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR) of Rasht Complex ,Rasht ,Iran
[2] Assistance Professor of Civil Engineering Department, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

Received: 2022/06/19 Accepted: 2022/10/01

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.0.0.2.3]