



# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر



## شبیه سازی عددی جریان برای بررسی تغییرات افت انرژی در پائین سرریز پلکانی در حوضچه های آرامش

اکبر دادرس<sup>۱</sup>، مهدی نژاد نادری<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

۲- گروه مهندسی عمران، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.  
mehdi2930@yahoo.com

### چکیده

در سرریزهای پلکانی برخلاف سرریزهای اوجی نوع جریانی که روی سرریز ایجاد می‌شود و هم چنین تعداد پله‌ها و ... می‌تواند در توسعه حفره آب شستگی مؤثر باشد. بخشی از انرژی جریانی که توسط سرریز پلکانی منتقل می‌شود، توسط پله‌ها مستهلك شده و انرژی جنبشی کمتری نسبت به سرریزهای اوجی در پایین دست حاصل می‌شود. به همین دلیل در پائین دست سرریزهای پلکانی حوضچه آرامش را با طول کمتری احداث می‌کنند. این موضوع توسط مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است و یک سری داده‌های آزمایشگاهی به دست آمد. در این مقاله از این داده‌های آزمایشگاهی استفاده شده تا به کمک روش حجم محدود و نرم افزار فلوئنت شبیه سازی عددی جریان انجام گیرد و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردد. بردار هم سرعت در سرریز پلکانی در مدل آزمایشگاهی با دبی ۲۹/۸۸ لیتر بر ثانیه بدست آمد که نشان داد افزایش طول حوضچه های میانی باعث افزایش خطر آب شستگی می‌شود. همچنین با کاهش فاصله حوضچه های ابتدایی سرعت جریان در کف حوضچه ها کمتر می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آب شستگی، سرریز پلکانی، پرش هیدرولیکی، افت انرژی، فلوئنت.

### مقدمه

برآورد عمق آب شستگی موضعی یکی از مسائل مهمی است که همواره در طراحی سازه‌های هیدرولیکی که در مسیر رودخانه و آبراهه‌ها بنا شده اند، مورد توجه مهندسین عمران بوده است. بی توجهی به این موضوع ممکن است خسارات مالی و جانی جبران ناپذیری را به وجود آورد. یکی از سازه‌های مؤثر بر کاهش انرژی در پایاب سازه‌های هیدرولیکی،



# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر



حوضچه‌های آرامش می‌باشد که با داشتن ضمائم سازه‌ای خاص و تشکیل پرش هیدرولیکی، در آرام کردن جریان خروجی از سازه‌ها نقش مهمی دارند. زیر نمودن بستر، از عوامل مؤثر در استهلاک انرژی و کنترل پرش هیدرولیکی و کاهش عمق آبشتگی به شمار می‌رود. یکی از سازه‌های مؤثر بر کاهش انرژی در پایاب سازه‌های هیدرولیکی، حوضچه‌های آرامش می‌باشد که با داشتن ضمائم سازه‌ای خاص و تشکیل پرش هیدرولیکی، در آرام کردن جریان خروجی از سازه‌ها نقش مهمی دارند. زیر نمودن بستر، از عوامل مؤثر در استهلاک انرژی و کنترل پرش هیدرولیکی به شمار می‌رود. در این مطالعه به مطالعه عددی مدل آزمایشگاهی ساخته شده برای بررسی پرش هیدرولیکی بر روی بستر زبر با زبری مربوط به سرریز پلکانی پرداخته خواهد شد. برای بررسی شبیه سازی عددی از مدل آزمایشگاهی اثر زبری بستر و شبیه بر پارامترهای هیدرولیکی جریان، از یک مدل آزمایشگاهی واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد استفاده شده است.

شجاعیان در سال ۱۳۹۲ به شبیه سازی عددی پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش سد مخزنی نمروд پرداخت. در این تحقیق پدیده پرش هیدرولیکی به کمک نرم افزار Fluent با استفاده از دو نوع مدل استاندارد و RNG شبیه سازی شد. ابتدا برای پیش‌بینی دقیق خصوصیات پرش هیدرولیکی، با استفاده از داده‌های اندازه گیری شده توسط چانسون و چاچرو در فلوم آزمایشگاهی دو مدل آشفتگی صحت‌سنگی شدند. بررسی انجام شده نشان داد که نتایج مدل آشفتگی RNG در مقایسه با مدل استاندارد بهتر می‌باشد. سپس از این مدل برای شبیه سازی پرش هیدرولیکی در مدل فیزیکی حوضچه آرامش سد مخزنی نمرود استفاده شد. مقادیر محاسبه شده فشار، توزیع سرعت و پروفیل سطح آب با اندازه گیری‌های آزمایشگاهی مقایسه شدند، که انتباط خوبی با هم داشتند. متداولترین روش برای استهلاک انرژی در پایین دست سرریزها، دریچه‌ها و تنداب‌ها استفاده از پرش هیدرولیکی است. به منظور کنترل پرش در پایین دست سازه‌های یاد شده نیاز به احداث حوضچه آرامش می‌باشد؛ بطوريکه تمام یا قسمتی از پرش هیدرولیکی در آن رخ دهد. حوضچه آرامش قسمت کوتاهی از یک آبراهه کفسازی شده می‌باشد که می‌تواند پرش هیدرولیکی را مهار و طول پرش را کاهش دهد و انرژی جنبشی آب را به انرژی حرارتی تبدیل کند. جهت کاهش ابعاد حوضچه اقداماتی چون ساخت بلوک‌های پای شوت و یا بلوکهای میانی به منظور اتلاف بیشتر انرژی جنبشی در محدوده پرش می‌باشد. از آنجا که بلوک‌ها مستقیماً در معرض جریان یا انرژی بالا هستند نیاز به پایداری زیادی دارند که این امر موجب می‌شود تا ابعاد آنها بزرگ و در موقعی در معرض کاویتاسیون قرار گیرند. یکی از روش‌هایی که می‌تواند جایگزین بلوک‌ها شود استفاده از زبری کف می‌باشد. وجود زبری کف سبب می‌شود که در یک حجم کنترل مقدار مومنت ورودی و خروجی برابر نباشد و مومنتوم خروجی به اندازه نیروی مقاومتی زبریها کمتر از مومنتوم ورودی شود. حوضچه‌های آرامش در پایاب سازه‌های هیدرولیکی، محل مناسبی برای ایجاد، کنترل و مهار پرش هیدرولیکی به شمار می‌آیند و بلوکهای داخل حوضچه‌ها، باعث هدایت پرش به درون آن و استهلاک بخشی از انرژی جنبشی پرش هیدرولیکی و در نتیجه افزایش راندمان حوضچه‌های آرامش می‌شوند. در سال‌های اخیر از المان‌های زبر در کف حوضچه‌ها استفاده شده است. محققان مختلفی اثر زبری در افزایش کارایی حوضچه‌های آرامش و کاهش طول پرش هیدرولیکی را مورد بررسی قرار داده‌اند [1-5].



# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر



زبری کف می تواند به صورت سنگچین، موجهای سینوسی، ذوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی در عرض آبراهه باشد. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه اثر زبری بستر بر مشخصات جهش هیدرولیکی صورت گرفته است. نتایج اولین تحقیقات آزمایشگاهی جهش هیدرولیکی در بسترها زبر نشان داد که جهش‌های هیدرولیکی تشکیل شده در بسترها زبر کوتاهتر از جهش تشکیل شده در بسترها صاف است [6]. جریان‌های فوق بحرانی توسعه یافته در پایین بسترها بر روی بسترها صاف به طول کمتری نیاز دارند [7]. نتایج مطالعات نشان داد که دست دریچه‌ها بر روی بسترها زبر با بسترها صاف به عدد فرود و زبری نسبی بستگی دارد [8]. میزان کاهش عمق ثانویه و طول جهش می‌گردد و میزان این کاهش به عدد فرود و زبری نسبی بستگی نیز بستگی دارد، بطوریکه هرچه زبری بستر غیریکنواخت تر باشد، میزان کاهش مشخصات جهش بیشتر خواهد بود [9]. با وجود حوضچه آرامش دارای محافظه، شب سنتگها می‌توانند نقش اساسی در پدیده استهلاک انرژی ایفا کنند [10].

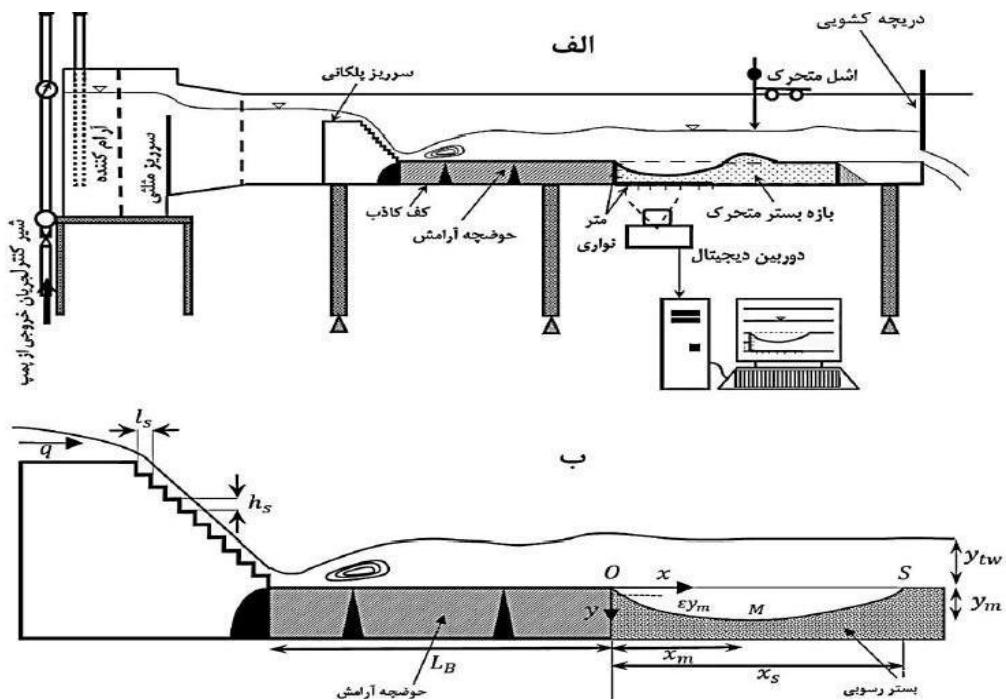
با توجه به تحقیقات انجام شده، زبری بستر عامل مؤثری در کاهش هزینه‌های حوضچه‌های استهلاک انرژی می‌باشد و عمدۀ تحقیقات در رابطه با موضوع پرش هیدرولیکی روی بسترها صاف یا زبریهای منفصل صورت گرفته در حالی که مطالعه روی زبری های متراکم و درشت دانه بسیار محدود می‌باشد. از این‌رو در مطالعه حاضر کلیه آزمایشات برای بستر سرریز پلکانی انجام گرفته است و اثر اندازه دبی های مختلف بر روی مشخصات پرش هیدرولیکی و افت انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت بخشی از نتایج تحقیق حاضر با مطالعات دیگر محققان مقایسه شده است.

## سازه مورد مطالعه

برای بررسی آزمایشگاهی از داده‌های آزمایشگاهی روشن و همکاران (۱۳۹۳) برای انجام مدلسازی استفاده گردیده است [11].



# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر



شکل ۱- الف -نمای جانبی از مدل آزمایشگاهی ب- پارامترهای مؤثر بر پدیده مورد نظر [11].

جدول ۱- دامنه تغییرات پارامترهای مورد بررسی [11] .

محدوده تغییرات		پارامتر
مدل دوم	مدل اول	
۳۱/۵۱۸-۸۸/۹۵۱	۷/۴۳-۲۹/۸۸۸	دبی (l/s)
۱/۱۱، ۱/۷۸	۰/۵۸، ۱/۱۱، ۱/۷۸	دانه‌بندی (mm)
۴	۳	ارتفاع پله (cm)
۱۰	۵	طول پله (cm)
۱۲۰	۷۴، ۵۵، ۳۷، ۱۰ ۱۱۰	طول حوضچه آرامش (cm)
۶۰	۴۵	ارتفاع سرریز (cm)
۹۰	۴۱	عرض فلوم (cm)
۱۱/۶۳-۲۱/۷۱	۸/۰۴-۱۸/۴۳	عمق پایاب (cm)
۱۲	۵۵	تعداد آزمایش

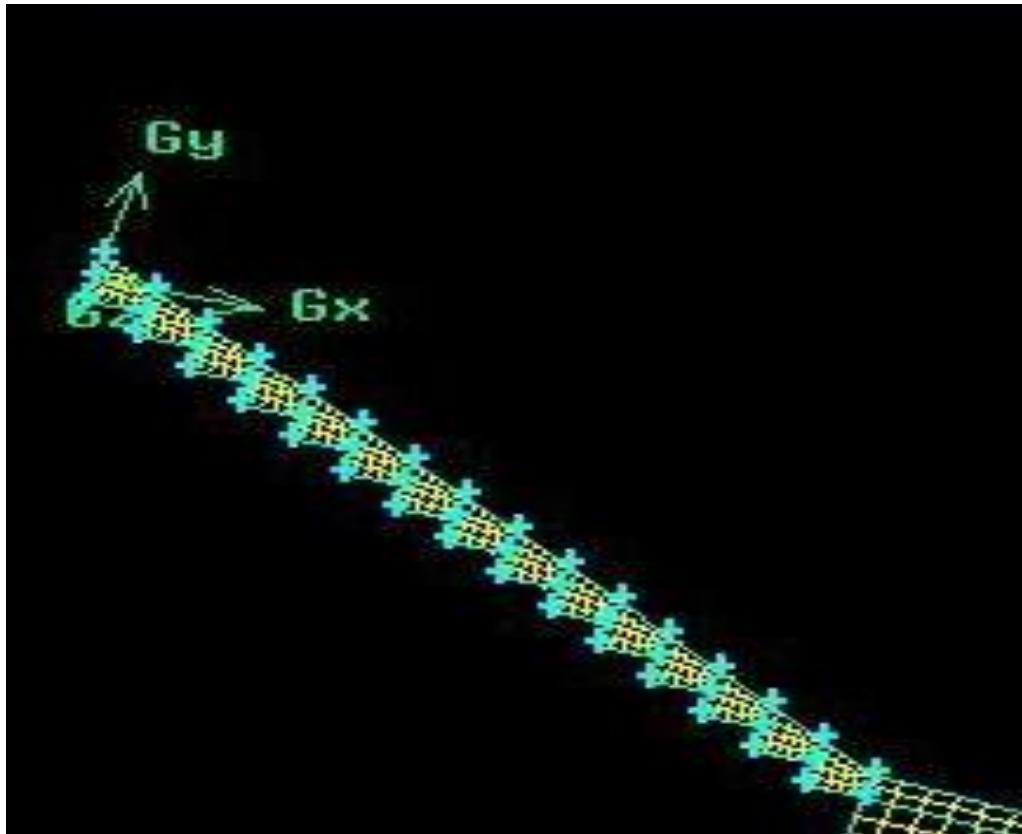


# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر



## مدلسازی

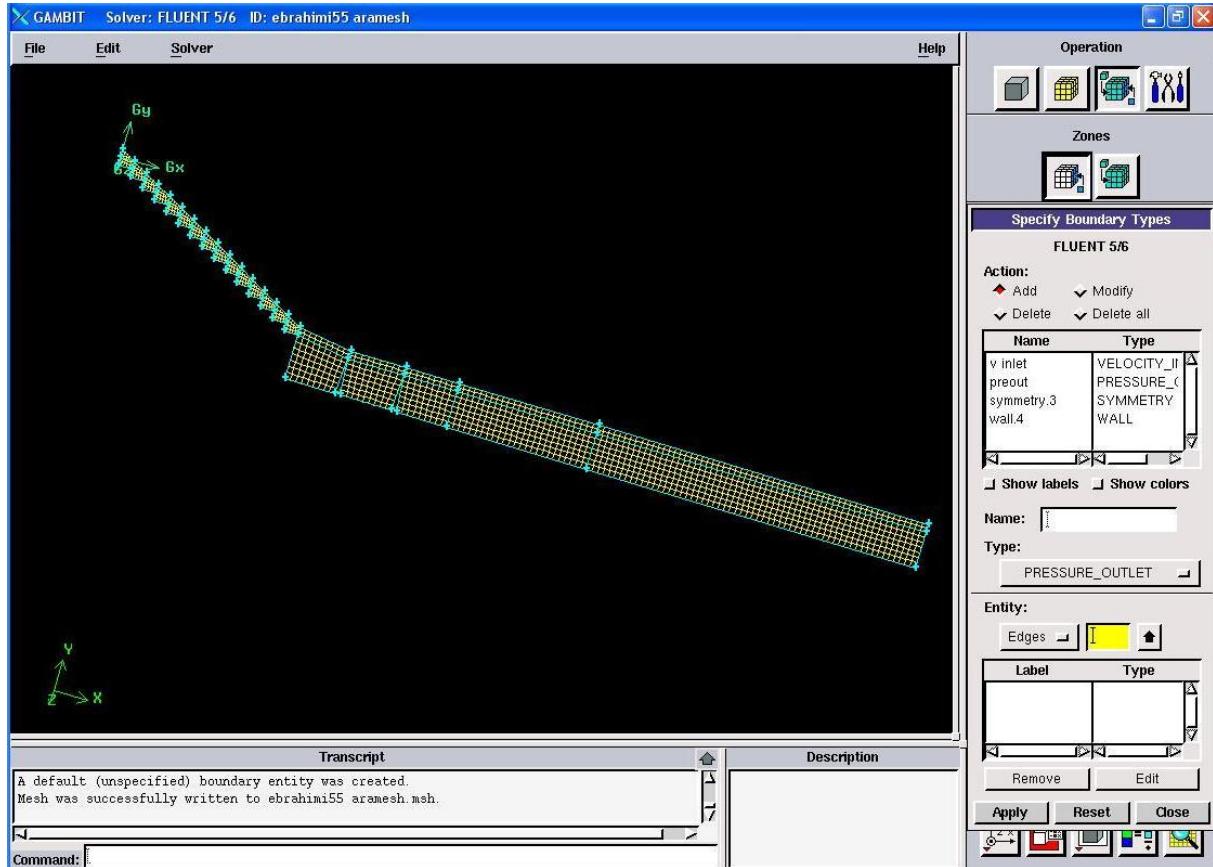
در ابتدا هندسه سریز و حوضچه آرامش در نرم افزار گمیت مدل بندی شد. سپس شرایط مرزی ورودی و خروجی جریان در آن تعریف گردید. الگوی شبکه از المان Quad باز نوع map برای صفحات و برای حجم‌ها از المان Hex و از نوع map استفاده شده است.



شکل ۲- مش بندی هندسه مدل سریز پلکانی به همراه حوضچه آرامش



# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر



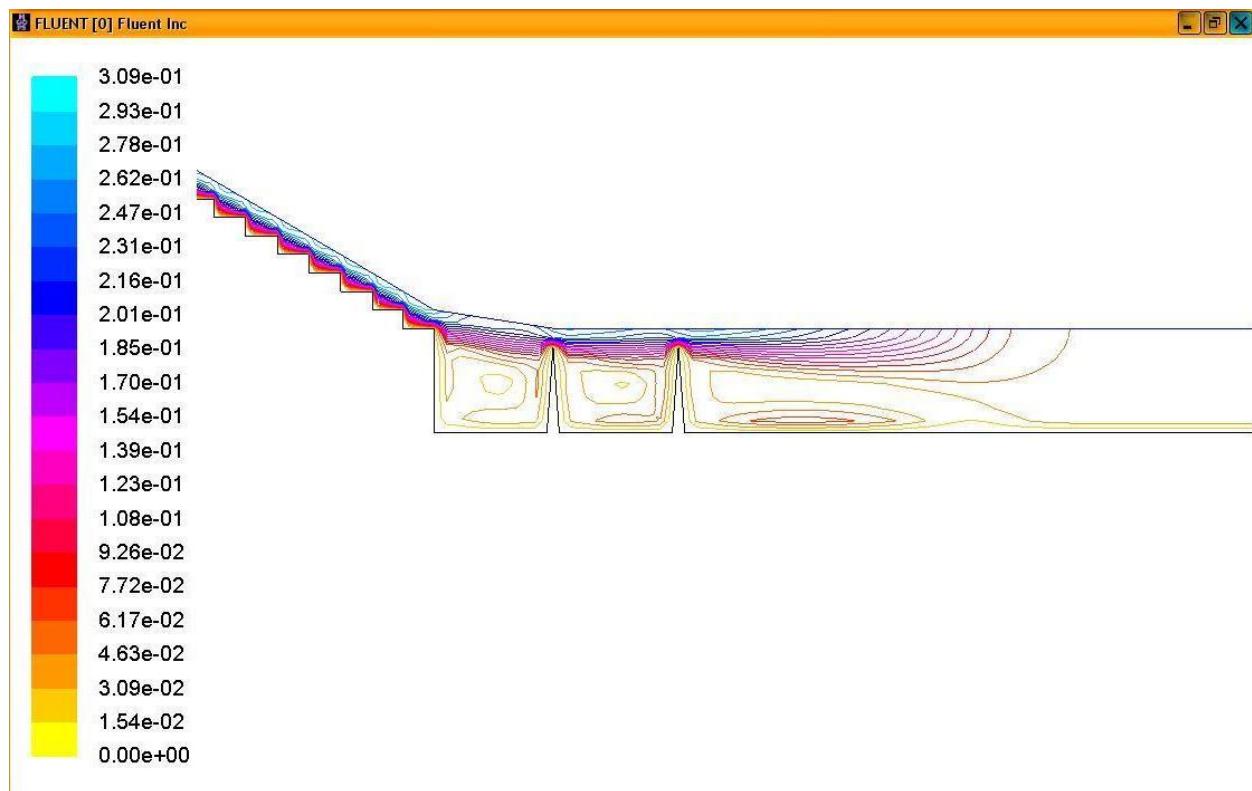
شکل ۳- مش بندي هندسه مدل سرريز پلکاني به همراه حوضچه آرامش با دو ردیف بلوك ميانی در آن و طول حوضچه برابر ۵۵ سانتی متر در مدل آزمایشگاهی

## شبیه سازی عددی

مش بندي حاصل در نرم افزار فلوئنت وارد شد و با مقداردهی شرایط مرزی و انتخاب الگوهای حل مرتبه اول و مدل های آشفتگی دو معادله ای، جريان تحليل شد. كه نتایج حاصل از تحليل به صورت شکل های زیر ارائه شده اند.



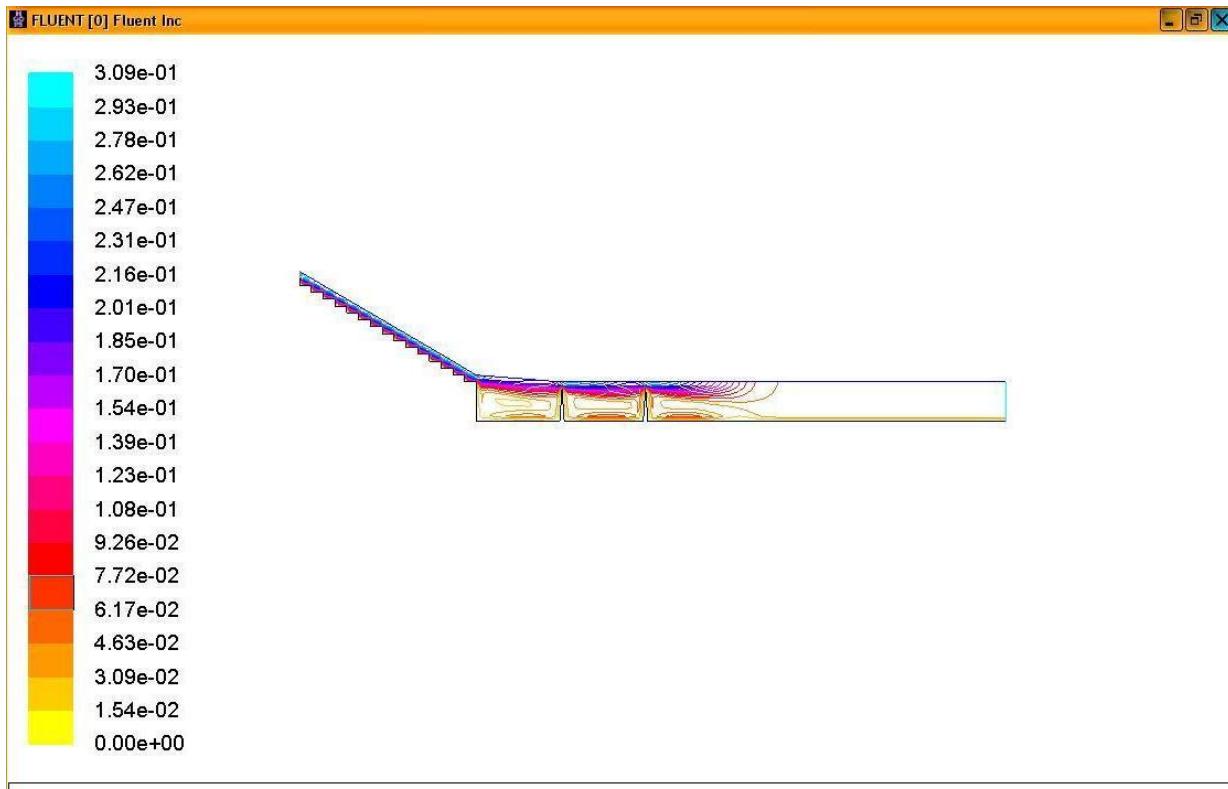
# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر

شکل ۴- خطوط هم سرعت در حوضچه آرامش در طول حوضچه ابتدایی برابر ۵۵ سانتی متر در مدل آزمایشگاهی و طول حوضچه انتها برابر ۱۲۰ سانتی متر در مدل آزمایشگاهی با دبی ۲۹/۸۸ لیتر بر ثانیه



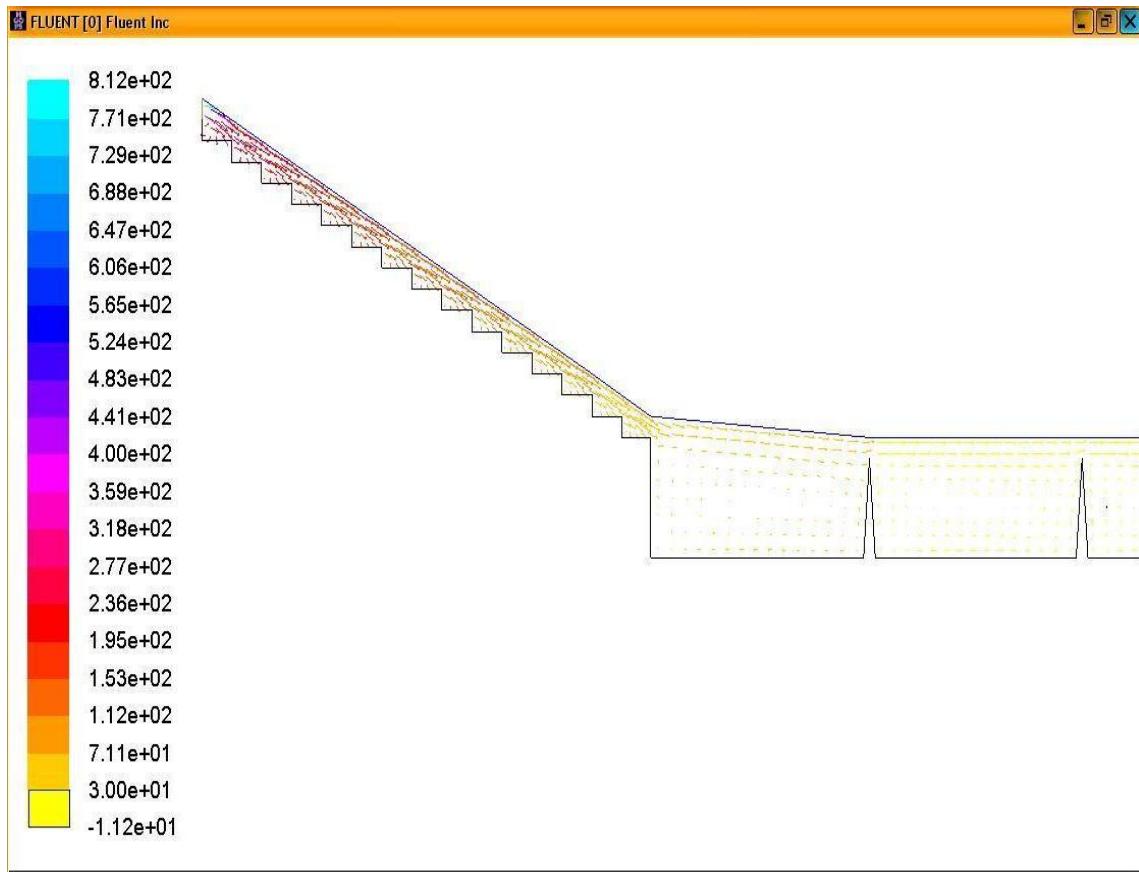
# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر

شکل ۵- خطوط هم سرعت در حوضچه آرامش در طول حوضچه ابتدایی برابر  $110\text{ سانتی متر}$  در مدل آزمایشگاهی و طول حوضچه انتها برابر  $120\text{ سانتی متر}$  در مدل آزمایشگاهی با دبی  $29/88\text{ لیتر بر ثانیه}$



# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر



شکل ۶- خطوط هم فشار در حوضچه آرامش در طول حوضچه برابر ۱۱۰ سانتی متر در مدل آزمایشگاهی و طول حوضچه انتها بی برابر ۱۲۰ سانتی متر در مدل آزمایشگاهی با دبی ۲۹/۸۸ لیتر بر ثانیه



# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر



## نتیجه گیری

در این مقاله از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به سرریز پلکانی استفاده شده تا به کمک روش حجم محدود و نرم افزار فلوونت شبیه سازی عددی جریان انجام گیرد. بردار هم سرعت در مدل آزمایشگاهی با دبی ۲۹/۸۸ لیتر بر ثانیه بدست آمد که نشان داد افزایش عدد فرود جریان باعث افزایش عمق آب شستگی خواهد شد. پروفیل‌های آب شستگی در پایاب سرریزهای پلکانی را برای دو نوع رژیم جریان مختلف بررسی گردید که نتایج نشان داد که نوع رژیم جریان ایجاد شده روی سرریز پلکانی در بیشینه عمق آب شستگی بسیار مهم است. بدین ترتیب که در رژیم جریان ریزشی، بیشینه عمق آب شستگی نسبت به رژیم جریان غیرریزشی کمتر می‌باشد. همچنین با کاهش فاصله حوضچه‌های ابتدایی سرعت جریان در کف حوضچه‌ها کمتر می‌شود.

## منابع

1. Ead S.A. and Rajaratnam N. (2002), “Hydraulic jumps on corrugated bed”, *Hydraulic engineering* 128(2):656-663.
2. Rajartnam N. (1968), “Hydraulic Jumps on Rough bed, Trans”, *Engineering Inst. Canada*, 11(a-2), 1-8.
3. Gohari A., and Farhoudi J. (2009), “The Characteristics of Hydraulic Jump on Rough Bed Stilling Basins”, 33 IAHR Congress, Water Engineering for Sustainable Environment, Vancouver, British Columbia, August 9-14.
4. Mohammad Ali H.S. (1991), “Effect of Roughed Bed Stilling Basin on Length of Rectangular Hydraulic Jump”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 117 (1):83:93.
5. Tokyay N.D. (2005), “Effect of Channel Bed Corrugations on Hydraulic Jumps”, Impacts of Global Climates Change Conference, EWRI, May, Anchorage, Alaska, ASA, pp. 408-416. Doi: 1.1061/40792(173)408.
6. Rajartnam N. (1968), “Hydraulic Jumps on Rough bed, Trans”, *Engineering Inst. Canada*, 11(a-2), 1-8.
7. Leutheusser H.J. and Schiller E.J. (1975), “Hydraulic jump in a rough channel”, *Water Power and Dam Construction*. 27(5):186- 191.
8. Hughes W.C. and Flack J.E. (1984), “Hydraulic jump properties over a rough bed”, *Journal of Hydraulic Engineering* 110 (12): 1755-1771.
9. Pagliara S. Lotti I. and Palermo M. (2008), “Hydraulic jump on rough bed of stream rehabilitation structures”, *Journal of Hydroenvironment Research* 2: 29-38.
10. Pagliara,s and palermo , M. (2012), “Effect of stiiling basin geometry on the dissipative process in presence of block ramps”, *journal of Irrigation and drainage engineering*.

تیر ماه ۱۳۹۶



# ماهnamه علمی تخصصی پایا شهر

۱۱. رضا روشن و همکاران. ۱۳۹۳ . بررسی پدیده آب شستگی موضعی در پائین دست حوضچه های آرامش در حضور سرریز پلکانی، مجله علمی - پژوهشی دوره ۹ - شماره ۴ زیرا .۹۳