

بررسی اثر نصف کردن ابعاد پله‌ها در سه حالت نسبت $\frac{1}{3}$ ، بر میزان افت کارمایه در شبیه

سرریزهای پلکانی

مرتضی محمودی^{1*}، امین رستمی راوری²

تاریخ پذیرش: 1391/6/22

تاریخ دریافت: 1391/4/16

چکیده

سرریزهای پلکانی سازه‌هایی سودمندند که در مهار کردن سیلاب به منظور استهلاک کارمایه و کاهش ابعاد حوضچه‌ی آرامش پایین دست سرریز به کار می‌روند. سازگاری این سازه با ساز و کار بتن غلتکی و روشهای احداث تورسنگ، و همچنین قطعات بتن از پیش ساخته، باعث کاربرد وسیع آن شده است. شبیه سازی هیدرولیکی شکل خاصی از شبیه سازی فیزیکی است که با استفاده از شبیه مقیاس دار برای شبیه سازی جریان به کار می‌رود. از مزیت‌های این شبیه، توانایی بالقوه آن در شبیه سازی جریانهای پیچیده است. در این تحقیق، با استفاده از شبیه سازی فیزیکی در یک نهر پایه دار، 1 شبیه با شبیب پایین دست 1: 0/7 (عمودی به افقی) ساخته شد. تاج سرریز از نوع منحنی پیوند با معیار WES و تعداد پلکانها 6 عدد بود. در ادامه، با تغییر در شمار پلکانها با روش نصف کردن فاصله‌ی بین هر دو پلکان، در یک سومهای مختلف از طول سرریز (ابتدایی، میانی، و انتهایی) و انجام آزمایشها اثر هریک از این انواع تغییرات در میزان اندازه‌ی استهلاک کارمایه تعیین شد. در کل 6 شبیه مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. بر پایه‌ی دستاوردهای به دست آمده از آزمایشها، بیشترین مقدار افت در تشریح شبیه رخ می‌دهد. پس از آن شبیه سازی ریاضی با کاربرد نرم افزار Flow3d-10 انجام شد و نتایج شبیه فیزیکی مورد تأیید قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: سرریز پلکانی، افت کارمایه، سرریز منحنی پیوند WES، شبیه k-ε، FLOW-3D.

¹ - دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه کارشناسی ارشد، فارس، ایران

² - استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

* - نویسنده مسئول: drrostami@yahoo.com

مقدمه

استهلاک کارمایه جریان از روی سرریز سدها معمولاً به یکی از سه صورت زیر اتفاق می‌افتد:

- احداث حوضچه آرامش معیار در پایین دست سرریز که در آن جهش آبی اتفاق افتاده و موجب اتلاف کارمایه زیاد می‌گردد.
 - پرتاب جریان آب با سرعت زیاد از روی آرام کننده جامی با سرعت گیر¹ به هوا و برخورد آن با حوضچه استغراق پایین دست سرریز.
 - احداث سرریز پلکانی
- سرریز پلکانی متشکل از پله هایی است که از نزدیکی تاج در بالادست سرریز تا حوضچه آرامش در پایین دست ادامه دارند. پله ها در سرریز های پلکانی می‌توانند شدت استهلاک کارمایه حاصل از تندآب² را به نحو قابل توجهی کاهش داده و نیاز به احداث سیستم استهلاک کارمایه را در انتهای پایین دست حذف کرده و یا تا حد زیادی ابعاد آن را کاهش دهند.

سرریزهای پلکانی از جمله سازه هایی هستند که در مهارکردن سیلاب به منظور استهلاک کارمایه و کاهش ابعاد حوضچه آرامش پایین دست سرریز به کار می‌روند. سازگاری این سازه با ساز و کار بتن غلتکی³ و روشهای احداث تورسنگ، و همچنین قطعات بتن از پیش ساخته باعث کاربرد وسیع آن شده است (موسوی جهرمی و ارجلو، 1387).

قدیمیترین سرریز پلکانی جهان، به نام آکارنایا⁴ در یونان است که در حدود 1300 سال پیش از میلاد ساخته شده است. دو سرریز قدیمی دیگر، نیز سدهای رودخانه ی خوسر⁵ (یا سدهای آجیلا) در عراق می‌باشند. این سدها حدود 694 سال پیش از میلاد به وسیله‌ی سیناکریب⁶ پادشاه آشور و به منظور تأمین آب شهر نینوا پایتخت آشور در نزدیکی موصل فعلی در کشور عراق ساخته شدند. بقایای این سدها هنوز هم موجودند.

رومیان نیز تعداد زیادی از این سازه ها را در امپراتوری بزرگشان ساخته بودند که آثار آنان در سوریه، لیبی و تونس پیدا شده اند. یکی از سازه های جالب سد کاسیرین⁷ است که طول تاج سرریز شونده آن 150 متر می باشد.

مهندسان مسلمان نیز پس از فروپاشی امپراطوری روم آزموده های نبتیه⁸، رومیها و سائبیها⁹ را کسب کرده و سدهایی را با سرریزهایی از این نوع نظیر سد آدهیم¹⁰ در عراق، سرریز پل خواجو در ایران، سد درویش¹¹ در عربستان سعودی و سرریز مستلا¹² در اسپانیا، ساختند.

مهندسان اسپانیایی هم از سازه های رومیها و مسلمانان الگو برداشته، اما طراحی جدیدی نیز بر آن افزوده و سدهای جدیدی را با سرریزهای پله ای مانند سد آلمانزا، آکانتی و آباژو احداث کرده اند. تخصص مهندسان اسپانیایی بین سالهای 1400 تا 1850 در سد سازی در مقایسه با معیارهای جهانی بسیار استثنایی و جالب بوده است.

سرریز سد نیو کروتون، احتمالاً اولین تندآب پله-ای بوده که برای به حداکثر رسانی استهلاک کارمایه طراحی شده است. در سالهای اخیر ساختن سدهایی که در بدنه آنها از پلکان با هدف استهلاک کارمایه استفاده شده، گسترش یافته است (چانسون، 2001).

بررسی پیشینه تحقیق

سورنسن (1985) و چانسون (2001) مطالعات آزمایشگاهی زیادی را پیرامون تشخیص جریان و پراکنش کارمایه بر روی سرریزهای پلکانی انجام داده، و همچنین روابطی را برای تعیین نوع جریان و میزان اندازه‌ی کارمایه تلف شده بر روی این نوع سرریزها ارائه داده اند. چن و همکاران (2002)، با استفاده از روش حجم محدود، جریان را روی سرریز های پلکانی تجزیه و تحلیل

⁷ -Kasserin

⁸ -Nabataeans

⁹ - Sabaens

¹⁰ -Adheim

¹¹ - Darwaish

¹² -Mestella

¹ -Flip bucket dissipator

² - Chute

³ - RCC

⁴ -Akarnania

⁵ - Khosr

⁶ - Sennacherib

شده به خوبی با نتایج آزمایشگاهی مطابقت داشته، و به دلیل سرعت بالاتر و هزینه‌ی بسیار کمتر نسبت به شبیه‌های آزمایشگاهی ارجحیت دارد. به همین دلیل، شبیه عددی برای شبیه‌سازی جریان‌های هیدرولیکی بسیار کارآمد و توانا می‌باشد.

بررسی هیدرولیک جریان سرریزهای پلکانی وضعیت جریان ریزشی¹

در وضعیت جریان ریزشی ارتفاع کل سرریز به تعدادی آبشار عمودی تقسیم شده و جریان آب در برخورد با پلکانهای متوالی می‌تواند دارای جهش آبی کامل و یا ناقص (بستگی به طول افقی پلکان دارد) باشد. وضعیت جریان ریزشی در بده‌های کم ارتفاع پله‌های بزرگ اتفاق می‌افتد. استهلاك کارمایه بر اثر تماس جهش جریان آب و هوا، و اختلاط جهش روی هر پله و تشکیل جهش آبی کامل و یا ناقص روی هر پله حاصل می‌شود.

رژیم جریان غیرریزشی²

در وضعیت جریان غیرریزشی پلکان‌ها مانند زبری بزرگ در برابر جریان عمل می‌نمایند. در این نوع وضعیت یک بستر کاذب³ که آستانه‌ی انتهایی پلکانهای متوالی را به یکدیگر متصل می‌سازد، تشکیل می‌گردد. در زیر این بستر کاذب یک سری جریانهای گردابی تشکیل می‌گردد. بخش بزرگتر استهلاك کارمایه در این نوع وضعیت، بر اثر ایجاد جریانهای چرخشی زیر بستر کاذب ایجاد می‌گردد. در این نوع وضعیت جریان، سه منطقه‌ی قابل تمایز وجود دارد: ناحیه با جریان صاف⁴ و بدون هوا، ناحیه در حال گسترش⁵ و ناحیه کاملاً گسترش یافته⁶ (چانسون، 1994؛ راجاراتنام، 1990).

وضعیت جریان تبدیلی⁷

بین وضعیت جریان ریزشی و غیر ریزشی، یک وضعیت جریان دیگر قابل مشاهده است، که به آن وضعیت جریان تبدیلی گفته می‌شود. در این وضعیت،

کرده و برای تعیین آشفتگی جریان از شبیه $k - \epsilon$ استفاده نمودند. تابارا و همکاران (2005)، سرریز پلکانی را با استفاده از روش اجزاء محدود تجزیه و تحلیل کرده و از شبیه $k - \epsilon$ معیار به منظور تعیین آشفتگی جریان استفاده کردند.

رستمی و همکاران (1384)، نرم افزار HEC-RAS در تحلیل جریان و استهلاك کارمایه به وسیله‌ی سرریز پلکانی به کار بردند. از آن جا که این شبیه قادر به تحلیل صحیح هیدرولیک جریان در نتیجه تغییرات ناگهانی در بستر رود نبوده، و با توجه به این که پله‌های شیب شکن عمودی دارای یک تغییر ناگهانی می‌باشند، لذا در تحلیل این مسأله به جای پله‌های عمودی ضریب مانینگ معادل اعمال گردید.

رستمی راوری (1385)، با ساختن 10 شبیه سرریز پلکانی از سرریز بدون پلکان تا سرریز پلکانی با سی و یک پله، درون نهر پایه دار آزمایشگاهی، تحت زاویه و ارتفاع مشخص، و با عبور دادن بده‌های متعدد و اندازه گیری فراسنجهای متعدد هیدرولیکی مورد نیاز، بهترین شبیه ریاضی ممکن را جهت بررسی میزان افت نسبی در سرریزهای پلکانی به دست آورد.

نادری (1386)، استهلاك کارمایه را در سرریزهای پلکانی و سرریز منحنی پیوند با کاربرد روش حجم سیال (VOF) مقایسه کرده و نشان داد که نسبت استهلاك کارمایه به کارمایه اولیه در سرریز پلکانی به میزان 80/9 درصد نسبت به سرریز منحنی پیوند افزایش داشته است.

عباسی و کمان بدست (2012)، در این تحقیق با حل عددی و شبیه‌سازی ریاضی 3 گروه از انواع مختلف سرریزهای پلکانی با هندسه‌ی متفاوت پله‌ها با نرم افزار Flow-3d به بررسی میزان افت در این سرریزها و مقایسه‌ی آن با شرایط شبیه‌سازی آزمایشگاهی (هیدرولیکی)، که در گذشته انجام شده بود، پرداختند. همچنین، رابطه‌ی بین افت کارمایه نسبی و عمق بحرانی جریان برای سرریزهای پلکانی ارائه شد و مورد بحث قرار گرفت.

با مقایسه‌ی بین نتایج روش عددی با آزمایشگاهی مشخص شد که روش عددی به کار گرفته

¹ - Nappe Flow

² - Skimming Flow

³ - Pseudo-Bottom

⁴ - Clear water region

⁵ - Developing region

⁶ - Fully developed region

⁷ - Transition Flow

سرریز از نوع منحنی پیوند و WES می باشد، طراحی قسمت تاج سرریز با توجه به این معیار انجام گردید. رابطه ی قسمت منحنی اوجی و همچنین بده این سرریز به صورت زیر می باشد:

(4)

$$\left(\frac{y}{H_d}\right) = -K \left(\frac{x}{H_d}\right)^p$$

(5)

$$Q = CLH_d^{\frac{3}{2}}$$

ضرایب k و p به ترتیب $1/85$ و $0/5$ در نظر گرفته می شوند H_d بار آبی روی تاج سرریز به ازای بده طرح است که با جایگذاری مقدار C مساوی $1/77$ در رابطه ی (5)، برابر $10/47$ متر به دست می آید. با جایگذاری مقادیر H_d ، K و P در رابطه (4) و همچنین مشتق گرفتن از رابطه ی y بر حسب x ، و مساوی قرار دادن آن با مقدار $\frac{1}{7}$ مختصات نقطه ی C ، نقطه ی انتهایی منحنی پیوند به دست می آید:

$$\frac{dy}{dx} = -0.1258x^{0.85} = -\frac{1}{0.7} \quad + x = 17.44, \quad y = -11.47$$

ارتفاع اولیه ی شبیه سرریز 80 سانتیمتر و شبیه پایین دست 1 به $0/7$ (عمودی به افقی) در نظر گرفته شد؛ بدین صورت، 6 پله با طول $7/7$ سانتیمتر و ارتفاع 11 سانتیمتر برای هر پلکان به دست آمد. نمای جانبی شبیه سرریز در شکل (1) قابل مشاهده است. پلکانها از جنس پلکسی گلاس ساخته شدند. قسمت منحنی پیوند شکل بالادست پلکانها به صورت $y = -0.068x^{1.85}$ و از جنس ورق طلق ساخته شد. مشخصات شبیه های هیدرولیکی ساخته شده در جدول (1) آمده اند.

عرض نهر پایه دار موجود در آزمایشگاه 50 سانتی متر و ارتفاع نهر پایه دار در 3 متر اول معادل 100 سانتی متر و در 5 متر مابقی معادل 50 سانتی متر است. دبی جریان به وسیله ی سرریز مثلثی 90 درجه واسنجی شده تعیین گردید. نمای نهر پایه دار و همچنین نقاطی که در آنها عمق آب برداشت شده در شکل (2) نمایان است:

جریان دارای شکل و حالت مشخصی بر روی سرریز نمی باشد.

استهلاک کارمایه در سرریزهای پلکانی

چانسون (2001) با استفاده از معادله ارائه شده برای شیب شکن قائم، معادله زیر را برای تعیین استهلاک کارمایه از روی سرریزهای پلکانی در وضعیت جریان ریزشی ارائه کرد:

(1)

$$\frac{\Delta H}{H_1} = 1 - \frac{0.54 \left(\frac{V_c}{h}\right)^0 . 275 + 17.5 \left(\frac{V_c}{h}\right)^{-0.55}}{1.5 + \frac{H_{dam}}{V_c}}$$

با فرض تشکیل جریان یکنواخت قبل از پایان طول سرریز، عمق و سرعت جریان به وسیله ی معادله ی اندازه حرکت محاسبه شده و میزان افت کارمایه در وضعیت غیرریزشی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

(2)

$$\frac{\Delta H}{H_1} = 1 - \frac{\left(\frac{C_f}{8\sin\alpha}\right)^{\frac{1}{3}} \cos\alpha + \frac{1}{2} \left(\frac{C_f}{8\sin\alpha}\right)^{\frac{2}{3}}}{\frac{2}{3} + \frac{H_{dam}}{V_c}}$$

مواد و روشها

شبیه هیدرولیکی

کلیه سازه های هیدرولیکی مجاری روباز شامل سرریزها، روزنه ها، سرسره ها، دریچه ها، حوضچه های آرامش و سایر سازه های مستهلک کننده کارمایه جنبشی، نظیر آبراهه ها، تبدیلها و سایر ابنیه ی هیدرولیکی دیگر با کاربرد قانون فرود شبیه سازی می شوند. طبق این قانون بده به صورت زیر محاسبه می شود:

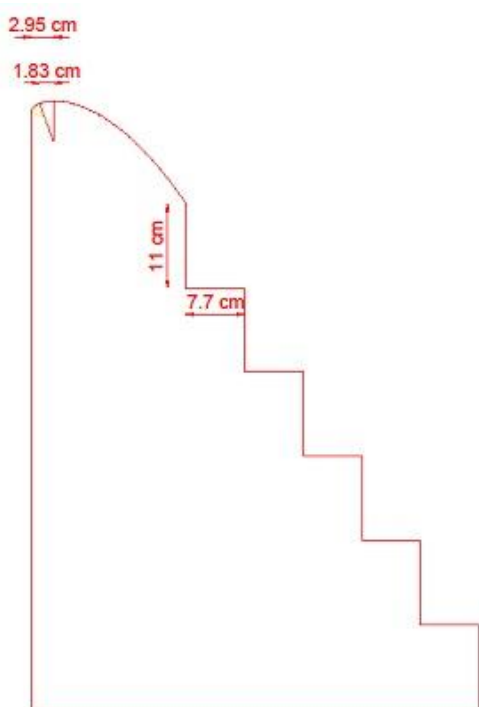
(3)

$$Q_r = u_r A_r = L_r^{\frac{5}{2}} = \left(\frac{L_p}{L_m}\right)^{\frac{5}{2}}$$

با توجه به این که بده طرح 30 لیتر بر ثانیه (برای شبیه) فرض گردید، و همچنین مقیاس شبیه که در نظر گرفته شد، بده طرح برای نمونه اصلی¹ برابر با 3000 مترمکعب بر ثانیه به دست آمد. نیمرخ تاج

$$v = \frac{Q}{by} = \frac{q}{y} \quad (7)$$

برای ارتفاع سیال نیز همان بار آبی در نقطه 1 را به عنوان ورودی در نظر گرفتیم. عمق اولیه و ثانویه جهش آبی را، در آزمایشهایی که جهش آبی رخ می‌داد، از خروجی برنامه استخراج کردیم. در شکل (5) نمودار عمق آب در صفحه ی XZ آورده شده است. برای بررسی آشفستگی و تلاطم جریان از شبیه E-k استفاده کردیم.



شکل (1) - نمای جانبی شبیه سرریز

نقطه 1: بار آبی آب در فاصله $\frac{P}{\sigma}$ تاج سرریز
 نقطه 2: بار آبی آب روی تاج سرریز
 نقطه 3: عمق اولیه‌ی جهش آبی
 نقطه 4: عمق ثانویه‌ی جهش آبی
 نقطه 5: عمق آب در انتهای نهر پایه دار (برای اندازه گیری بده سرریز مثلی)

آزمایشها با بده های متفاوت در مورد شبیه ها انجام پذیرفت. در بده های کم وضعیت جریان در سرریزهای پلکانی ریزشی و با افزایش بده جریان به وسیله‌ی شیر تنظیم، وضعیت ریزشی به تدریج تبدیل به وضعیت غیرریزشی می گردید و مشاهدات حین آزمایشها یادداشت می شدند. در بده های کم جهش آبی رخ نمی داد. برای نقاط 2، 3 و 4 کارمایه کل، اعداد رینولدز و فرود را به دست آوردیم و افت کارمایه را بین نقاط 2 و 3، که مربوط به افت به وجود آمده روی پلکانها می باشد، محاسبه کردیم. برای به دست آوردن کارمایه رابطه‌ی کارمایه کل را به کار بردیم:

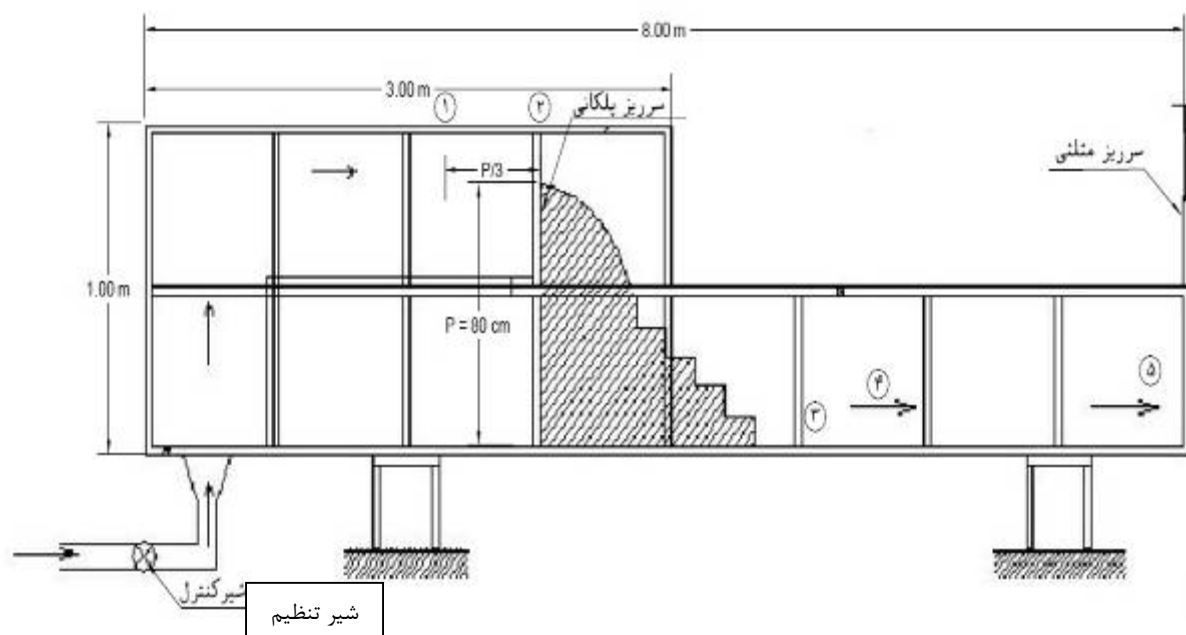
$$E = y + \frac{v^2}{2g} + z \quad (6)$$

شبیه ریاضی Flow-3D

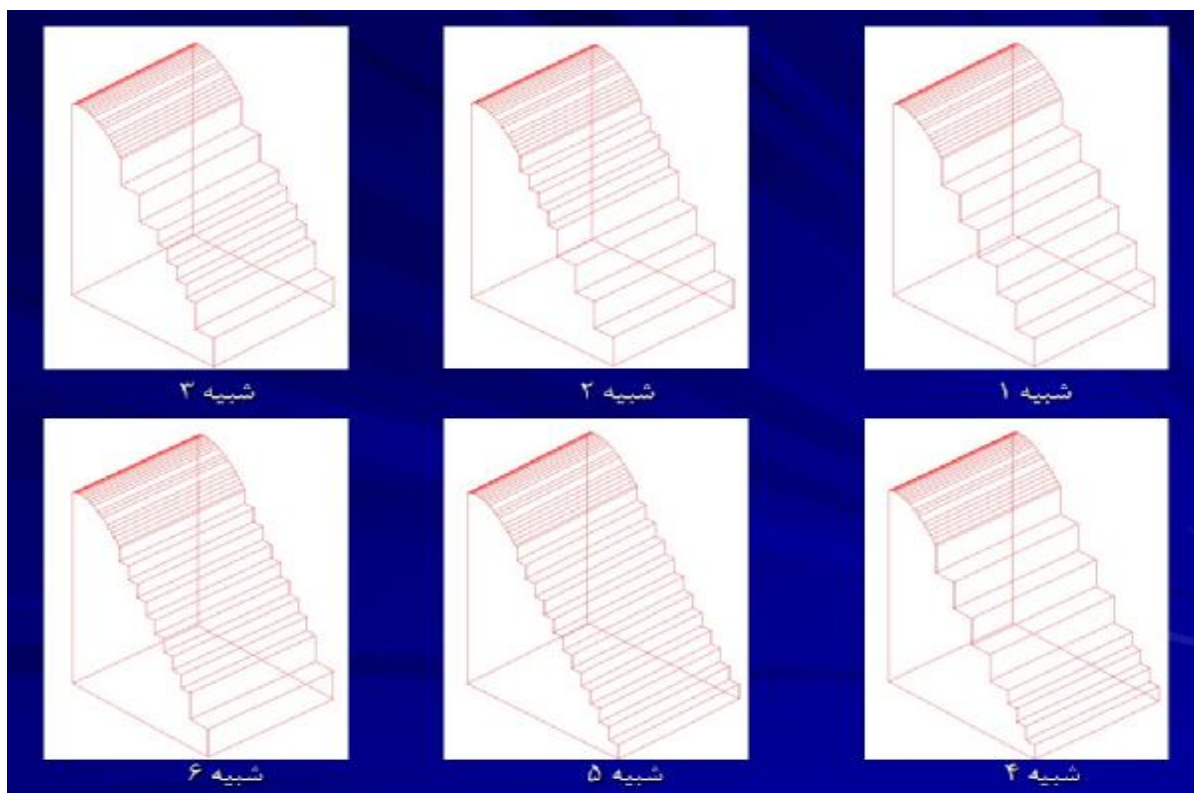
با توجه به این که برای کار با نرم افزار flow-3d به شبیه سه بعدی (دارای حجم) نیاز است، ابتدا تمامی 6 شبیه مورد نظر در محیط Autocad رسم گردیده و به جسم صلب سه بعدی تبدیل شدند. در شبیه اول تغییری در هندسه پله ها ایجاد نگردید، و این شبیه در واقع به عنوان شاهد برای مقایسه با سایر شبیه های دیگر در نظر گرفته شد. نمای سه بعدی تمامی شبیه ها در شکل (3) آورده شده است. شبکه بندی و شرایط مرزی برای شبیه سرریز در شکل (4) مشاهده می گردند. برای هر کدام از شبیه ها و هر آزمایش 1 شبیه ساز¹ به برنامه اضافه کرده و داده های ورودی را برای هر کدام از آزمایشها وارد کردیم. ورودی برنامه شامل سرعت مشخصه² و ارتفاع سیال می باشند. سرعت مشخصه طبق رابطه ی زیر تعریف می شود:

¹ -simulation

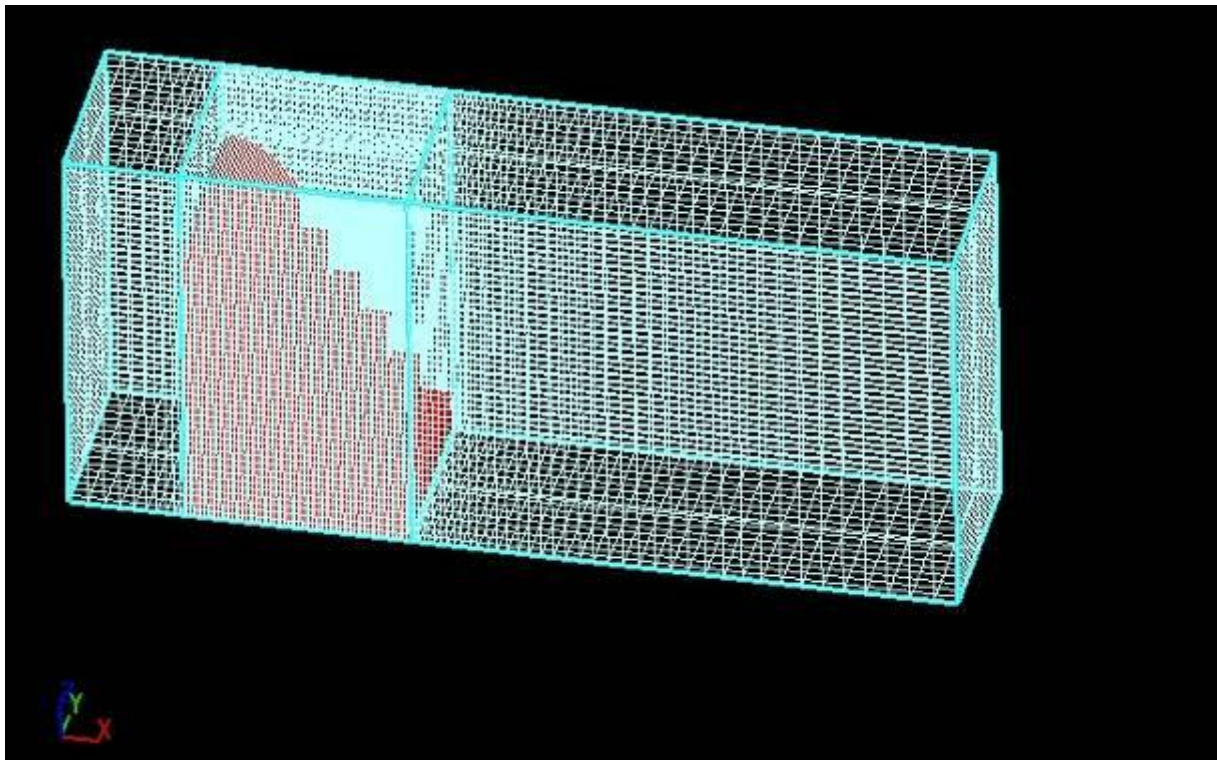
² -specified velocity



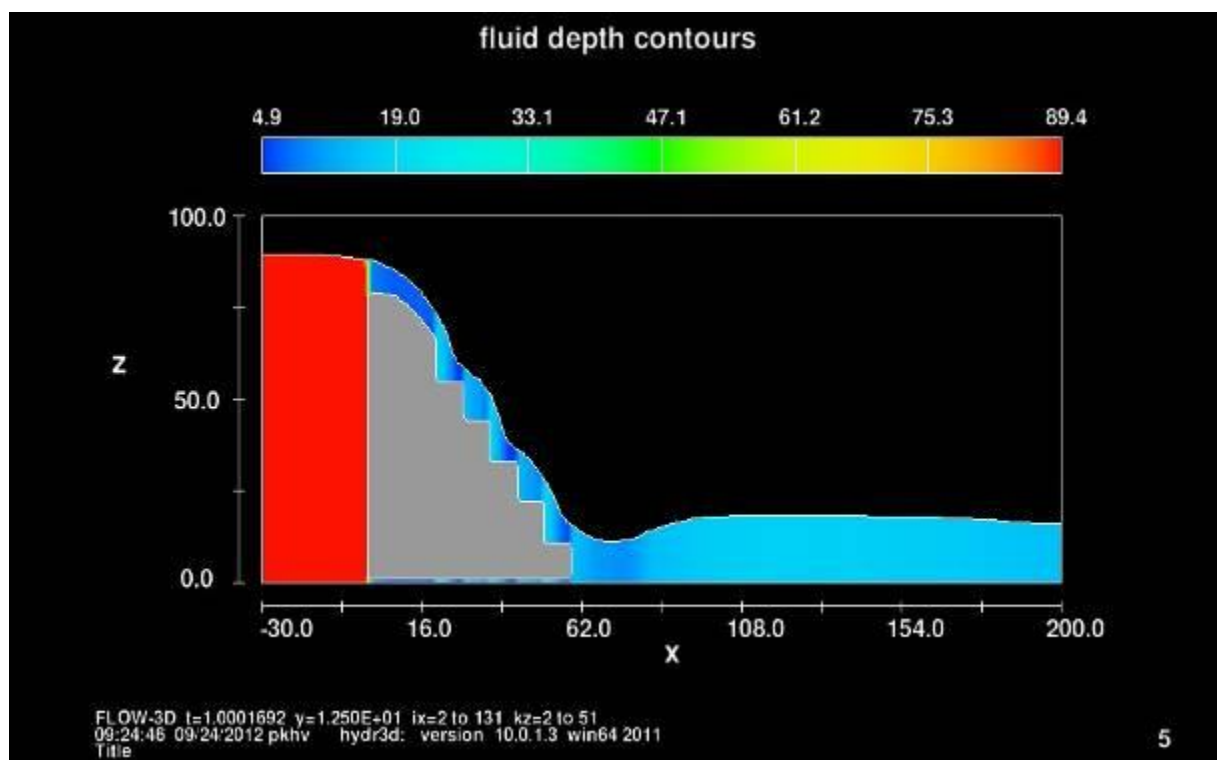
شکل (2) - نمای نهر پایه دار آزمایشگاهی



شکل (3) - نمای سه بعدی شبیه ها



شکل (4) - شبکه بندی شبیه



شکل (5) - عمق جریان در صفحه XZ

جدول (1) - مشخصات شبیه های آزمایش شده

| ردیف | نام شبیه | توضیحات |
|------|----------|--|
| 1 | شبیه 1 | دارای شش پلکان هر کدام به ارتفاع 11 و طول 7/7 سانتی متر . |
| 2 | شبیه 2 | دو پلکان با نصف ابعاد پلکان شبیه 1 (ارتفاع 5/5 و طول 85/3 سانتی متر) روی دو پلکان اول و دوم (یک سوم ابتدایی شبیه 1) نصب شدند. |
| 3 | شبیه 3 | دو پلکان با نصف ابعاد پلکان شبیه 1 (ارتفاع 5/5 و طول 85/3 سانتی متر) روی دو پلکان سوم و چهارم (یک سوم میانی شبیه 1) نصب شدند. |
| 4 | شبیه 4 | دو پلکان با نصف ابعاد پلکان شبیه 1 (ارتفاع 5/5 و طول 85/3 سانتی متر) روی دو پلکان پنجم و ششم (یک سوم انتهایی شبیه 1) نصب شدند. |
| 5 | شبیه 5 | شش پلکان با نصف ابعاد پلکان شبیه 1 (ارتفاع 5/5 و طول 85/3 سانتی متر) روی هر شش پلکان شبیه 1 نصب شدند. |
| 6 | شبیه 6 | چهار پلکان با نصف ابعاد شبیه 1 (ارتفاع 5/5 و طول 85/3 سانتی متر) روی پلکان های اول، دوم، سوم و چهارم (یک سوم ابتدایی و میانی) شبیه 1 نصب شدند. |

نتایج و بحث

نتایج شبیه فیزیکی

آن با افزایش بده تا 33 لیتر بر ثانیه، روند تغییرات افت کارمایه بین نقاط 2 و 3 کاهش یافته و به 0/75 متر می-رسد، و در انتها نیز ثابت می ماند (شکل 9).

5- با افزایش بده تا 28 لیتر بر ثانیه افت کارمایه با افزایش از 0/7 متر به 0/76 متر می رسد، و پس از آن تا بده 37 لیتر بر ثانیه کمی کاهش یافته و به 0/75 متر می رسد؛ در انتها نیز کمی افزایش یافته و به 0/76 متر می رسد (شکل 10).

6- در کل با افزایش بده، افت کارمایه کاهش یافته و از 0/82 به 0/785 متر می رسد (شکل 11).

نتایج شبیه ریاضی

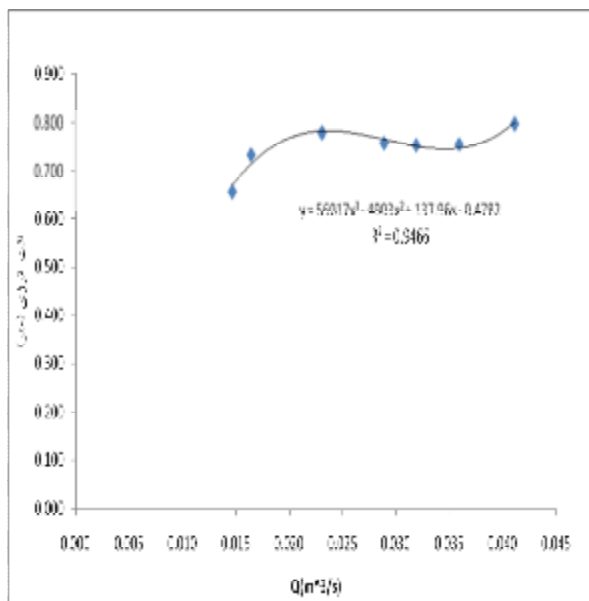
در شکل (12) مقایسه ی بین نتایج افت کارمایه شبیه ریاضی و فیزیکی آورده شده است. در کل مشاهده شد که نتایج شبیه ریاضی و فیزیکی یکسان می باشند. تنها بطور متوسط داده های افت کارمایه شبیه ریاضی 3/83% Flow3d بیشتر از داده های مشابه در شبیه هیدرولیکی می باشند.

با تحلیل نمودارهای افت کارمایه بین نقاط 2 و 3 نسبت به بده برای 6 شبیه نکات زیر قابل توجه می باشند:
1- با افزایش بده تا حدود 23 لیتر بر ثانیه، افت کارمایه افزایش یافته و به 0/75 می رسد؛ پس از آن تا بده 33 لیتر بر ثانیه، افت کارمایه کاهش یافته و به 0/7 متر می رسد؛ در انتها نیز افت کارمایه افزایش یافته و به 0/8 متر می رسد (شکل 6).

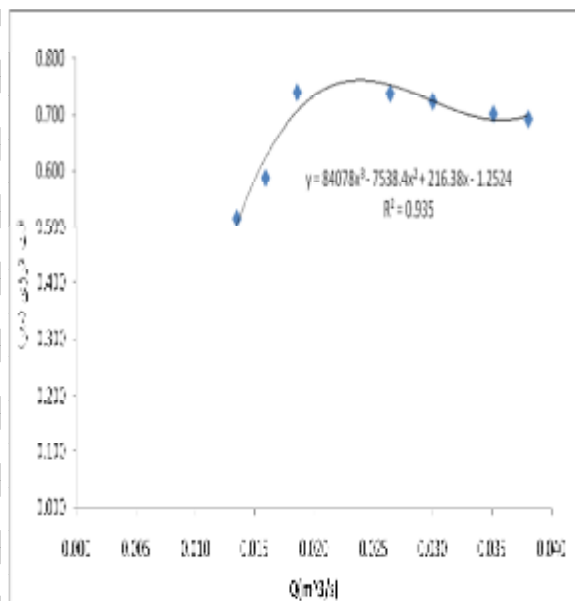
2- با افزایش بده تا حدود 23 لیتر بر ثانیه، افت کارمایه افزایش یافته و از 0/5 متر به 0/75 متر می رسد؛ پس از آن، افت کارمایه کمی کاهش یافته و به 0/7 می رسد و تا انتها ثابت باقی می ماند (شکل 7).

3- افت کارمایه تا بده 35 لیتر بر ثانیه، با افزایش از 0/75 به 0/78 متر می رسد؛ پس از آن نیز مقدار افت کارمایه ثابت باقی می ماند (شکل 8).

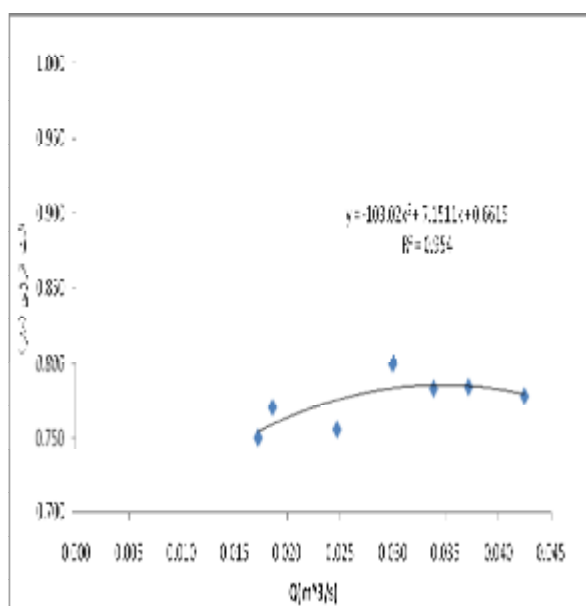
4- با افزایش بده تا 22 لیتر بر ثانیه، افت کارمایه کل افزایش یافته و از 0/74 به 0/785 متر می رسد. پس از



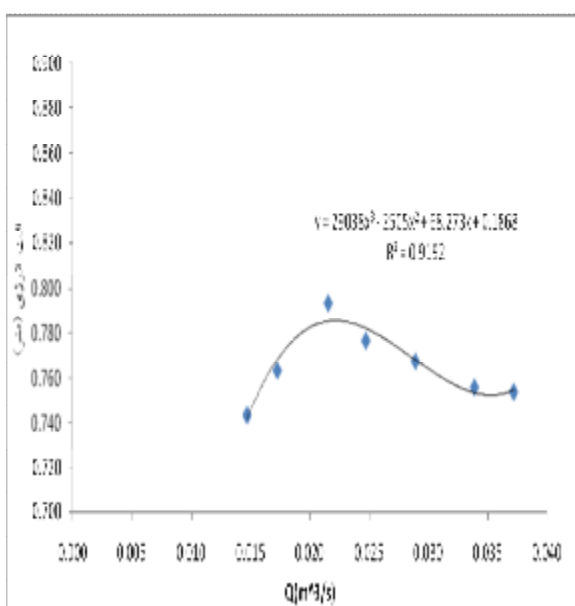
شکل (7) - منحنی تغییرات افت کارمایه بین نقاط 2 و 3 نسبت به بده (شبهه 2).



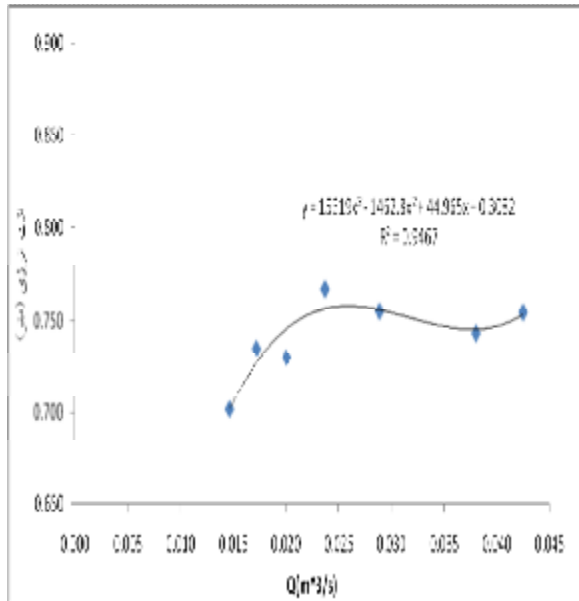
شکل (6) - منحنی تغییرات افت کارمایه بین نقاط 2 و 3 نسبت به بده (شبهه 1).



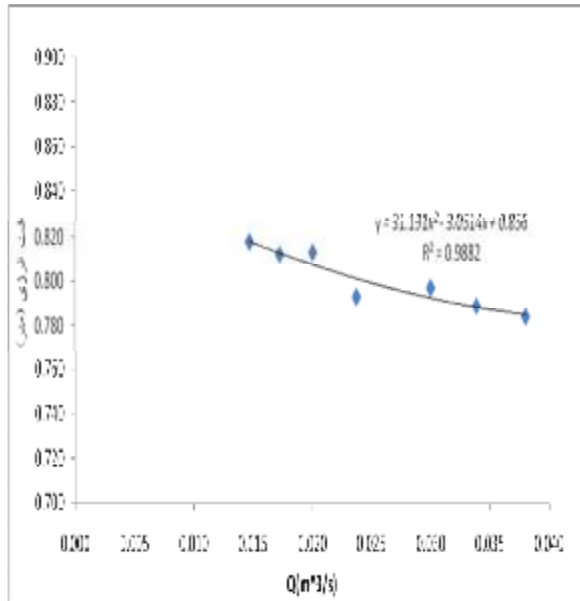
شکل (9) - منحنی تغییرات افت کارمایه بین نقاط 2 و 3 نسبت به بده (شبهه 4).



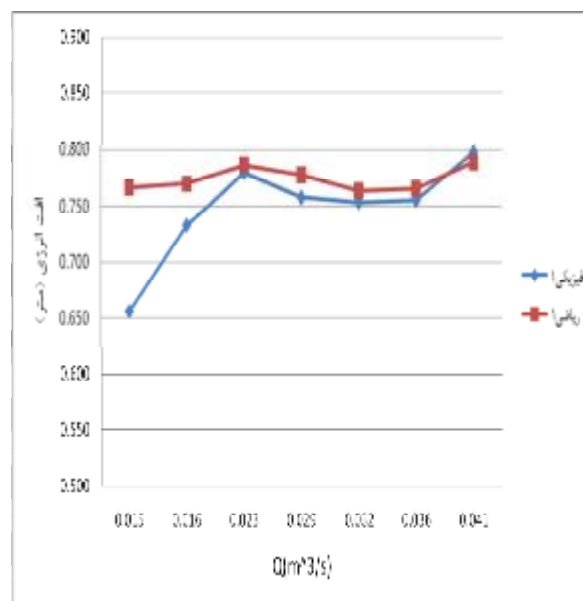
شکل (8) - منحنی تغییرات افت کارمایه بین نقاط 2 و 3 نسبت به بده (شبهه 3).



شکل (11) - منحنی تغییرات افت کارمایه بین نقاط 2 و 3 نسبت به بده (شبهه 6).



شکل (10) - منحنی تغییرات افت کارمایه بین نقاط 2 و 3 نسبت به بده (شبهه 5).



شکل (12) - مقایسه ی نتایج شبیه ریاضی و شبیه فیزیکی 1

1- شبیه 6 که در آن شکست پله ها در $\frac{1}{4}$ اول و دوم انجام گرفته است، بیشترین افت کارمایه را ایجاد کرده و مقدار این افت حتی از شبیه پنجم، که شکستن پله ها در آن بطور کامل می باشد نیز بیشتر است؛ به عبارتی، دو پله ی انتهایی با طول صفحه ی بیشتر در شبیه 6 نقش بیشتری در کاهش کارمایه جریان داشته اند.

نتیجه گیری

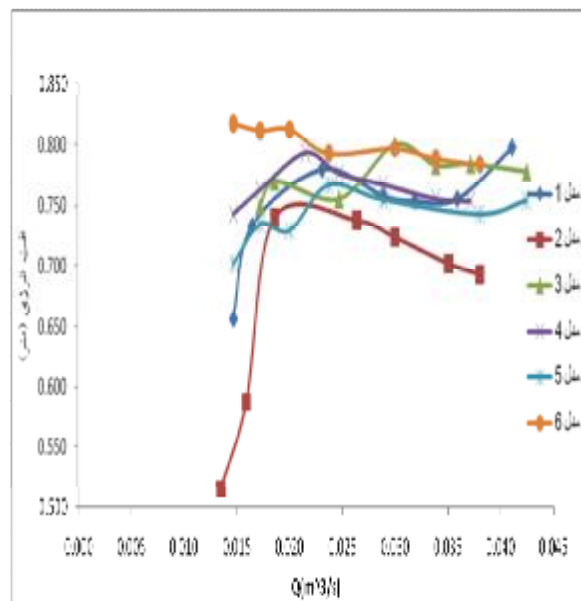
منحنی مقایسه ای افت کارمایه 6 شبیه در شکل (13) آورده شده است. اگر شبیه 1، که دارای شش پلکان بوده و هیچ پله ای دچار شکست نشده است را به عنوان مبنا در نظر بگیریم، می توان نتیجه گرفت که:

4- افت کارمایه در شبیه 5 به رغم شکست کلیه‌ی پله‌ها، بویژه در بده‌های بالا کمتر از شبیه 1 به عنوان مبنا می‌باشد. به عبارتی، با شکستن بیشتر پله‌ها شرایط برای کاهش افت بیشتر کارمایه فراهم نمی‌شوند، بلکه الگوی شکست پله‌ها بر افت بیشتر موثر است؛ از جمله الگوی شکست پله‌های میانی در این تحقیق بیشترین نقش را در کاهش کارمایه داشته‌اند.

5- در شبیه‌های 4 و 5، که شکستن پله‌ها به سمت انتهای سرریز و ابتدای حوضچه آرامش سوق پیدا کرده است چندان در مورد افت کارمایه جریان موثر نبوده، حتی میزان افت کارمایه در آنها در بده‌های بالا از شبیه 1 (نمونه شاهد) هم کمتر است. بنابراین، هیچ توصیه‌ای به انتقال شکست پله‌ها به انتهای سرریز و ابتدای حوضچه آرامش نمی‌شود.

2- شبیه 2، که در آن شکست پله‌ها در $\frac{1}{3}$ اول انجام شده، دارای کمترین افت کارمایه است، بویژه در بده‌های کم که میزان افت کارمایه ناچیز است. به عبارتی، می‌توان گفت هر قدر شکستن پله‌ها به ابتدای سرریز نزدیکتر باشد، نقش کمتری در کاهش افت کارمایه خواهند داشت.

3- در بده‌های بالا میزان افت در شبیه‌های 3 و 6 تقریباً برابری می‌کند؛ بنابراین، در صورت نیاز به کاهش کارمایه در پلکانها و به منظور صرفه‌جویی در منابع، کافی است از شبیه 3 با شکستن پله‌ها در $\frac{1}{3}$ میانی استفاده شود.



شکل (13) - منحنی تغییرات افت کارمایه بین نقاط 2 و 3 نسبت به بده برای 6 شبیه.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات و راهنمایی‌های کلیه افرادی که ما را در تهیه این مقاله یاری نموده‌اند، تقدیر و قدردانی می‌نمایم: آقای دکتر عادل پور و همچنین سرکار خانم مهندس حبیبی مسوول آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد مرودشت و جناب آقای مهندس

در پایان تنها توصیه شکست پله‌های الگوی شبیه 3 می‌باشد که در آنها تنها دو پله‌ی میانی دچار شکست شده‌اند و از نظر توجیه اقتصادی با شبیه 6 رقابت کرده، و از نظر میزان افت بویژه در بده‌های بالا، دارای افتی برابر با شبیه 6 می‌باشد.

- changes in dimension and hydraulics of stepped spillways for maximization energy dissipation. *World Applied Science Journal* 18(2): 261-267.
7. Chanson, H. 1994. Hydraulic design of stepped channels and spillways. The University of Queensland. Report CH43/94.
 8. Chanson, H. 2001. The Hydraulics of stepped chutes and spillways. Baklema, Lisse, The Netherlands.
 9. Chen, Q., Dai, G. and Iiu, H. 2002. Volume of fluid model for turbulence numerical simulation of stepped spillway overflow. *J. Hydraul. Eng.*, 128(7), 683-688.
 10. Rajaratnam, N. 1990. Skimming flow in stepped spillway. *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 116(5): 587-591.
 11. Sorensen, R.M. 1985. stepped spillway hydraulic model investigation. *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 111(12): 1461-1472.
 12. Tabbara, M., J. Chatila and R. Awwad. 2005. Computational simulation of flow over stepped spillways. *Journal of Computer and Structures*, 83: 2215-2224.
 13. Flow3d help. Ver. 10.
- محمد صبوری که در اجرای شبیه ریاضی کمال همکاری را با این جانب داشته اند.
- منابع**
1. رستمی، م.، م. تلخابلو، و ع. اردشیر. (1384) بررسی میزان پراکنش انرژی به وسیله ی سرریزهای پلکانی با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS. نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
 2. رستمی راوری، الف. (1385) بررسی افت نسبی انرژی در مدل سرریزهای پلکانی. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
 3. موسوی جهرمی، ح، و س. حیدری ارجلو. (1387) بهینه سازی تعداد پلکان در سرریزهای پلکانی با استفاده از مدل های فیزیکی. کمیته تخصصی رودخانه و رسوب، سازمان آب و برق خوزستان.
 4. نادری راد، ا. (1386) مقایسه استهلاك انرژی در سرریز پلکانی با سرریز اوجی (صاف) بوسیله روش عددی VOF. سومین کنگره ملی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز.
 5. وفاداری، ب. (1383) بررسی تاثیر ابعاد و شیب معکوس پله در استهلاك انرژی و تغییر رژیم جریان سرریزهای پلکانی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف.
 6. Abbasi, S., and Kamanbedast, A.A. 2012. Investigation of effect of

