بررسی استهلاک کارمایه در شبیه سرریزهای پلکانی با شیب معکوس

سید محمدرضا ترابی [*1]، امین رستمی راوری [2]، سیداحمدرضا ترابی [3]، فردین بوستانی [4]، امیر روشن [5]

تاریخ دریافت: 91/3/17 تاریخ پذیرش 92/1/16

چکیده

سرریزهای پلکانی یکی از انواع سرریزها می‌باشند که بر پایه‌ی بررسیهای انجام گرفته نقش موثری در استهلاک کارمایه دارند. در این تحقیق با استفاده از 12 گروه آرایش متفاوت، اثر شیبهای معکوس در پله های این نوع از سرریزها بررسی شدند. این آرایشها با استفاده از یک نمونه‌ی آزمایشگاهی از جنس پلکسی‌گلاس با ارتفاع تاج 72 سانتیمتر از کف نهرپایه‌دار تحقیقاتی و در بده‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهندکه، با افزایش بده و افزایش شمار پلکانها، و در نظر گرفتن شیب معکوس پلکانها، افت کارمایه افزایش یافته است. با این حال، نمی‌توان شمار موانع و یا شیب پلکانها را به‌صورت نامحدود، و بدون توجه به مسائل هیدرولیکی جریان افزایش داد، چه، بالاترین میزان افت کارمایه لزوماً در بیشینه‌ی شمار پلکانهای شیب دار رخ نداده است.

واژه‌های کلیدی: سرریز پلکانی، افت کارمایه، نمونه‌ی فیزیکی، شیب معکوس پلکان.

[1]- کارشناس ارشدگروه آبیاری و زهکشی و منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد و شیراز.
[2] - استادیار و دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
[3] - کارشناس ارشدگروه آبیاری و زهکشی و منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد و شیراز.
[4] - استادیار و دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
[5] - دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع آب ، دانشگاه علوم و تحقیقات واحد تهران
*- نویسنده مسئول: smr_torabi@yahoo.com

مقدمه

سرریز پلکانی متشکل از پله‌هایی است که از نزدیک تاج سرریز شروع و تا پاشنه پایین دست ادامه دارند. استفاده از سرریز پلکانی از زمانهای قدیم رایج بوده است، لکن به‌دلیل تأثیر قابل ملاحظه پلکانها بر میزان استهلاک کارمایه جریان، در سالهای اخیر توجه به این نوع سرریزها بیشتر شده است. این امر باعث کاهش هزینه‌های اجرایی سرریز پلکانی می‌شود. همچنین شناخت دانش و فن جدید استفاده از بتن غلطکی[1]، و همخوانی این روش ساختن با سرریز یاد شده، باعث کاربرد وسیع سرریزهای پلکانی در شمار زیادی از طرحها گردیده است.

تحقیقات نشان می‌دهند که میزان استهلاک کارمایه در سرریزهای پلکانی بیشتر از سرریزهای صاف (بدون پلکان) با همان ابعاد می‌باشد. میزان افت کارمایه زیاد ایجاد شده به‌وسیله‌ی پلکانها باعث می‌گردد تا عمق حفاری حوضچه آرامش پایین دست سرریز، و ارتفاع دیواره‌های جانبی آن، به میزان قابل توجهی کاهش یافته و از این نظر صرفه‌جویی اقتصادی زیادی در بنای سد به‌وجود آید. به عقیده چانسون و تومبرز(2001) سرریزهای پلکانی از زمانهای بسیار قدیم (بیش از 3000 سال) مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند، ولی تاکنون برخی جنبه‌های هیدرولیکی مربوط به آنها ناشناخته باقی مانده‌اند. در دهه‌های اخیر، شناخت دانش و فن جدید ساختن سدها با کاربرد مصالح بتن غلطکی، توسعه و توجه به این سرریز را بیشتر کرده است، زیرا ساختن سرریزهای پلکانی با این نوع دانش و فن سازگاری مناسبی داشته، و همین امر موجب شده است تا ساختن سرریزهای پلکانی از اهمیت بیشتری برخوردار گردد.

همان‌گونه که اشاره شد، در سرریزهای پلکانی، پله ها با ایجاد زبریهای بزرگ، باعث افت کارمایه زیادی گردیده، و موجب حذف یا کاهش زیادی در ابعاد سازه‌ی مستهلک کننده کارمایه در پایاب خواهند گردید. از طرفی، به دلیل بهینه بودن، ساختن سدها با مصالح بتن غلطکی از لحاظ سرعت بیشتر اجرا و صرف هزینه های کمتر نسبت به سدهای خاکی و بتنی معمولی، اجرای بسیاری از سدهای پلکانی با کاربرد روش بتن غلطکی انجام گردیده است.

منظور از نمونه‌ی فیزیکی و هیدرولیکی ساختن نمونه ای از طرح واقعی ولی با ابعاد کوچکتر است، به‌طوری که رفتارهای هیدرولیکی پویایی در نمونه‌ی کوچک شده منطبق با نمونه‌ی واقعی باشد. در این مقاله، به نمونه‌ی واقعی "اصل"[2] و به نمونه‌ی کوچک شده اختصاراً "شبیه"[3] اطلاق خواهد شد. مسلماً نمونه‌های فیزیکی-هیدرولیکی در مقایسه با شبیه‌های ریاضی دارای مزایای کمتری می باشند، ولی از آن‌جا که رفتار هیدرولیکی در نمونه‌ی فیزیکی به اصل شباهت بیشتری داشته، و جریانهای سه بعدی را می توان به راحتی شبیه سازی کرد، هنوز نمونه‌های فیزیکی-هیدرولیکی در علم هیدرولیک کاربرد وسیعی دارند. علاوه بر این، بسیاری از پدیده های هیدرولیکی دارای آن چنان پیچیدگی می‌باشند که روابط ریاضی حاکم یا پیچیده بوده، یا حل آنها هنوز امکان پذیر نیست؛ در نتیجه، روش تحلیلی برای آنها در حال حاضر وجود ندارد.

در نمونه‌های کیفی هدف تنها بررسی الگو و رفتار جریان می باشد، و ممکن است کمیتهای به دست آمده در شبیه برابر کمیتهای به دست آمده در اصل نباشند، و اصولاً در این نمونه‌ها، اگر کمیتی اندازه گیری می شود صرفاً به منظور تجزیه و تحلیل کیفی است. دو وضعیت جریان (ریزشی و غیر ریزشی) با شیوه‌ی متفاوت افت کارمایه در سرریزهای پلکانی اتفاق می افتد. وضعیت غیرریزشی در بده‌های بالا رخ می دهد؛ بنابراین، طراحی سرریزهای پلکانی بر اساس وضعیت غیرریزشی انجام می‌گیرد. به همین علت، بیشتر کارهای تحقیقاتی انجام شده در مورد هیدرولیک سرریزهای پلکانی اختصاص به بررسی وضعیت جریان غیرریزشی داشته است.

در این تحقیق، به دنبال یافتن تاثیر شیب معکوس بر استهلاک کارمایه در سرریزهای پلکانی بودیم این‌کار در جای خود کاری جدید و ارزشمند است.

[1]- roller compacted concrete (RCC)

[2]- proto type

[3]- model

زیرا تاثیر شیب معکوس بر روی پلکانها تا قبل از این با زاویه‌ی تا 10 در جه مورد مطالعه قرار گرفته بود، در صورتی که در این‌جا شیب معکوس با زاویه‌ی 15 درجه بررسی شد،و نتایج رضایت بخشی نیز حاصل گردیدند.گفتنی است که در این تحقیق، آرایش نامتقارن را برای چیدمان پلکانها در نظر گرفتیم. این انتخاب به دلیل تاثیر بیشتر پله های نزدیک به تاج سرریز بر استهلاک کارمایه در سرریزهای پلکانی است (رستمی1384).

بررسی پیشینه تحقیق

چانسون (1994) با مطالعه‌ی نمونه‌های مختلفی از سرریزهای سد مونکسویل، که در آمریکا ساخته شده است، به نکات مهمی رسید.این سرریز به صورت پلکانی طراحی گردیده و پلکانها بر روی منحنی معیار اوجی سرریز قرار داده شدند، بدین صورت که آستانه‌ی انتهایی پلکانها بر نیمرخ سرریز اوجی منطبق گردید. از آن جا که عملکرد این گونه سرریزها (پلکانی) به خوبی مورد بررسی و مطالعه قرار نگرفته بود، بنابراین، شرکت مهندسی طراح سرریز، سفارش ساختن نمونه‌ی فیزیکی را به آزمایشگاه فریتز[1] در دانشگاه لی‌های[2] داد .طی مطالعات مرحله‌ی شناخت طرح ،گزینه‌های مختلفی برای استهلاک کارمایه جریان به صورت زیر بررسی گردید:

الف: ساخت حوضچه‌ی آرامش معیار پایین دست سرریز جهت استهلاک کارمایه.

ب: ساختن سرریز جامی شکل جهت انحراف و دور کردن جریان از پنجه سرریز.

ج: ساخت سرریز منحنی پیوند پلکانی جهت استهلاک کارمایه که به حوضچه آرامش پایین دست نیاز نداشت.

جریان بر روی سرریز پلکانی بطور کامل هوادهی شده و استهلاک کارمایه زیادی به وقوع می‌پیوست. بررسی میزان هزینه‌های اجرایی گزینه سوم نشان داد که صرفه‌جویی زیادی در هزینه‌ها نسبت به دو گزینه قبلی انجام خواهد شد.

راجاراتنام (1990) رابطه(1) را برای معرفی ضریب اصطکاک در سرریزهای پلکانی با وضعیت جریان غیرریزشی ارائه نمود:

$$C_f = \frac{2y_n^3 g \sin\alpha}{q^2} \qquad (1)$$

که در آن α شیب سرریز، g شتاب گرانش، q بده در واحد عرض سرریز و y_n عمق بهنجار می‌باشد.

کریستودولو (1993) آزمایشها در آزمایشگاه هیدرولیک کاربردی دانشگاه ملی آتن انجام شده است. پلکانها طوری طراحی شدند که نوک (آستانه) انتهایی آنها بر نیمرخ معیار منحنی پیوند منطبق گردید. کریستودولو نتایج آزمایشهای خود، و همچنین سورنسن (1985) را به صورت شکل (2-4) ارائه نمود. تأثیر شمار پلکانها بر استهلاک کارمایه مشهود است، و به ازای یک مقدار y_c/h ، مقدار افت کارمایه با افزایش شمار پلکانها، افزایش نشان داده، و تأثیر شمار پلکان در بده‌های بالا، بیشتر می‌گردد.

احمدیار و همکاران (1372) تحقیق خود را با نمونه‌ی فیزیکی سرریزهای پلکانی شیب‌دار انجام دادند. با انتخاب چهار گزینه از ارتفاع پله‌های 20، 24، 30، 40 میلیمتر، و تغییر چهار زاویه‌ی کف پله 10، 15، 20، 25 درجه، نهایتاً 16 گزینه نمونه‌ی فیزیکی سرریز پلکانی و مورد آزمایش قرار گرفتند. بر اساس بررسیها و تحلیلهای انجام گرفته در مورد اندازه‌گیریها، نتایج زیر به‌دست آمدند:

1- با افزایش بده‌ی جریان، میزان افت کارمایه کاهش می‌یابد.

2- بر اثر پلکانی شدن سرریز، میزان قابل توجهی از کارمایه مستهلک می‌گردد، در نتیجه، ابعاد حوضچه‌ی آرامش مورد نیاز کاهش می‌یابد.

3- با افزایش زاویه‌ی کف پله، درصد افت کارمایه کاهش می‌یابد؛ لذا، در شیبهای عمومی بیشتر از 1:1، شیب‌دار کردن کف پله‌ها اثری مثبت میزان استهلاک کارمایه ندارد. استهلاک کارمایه در سرریزهای پلکانی صاف بین 77 تا 97 درصد، و برای پله‌هایی با شیب 25 درجه بین 70 تا 90 درصد متغیر بود.

[1]- Fritz
[2]- Lehigh

مواد و روشها

کلیه‌ی مراحل انجام این پایان نامه در آزمایشگاه هیدرولیک ، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت انجام شده است

- مشخصات نهرپایه‌دار آزمایشگاه هیدرولیک

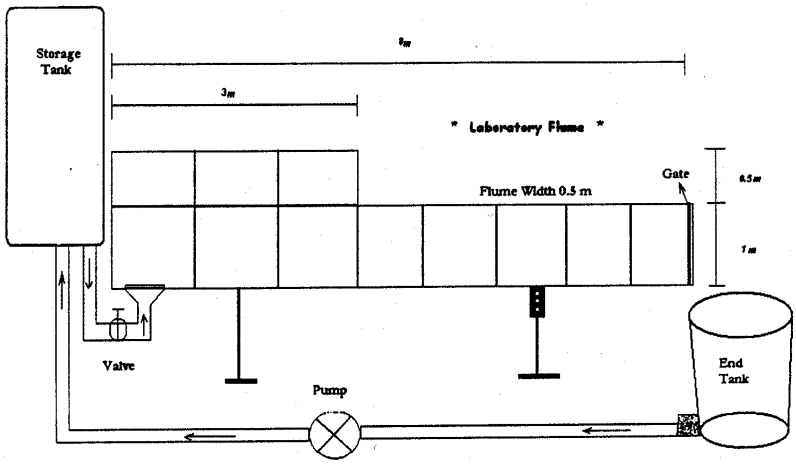
نهرپایه‌دار موجود دارای چارچوب فلزی است (شکل1)که عموماً از نبشی و قوطی ساخته شده، و همچنین دیواره های آن از جنس شیشه سکوریت با ضخامت 10 میلیمتری می باشد، که برای مشاهده آن و رفتار و خصوصیات جریان به سهولت و وضوح قابل استفاده است. کف دستگاه نیز جز یک متر اول، که صفحه‌ی فلزی است، کاملاً از جنس شیشه سکوریت با ضخامت 10 میلیمتر ساخته شده است.

درازای نهرپایه‌دار 8 متر، ارتفاع آن در 3 متر اول 1 متر، و در5 متر باقی مانده 50 سانتی متر می باشد. عرض این نهرپایه‌دار در تمام مقاطع 50 سانتیمتر می باشد.

یک میله‌ی فلزی، موازی در ارتفاع یک متری در بالای قسمت 5 متری دستگاه به عنوان شاخص جهت اندازه گیری های مورد نیاز نصب شده است.

این نهرپایه‌دار به نحوی طراحی شده است که دارای یک سامانه‌ی بسته جریان آب است ، به‌طوری که آب از ابتدای نهر، به‌وسیله‌ی یک لوله که به کف آن متصل است ، وارد نهر شده، و پس از طی طول نهر از انتهای آن به داخل یک مخزن، که حجم آن 850 لیتر است می ریزد، از این مخزن به‌وسیله‌ی یک تلمبه‌ی گریز از مرکز آب کشیده شده، و به مخزن اصلی دستگاه، که در پشت آزمایشگاه در ارتفاع 4 متری قرار دارد، برگردانده می شود. مخزن اصلی دستگاه دارای حجم 2000 لیتر است، که امکان فراهم نمودن بده را تا حداکثر 25-20 لیتر در ثانیه برای آزمایشها فراهم می نماید. برای مهارکردن بده، دو عدد شیرفلکه دریچه ای، یکی قبل از ورود جریان به داخل نهرپایه‌دار و هم بعد از تلمبه نصب شده‌اند.

برای آرام کردن جریان خروجی از لوله تغذیه کننده، یک قطعه اسفنج در ابتدای خروجی نصب شده است. در شکل(1) نمایی از نهرپایه‌دار مذکور نشان داده شده است.



شکل 1- نمای طرحواره‌ی نهرپایه‌دار آزمایشگاه هیدرولیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت.

تعیین فراسنجهای موثر بر جریان عبوری از سرریزهای پلکانی

با توجه به نوع سرریز و مطالعات صورت گرفته که به‌وسیله‌ی بیشتر محققین درمورد این سازه صورت گرفته است، عوامل و فراسنجهای مهم و مؤثر بر جریان از روی سرریزهای پلکانی به شرح زیر می باشند:

الف-خصوصیات مربوط به سیال شامل: لزجت پویایی(m)، جرم مخصوص سیال (ρ) ، و شتاب گرانش(g).

ب-خصوصیات مربوط به هیدرولیک جریان شامل : عمق جریان(y) و سرعت جریان(v).

ج-خصوصیات شکل و هندسه سرریز شامل: ارتفاع پله ها(h) ، طول پیش آمدگی پله(L) ، شمار پله ها(N) ، و ارتفاع کل سرریز (H_{dam}).

بنابراین، بطور کلی می توان تحلیل ابعادی مورد نیاز را دراین نوع سرریز به صورت زیر در نظر گرفت:

تحلیل ابعادی سرریز پلکانی تابع فراسنجهای زیر است.(رابطه‌ی2)

$$F(H_{dam}, N, L, h, v, y, g, r, m) = 0 \qquad (2)$$

بنابراین، با معلوم شدن فراسنجهای مؤثر در سرریزهای پلکانی طراحی و ن نمونه‌ها را آغاز کردیم.

شرح نمونه‌های فیزیکی ساخته شده

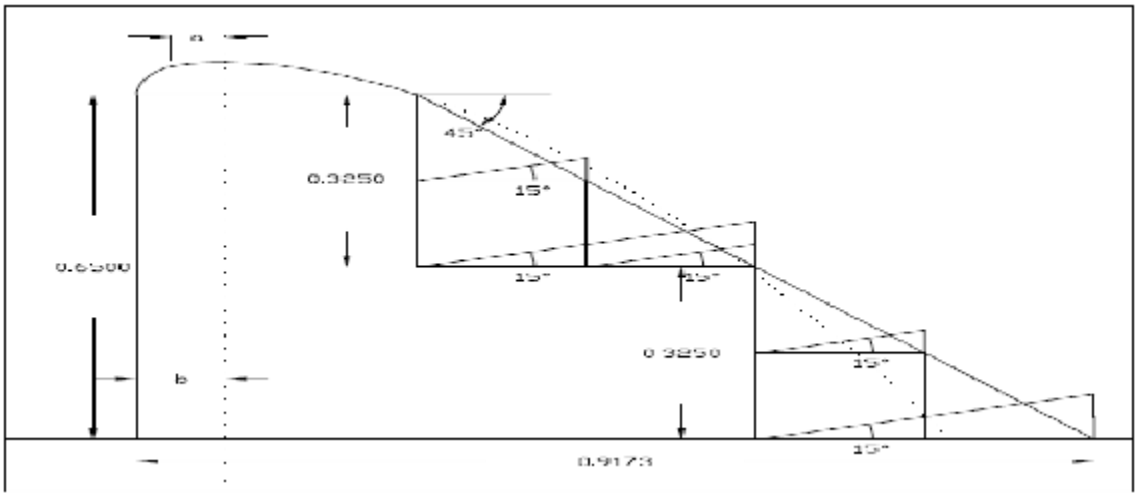
با توجه به هدف از انجام این پژوهش ، بررسی استهلاک کارمایه در نمونه‌ی سرریز های پلکانی با شیب معکوس می باشد، و با بررسیهای صورت گرفته، سرانجام تصمیم برآن شد که نمونه‌های مختلفی با زاویه پلکان معکوس15 درجه، برای انجام آزمایشها طراحی و ساخته شود.

کلیه نمونه‌های ساخته شده برای انجام این آزمایشها(شکل2) با استفاده از صفحات پلکسی گلاس با ضخامت 4 میلی متر می باشند، که به‌وسیله‌ی برنده‌ی مخصوص برش خورده، برروی یک پایه چوبی نصب شده، و برای آب بندی کردن کلیه قسمتها از چسب شیشه شفاف استفاده شده است.

تاج سرریز منحنی پیوند و ارتفاع کل سرریز دراین آزمایشها، به علت محدودیتها که وجود داشت، برابر با 72 سانتی متر در نظر گرفته شد.

گفتنی است است که ابتدا برای این سرریز ،هیچ پله ای در نظر گرفته نشد و، اندازه گیریها به‌صورت یک پلکان صاف و قائم صورت گرفت. برای مرحله‌ی بعد، ابتدا یک پله و تحت زاویه‌ی معکوس 15 درجه ، ساخته شد و با چسب به سرریز اضافه گردید، و به همین ترتیب تا به شمار 8 پله رسیدیم.

ابتدا طرح سرریز منحنی پیوند، با استفاده از نرم افزار Auto Cad طرح و ترسیم گردید. سپس، برمبنای انحنای تاج سرریز طراحی شده ، تاج سرریزی با استفاده از ورق گالوانیزه به ضخامت 2 میلی متر تهیه و بر روی ورقه‌های حبابی(foam) متصل به سازه چوبی تعبیه ونصب شد.



شکل2- برش طرحواره‌ی سرریز موردمطالعه.

سرریز مورد استفاده در تمام مراحل انجام آزمایشهای مربوط به این تحقیق در فاصله‌ی 1/5متری ابتدای نهرپایه‌دار نصب گردیده بود. ارتفاع این سرریز در تمام طول آزمایشها ثابت و برابر با 72 سانتی متر بود که در واقع همان H_{dam} می باشد. بده از طریق مخزن تغذیه و توسط یک شیر تنظیم کننده با حداقل تغییر از مقادیر

کم شروع شده و تا نزدیک حدبیشتر توان بده برای آزمایشها مورد استفاده قرار گرفت.

در این آزمایشها عمق آب در بالای سرریز به‌وسیله‌ی یک خط کش گونیایی، که بر روی جداره‌ی نهرپایه‌دار نصب شده بود، در محل ایجاد عمق بحرانی قرائت می شد، و به‌عنوان یکی از فراسنجهایی که جهت محاسبه بده‌ی عبوری قابل استفاده است، مورد توجه خاص قرار گرفت. البته بده‌ی عبوری دستگاه به‌وسیله‌ی یک سرریز مثلثی در انتهای نهرپایه‌دار محاسبه می گردید. عمق آب قبل و بعد از پرش هیدرولیکی نیز توسط یک شاخص مدرج با دقت 1 میلی متر قرائت می شد.

در مقطع اول، پس از جاری شدن جریان از روی سرریز و پلکانها ، عمق آب قبل از پرش هیدرولیکی، مخصوصاً در بده های بالا به علت ورود هوا به داخل جریان، به صورت یک جریان دوحالتی، که مخلوط "آب و هوا" می باشد، به سختی قابل اندازه گیری بود؛ لذا، به‌دلیل نوسانهای شدید سطح آب، معمولاً اندازه گیری از چند نقطه مسیر صورت گرفته و میانگین آنها مورد استفاده قرار واقع می‌شد. اندازه گیری عمق آب بعد از پرش هم، در محلی که کمی حبابهای هوا ، در جریان آب مشاهده می شدند صورت می گرفت.

معمولاً در بده های کم، چون پرش هیدرولیکی بسیار نزدیک به سرریز اتفاق می افتاد، اندازه گیری دقیق عمق اولیه پرش ممکن نبود، لذا، از عمق ثانویه پرش استفاده می‌شد.

در بده های بالا نیز چون عمق ثانویه پرش از انتهای نهرپایه‌دار خارج می شد، عمق اولیه به عنوان راهنما در نظر گرفته می شد.

شایان ذکر است که برای هرکدام از نمونه‌ها، 11 بده‌ی متفاوت مورد آزمایش قرار می گرفت. در بده‌های کم، جریان به صورت ریزشی بوده و با افزایش بده، وضعیت ریزشی به‌تدریج به غیر ریزشی تبدیل می شد، البته در این آزمایشها بار آبی سرعت بطور تقریبی قرائت می شد.

در این‌جا 12 آرایش مختلف مورد بررسی قرار گرفت، بطوری‌که در اولین آرایش از سرریز بدون پله استفاده کردیم، و در ادامه(آرایش2) با استفاده از یک سازه‌ی چوبی ، یک پله بدون شیب افزودیم. در آرایش3، برروی پله صاف موجود یک پله با شیب معکوس با زاویه‌ی 15 درجه ایجادکردیم.آرایش4 همان آرایش3 بود، منتها با یک شیب معکوس بیشتر (دو پله با شیب معکوس با زاویه‌ی 15 درجه).در آرایش5، از یک پله‌ی صاف بر روی اولین شیب معکوس درآرایش4 استفاده کردیم.آرایش6، برروی پله‌ی صاف موجود در آرایش قبل(5)، یک پله‌ی معکوس قرار گرفت. در آرایش7، یک پله‌ی صاف برروی آخرین شیب نصب شد. دراین آرایش(8)، یک شیب معکوس روی پله‌ی صاف موجود از آخرین آرایش نصب کردیم. از آرایش 9 تا 12، در هر مرحله، یک شیب معکوس به صورت نامتقارن اضافه می شد(یک پله معکوس را روی آن می چسباندیم). افزودن پله ها را از نزدیکی تاج سرریز آغاز کردیم. دلیل افزودن پله ها از نزدیکی تاج سرریز این بود که در سرریزهای پلکانی، نقش پله های نزدیک به تاج در استهلاک کارمایه، بسیار چشمگیر تر از پله های انتهایی می‌باشد. (رستمی1384) .

دراین آزمایشها، و به‌صورت زیر محاسباتی با داده برداری های ذکر شده نیز انجام می شد، مثلاً، مقدار کل کارمایه مورد نیاز برای بالا دست سرریز، یعنی H_t ، به صورت رابطه‌ی(3) محاسبه می شد:

$$H_t = H_e + H_{dam} \qquad (3)$$

در رابطه‌ی فوق، H_{dam} برابر با رقوم تاج سرریز است که با توجه به اندازه‌ی نمونه، 0/72 متر می‌باشد. برای محاسبه بده نیز از رابطه‌ی (4) استفاده گردید:

$$Q = CLH_e^{1.5} \qquad (4)$$

که در آن Q بده، C ضریب آبگذری و برابر با 1/705 ،و L طول موثر سرریز و برابر با 0/5 متر می باشد.

برای محاسبه‌ی کارمایه در پایین دست سرریز و قبل از پرش هیدرولیکی، با استفاده از اعماق مزدوج، و استفاده از روابط (5) و (6)، خواهیم داشت:

$$H_1 = y_1 + v_1^2 / 2g = y_1 + q^2/(2gy_1^2) \qquad (5)$$

$$\frac{q^2}{g} = y_1 y_2 \left(\frac{y_1 + y_2}{2}\right) \qquad (6)$$

در روابط فوق y_1 و y_2 به ترتیب اعماق اولیه و ثانویه پرش هیدرولیکی می‌باشند. افت نسبی کارمایه از طریق رابطه‌ی (7) محاسبه می‌شود:

$$\frac{\Delta H}{H_t} = \frac{H_t - H_1}{H_t} \qquad (7)$$

نکته : کلیه نمونه‌ها، تحت زاویه 15 درجه بوده ومنظور از افت کارمایه 1 و 2 و 3، به صورت زیرند:

نتایج وبحث

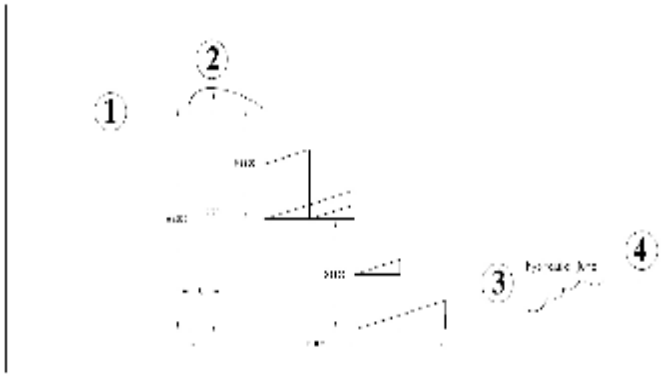
دراین بخش به نتایج به‌دست آمده از آزمایشها و تحلیل و بحث در مورد آنها می پردازیم. ابتدا، داده برداریها برای آرایش7 سرریز با 4 پله(پله‌های اول و دوم و آخر با شیب معکوس، و پله‌ی سوم صاف) ذکر می‌گردند و در ادامه، مقایسه‌ی دو به دو نمونه‌ها انجام خواهد شد.

افت کارمایه 1 : $\Delta H_1 = H_2 - H_3$

افت کارمایه 2 : $\Delta H_2 = H_2 - H_4$

افت کارمایه 3 : $\Delta H_3 = H_3 - H_4$

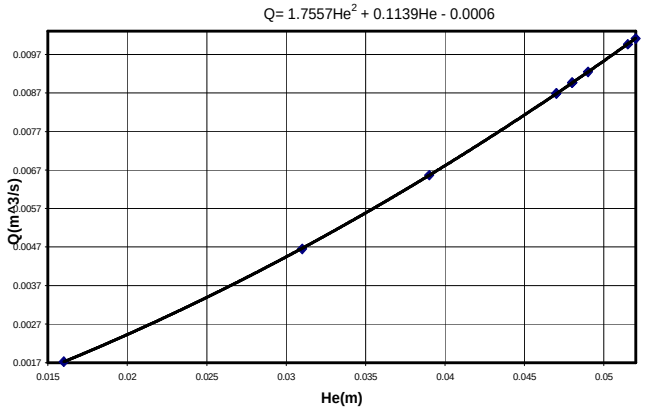
که در زیر محل مقاطع 1، 2، 3 و4، بر روی شکل (3) مشخص شده‌اند.



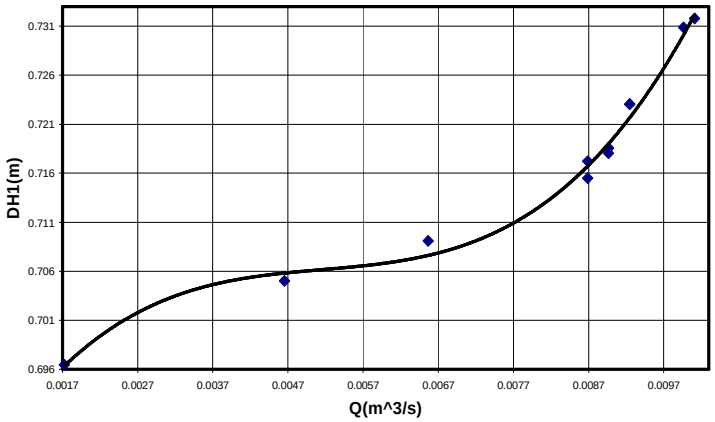
شکل3- برش عرضی سرریز همراه با محل مقاطع چهارگانه.

نسبت بده‌ی سرریز به بار آبی مؤثر

با نشان دادن معادله، در واقع منحنی مشخصه‌ی بده برای این سرریز ارائه می شود. با افزایش بده، روند افت کارمایه در مقطع 1 صعودی است؛ با افزایش بار آبی سرعت در بده‌های بیشتر شیب منحنی پیوند افزون بر بخش ابتدایی منحنی است (نمودار 1).



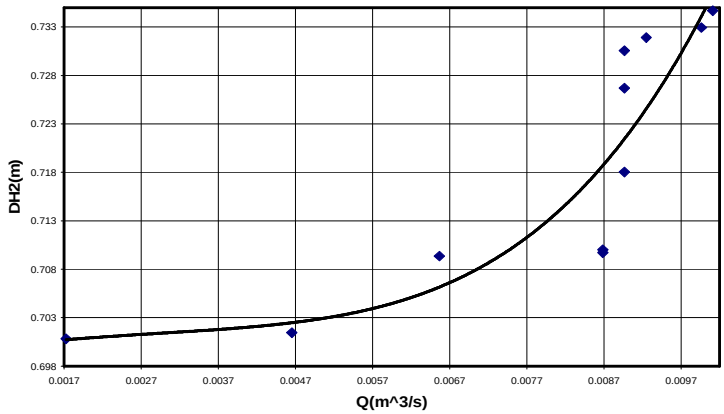
نمودار 1- نسبت بده‌ی سرریز به بار آبی موثرآزمایش 7؛ نسبت افت کارمایه 1به بده.



نمودار2- نسبت افت کارمایه1 به بده‌ی آزمایش 7.

نسبت افت کارمایه 2 به بده

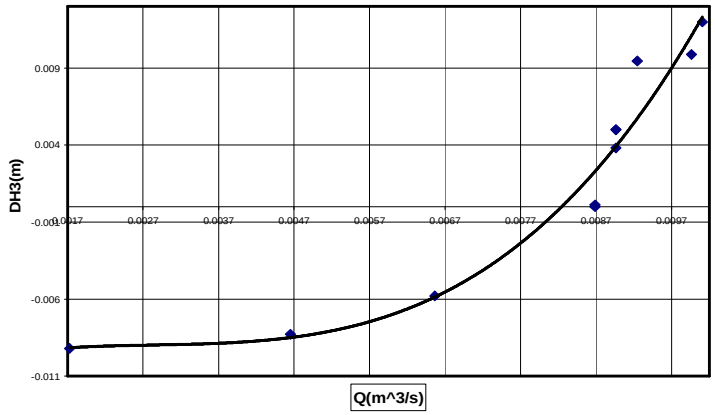
در این‌جا هم مشخصا" با زیاد شدن بده، افت کارمایه روند افزایشی داشته و در محدوده‌ی بده‌ی 8/7 لیتر بر ثانیه، با توجه به تغییرات اندک بده شاهد افزایش میزان افت کارمایه می‌باشیم(نمودار3).



نمودار 3-نسبت افت کارمایه‌ی2 به بده‌ی آزمایش 7.

نسبت افت کارمایه‌ی 3 به بده.

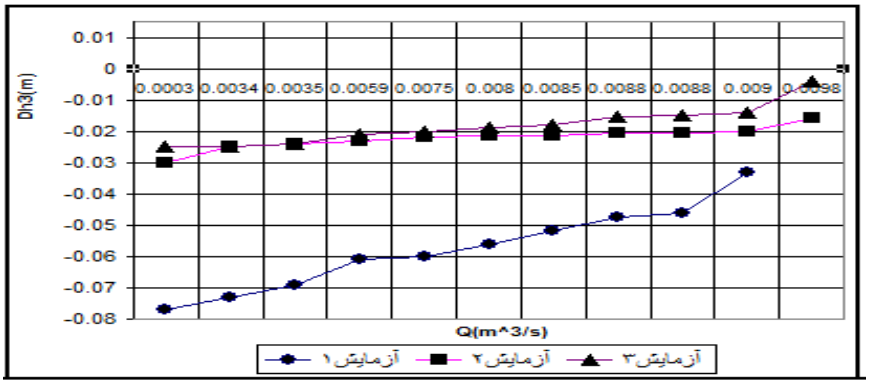
در این‌جا هم واضح است که با افزایش بده افت کارمایه افزایش پیدا کرده است، که این روند افزایشی تا بده‌ی حدود 6/5 لیتر بر ثانیه به کندی، و از آن به بعد با شدت بیشتری، رخ داده است(نمودار4).



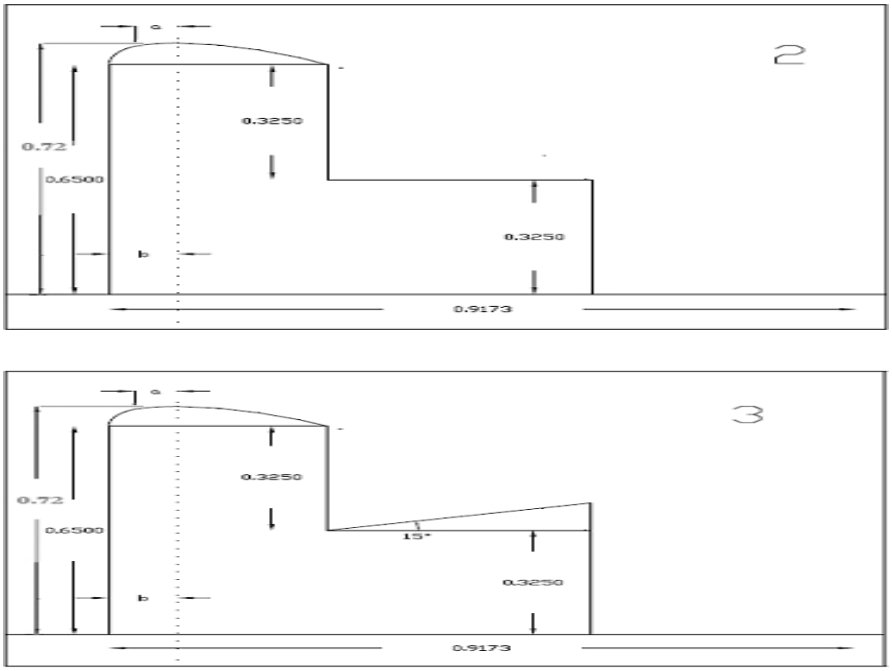
نمودار 4-نسبت افت کارمایه‌ی3 به بده‌ی آزمایش 7.

مقایسه‌ی نتایج، آزمایش2 و3

همان‌طورکه درنمودار 5 مشاهده می کنید، افت کارمایه در آزمایش شماره‌ی 3، یعنی سرریز با یک پلکان با شیب معکوس، بیشتر از سرریز با یک پلکان بدون شیب معکوس(آزمایش شماره‌ی2) بوده است.در ضمن، آزمایش1 همان حالت سرریز بدون پله است که کمترین افت را دارد.



نمودار 5- مقایسه‌ی تغییرات افت کارمایه3، به بده‌ی آزمایش 2و3.

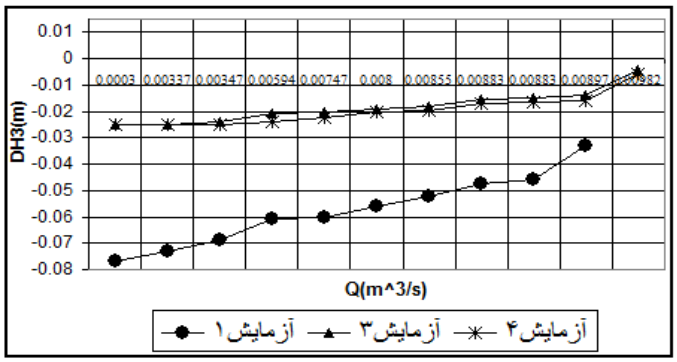


شکل 4- مقایسه‌ی آرایش سرریز در آزمایش 2و3.

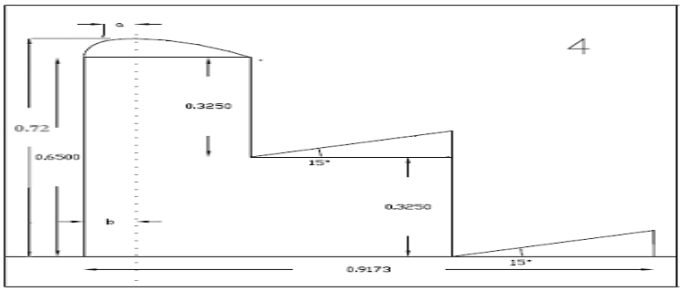
مقایسه نتایج، آزمایش3 و 4

همان‌طورکه درنمودار 6 مشاهده می کنید، اندازه‌ی افت کارمایه درآزمایش شماره‌ی 3 (سرریز با یک پله باشیب معکوس) بیشتر از آزمایش شماره‌ی 4 ، (سرریز با دو پله با شیب معکوس) است.البته اختلاف بین این دو ناچیز می‌باشد. دلیل این پدیده تاثیر بیشترپله های نزدیک به تاج در سرریزهای پلکانی است.(رستمی،1384)

.



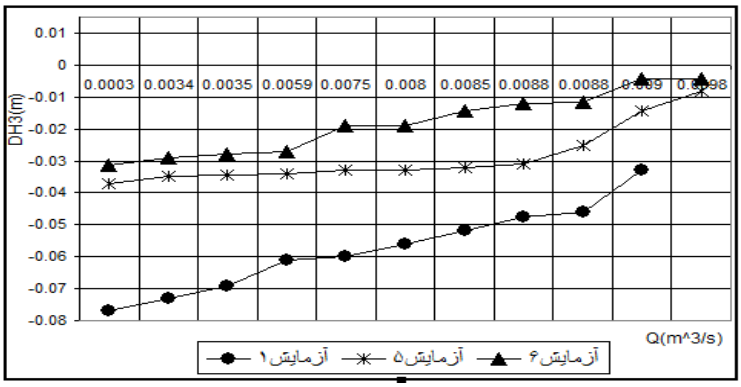
نمودار 6- مقایسه‌ی تغییرات افت کارمایه‌ی3، به بده‌ی آزمایش 3و4.



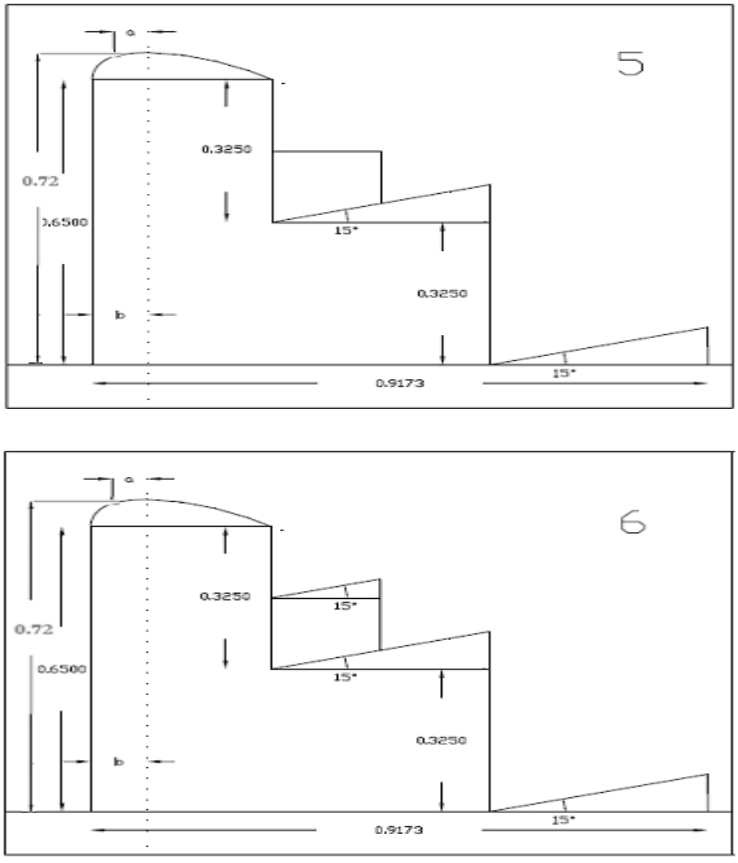
شکل 5- مقایسه آرایش سرریز در آزمایش 3و4.

مقایسه‌ی نتایج، آزمایش 5 و6

همان‌طورکه درنمودار 7 مشاهده می کنید، میزان افت کارمایه در آزمایش شماره‌ی 6 (سرریز با سه پلکان با شیب معکوس) بیشتر ا ز آزمایش شماره‌ی 5 (سرریز با سه پلکان دوپله با شیب معکوس ویک پله بدون شیب) بوده است. این پدیده نشان دهنده‌ی تاثیر شیب معکوس در افت کارمایه می باشد.



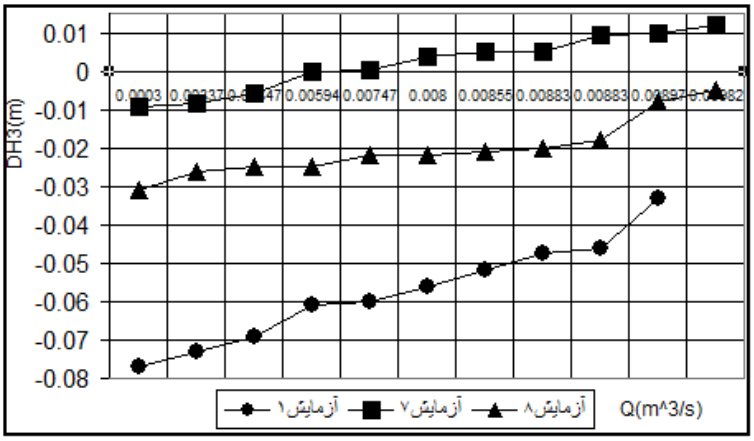
نمودار7- مقایسه‌ی تغییرات افت کارمایه‌ی3، به بده‌ی آزمایش5و6.



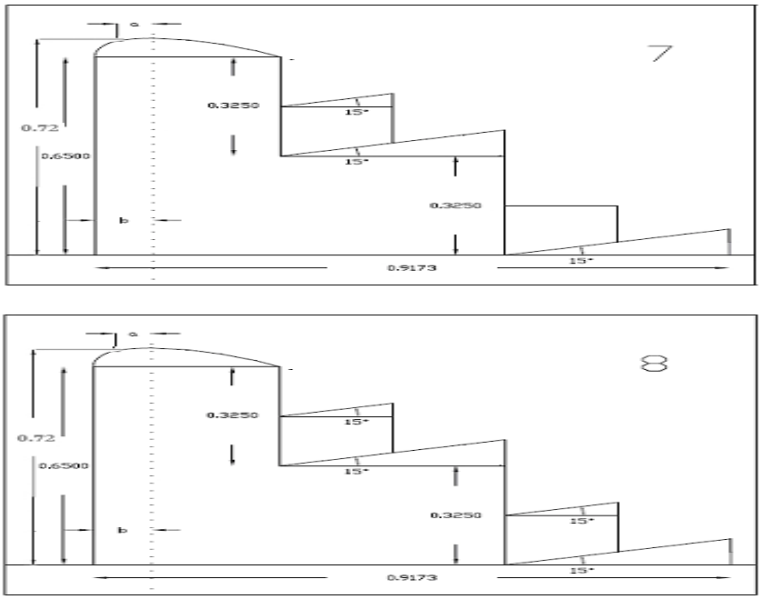
شکل 6- مقایسه‌ی آرایش سرریز در آزمایش5و6.

مقایسه‌ی نتایج، آزمایش 7 و 8

همان‌طورکه درنمودار 8 مشاهده می کنید میـزان افت کارمایه در آزمایش شماره 7، یعنـی سـرریز بـا چهـار پلکان (سه پله با شیب معکوس و یک پله بدون شیب)، بـه مراتب بیشتر از افت کارمایه در سرریز بـا چهـار پلکـان بـا شیب معکوس (آزمایش شماره‌ی8) می باشد (گفتنی است که آرایش 7 بهینه ترین حالت در میان آرایشهای موجـود بود).



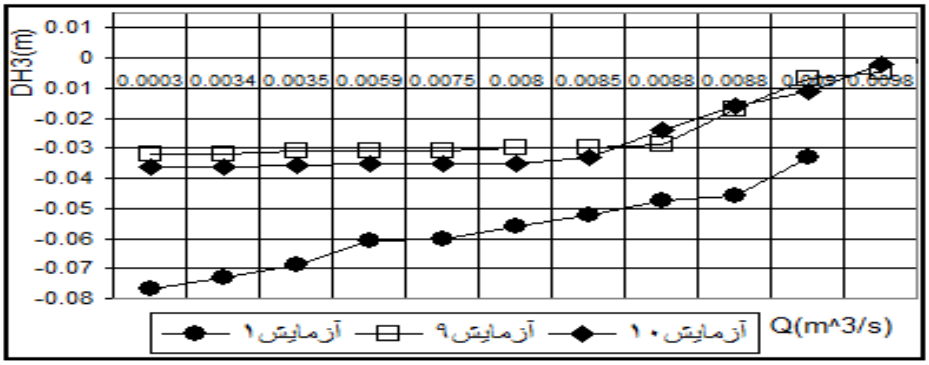
نمودار8-مقایسه‌ی تغییرات افت کارمایه‌ی3به بده‌ی آزمایش 7و8.



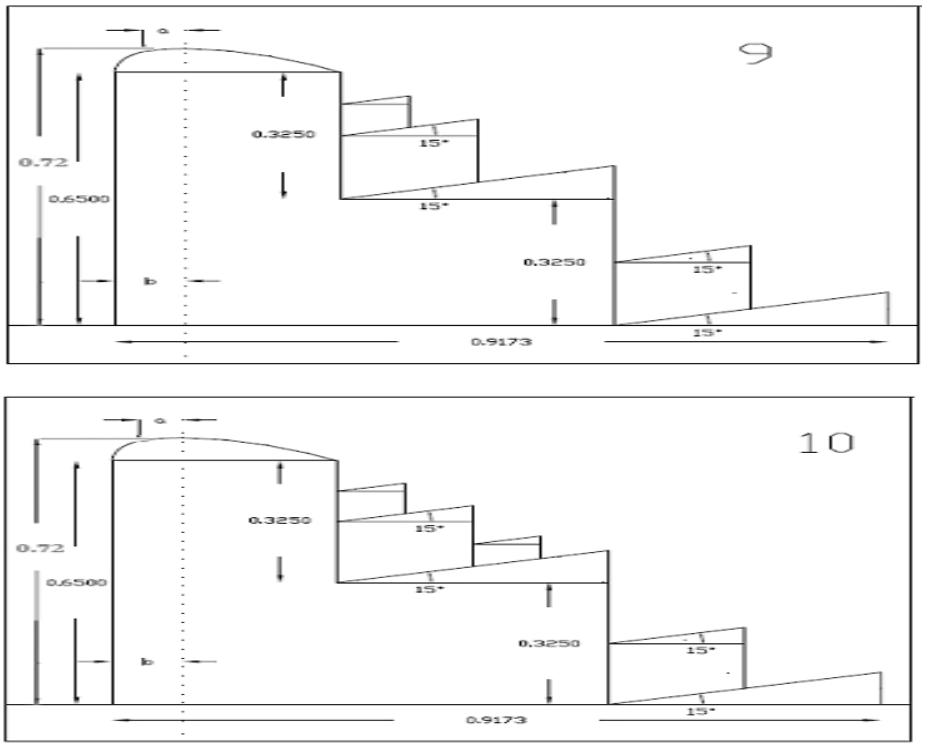
شکل 7- مقایسه‌ی آرایش سرریز در آزمایش 7و8.

مقایسه نتایج، آزمایش 9 و10

همان‌طورکه درنمودار 9 مشاهده می کنید، میزان افت کارمایه در بده های کم(تا حدود7/8 لیتر بر ثانیـه) در آزمایش شماره‌ی 9 یعنی سرریز بـا پـنج پلکـان بـا شـیب معکوس، بیشتر از افت کارمایه در سرریز با شش پلکـان بـا شیب معکوس(آزمایش شماره‌ی10) بوده است.تنها به ازای بده در مرحله آخر، و دو بده‌ی مانده به آخر، شاهد اندازه‌ی افت کارمایه‌ی بیشتر در آزمـایش شـماره‌ی10 نسـبت بـه آزمایش شماره‌ی 9 می‌باشیم.این مطلب نشان می دهد که شمار موانع و یا شیب، پلکانها را به‌صورت نامحدود، و بدون توجه به مسائل هیدرولیکی جریان، نمی‌تـوان افـزایش داد.



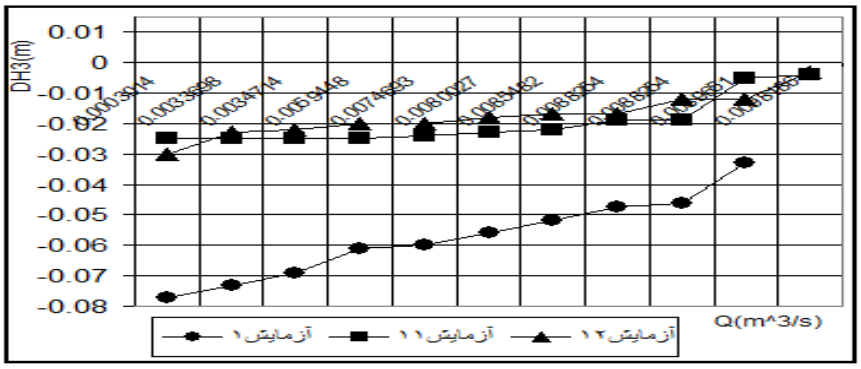
نمودار 9-مقایسه‌ی تغییرات افت کارمایه3، به بده‌ی آزمایش 9و10.



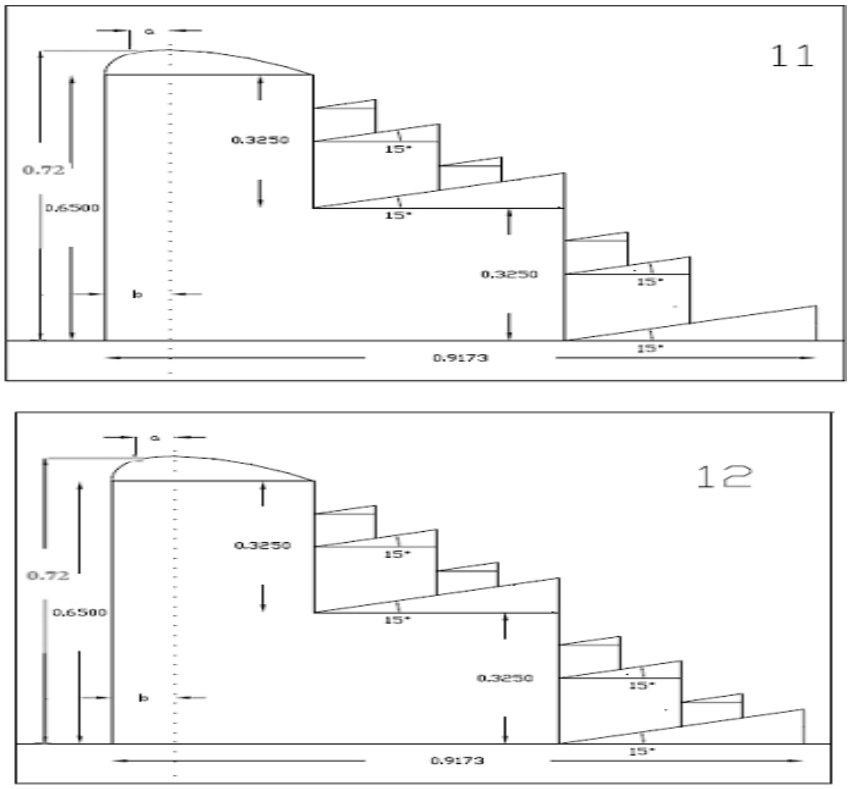
شکل 8- مقایسه‌ی آرایش سرریز در آزمایش 9و10.

مقایسه نتایج، آزمایش11 و12

همان‌طورکه درنمودار 10 مشاهده می کنید، به جز بده‌ی ابتدایی و یک بده‌ی مانده به آخر در کل آرایش مربوط به آزمایش12، که نشان دهنده‌ی 8 پلکان با شیب معکوس است، شرایط افت کارمایه مناسبتر ازآزمایش11 بوده، که در آن آرایش 7 پلکان با شیب معکوس داریم.دراین‌جا نیز، باز تاثیر شیب معکوس واضح است.



نمودار 10- مقایسه‌ی تغییرات افت کارمایه3، به بده‌ی آزمایش 11و12.



شکل 9- مقایسه‌ی آرایش سرریز درآزمایش 11و12.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از مجموعه این آزمایشها نشان می دهند:

1. با افزایش بده و زیاد شدن شمار پلکانها، و در نظر گرفتن شیب معکوس، افت کارمایه افزایش یافته است.
2. برهمین اساس، آرایش شماره‌ی هفت، یعنی سرریز با چهار پلکان(سه پلکان با شیب معکوس و یک پله بدون شیب)، از لحاظ افت کارمایه، بهترین گزینه در میان آزمایشهای انجام گرفته است.
3. مسأله‌ی فوق نشان می دهد که شمار موانع و یا شیب پلکانها را به‌صورت نامحدود، و بدون توجه به مسائل هیدرولیکی جریان، نمی توان افزایش داد.

منابع

1. احمدیار، د. و ح. بیات . 1372، بررسی تأثیر شیب کف پله ها در سرریزهای پلکانی، مجله دانشگاه امیر کبیر، سال 6، شماره 22، صفحه‌ی 146 تا 54.
2. ترابی، س.م.ر. 1388، بررسی استهلاک کارمایه در نمونه‌ی سرریزهای پلکانی با شیب معکوس، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد.
3. رستمی راوری،ا.،1384،بهینه سازی ژئومتریک سرریزهای پلکانی،رساله دکتری رشته تاسیسات آبی وساختمانهای توزیع وانتقال آب،دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات.
4. Chanson, H. 1994. Hydraulics of skimming flows over stepped channels and spillways. J. Hydr. Res. 32: 445-460.
5. Chanson, H. and L. Toombers. 2001. Experimental investigantion of air entrainment in transition and skimming flows down a stepped chute. Department of Civil Eng., the University of Queensland. Report No. CE158: 1-73.
6. Christodoulou, G.C. 1993. Energy dissipation on stepped spillways, J. Hydr. Eng. ASCE, 119: 644-649.
7. Rajaratnam, N. 1990. Skimming flow in stepped spillway. J. Hydr. Eng. ASCE, 116: 587-591.
8. Sorensen, R.M. 1985. Stepped spill way hydraulic model investigation. J. Hydr. Eng. ASCE, 111: 1461-1472.