# بررسی تاثیر زبری برروی استهلاک انرژی و سرریزهای پلکانی گابیونی، با استفاده از مدل ریاضی FLOW- 3D

کمال علاسوند*[1]، جواد احدیان [2]و حسین فتحیان[3]

1) کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جامع شوشتر، ایران.

2) عضو هیئت علمی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

3) عضو هیئت علمی، دانشکده علوم آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ایران.

*** نویسنده مسئول مکاتبات:** kamalalasvand@gmail.com

**تاریخ دریافت:**90/07/03 **تاریخ پذیرش:**90/09/17

## چکیده

**بررسی خصوصیات و رفتار جریان، در سازه‌های هیدرولیکی، از پدیده‌های پیچیده ای است که استفاده از نرم افزار در آن را امری اجتناب ناپذیر می‌نماید. سرریز پلکانی گابیونی سازه هیدرولیکی ساده‌ای است که برای استهلاک انرژی در سدهای مختلف و نیز کنترل فرسایش پایین دست سازه، استفاده می شود. سرریز پلکانی گابیونی از پله‌هایی تشکیل می شود که از نزدیکی تاج سرریز شروع شده و تا پاشنه پایین دست ادامه می یابند. در این تحقیق، نسبت عرض به طول زبری‌ها (b/h) برابر با 1، 0/5 و 0/25 و سه حالت ارتفاع زبری، برای دبی‌های4 تا 220 لیتردر ثانیه، در مدلی 9 پله‌ای، با ارتفاع پله‌های 0/1 متر و شیب 21 درجه، مورد بررسی قرار گرفت. و همچنین در خصوص تاثیر زبری‌ها در نحوه پراکنش انرژی و بوجود آمدن جریان گردابه‌ای، روی پلکان‌های سرریز پلکانی گابیونی به وسیله نرم افزار Flow3D پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان میدهد که در بازه دبی‌های 0/004 و 0/009 و 0/01 متر مکعب بر ثانیه، رژیم جریان به صورت ریزشی و از دبی 0/016 متر مکعب بر ثانیه به بالاتر، رژیم جریان، به صورت غیر ریزشی است و بیشترین استهلاک انرژی، مربوط به دبی 0/016 است که با 79/5 درصد انرژی، مستهلک می شود و کمترین استهلاک انرژی، مربوط به دبی 0/220 متر مکعب بر ثانیه می باشد که با 20/4 درصد انرژی، مستهلک شده خواهد بود.**

**واژه‌های کلیدی**: استهلاک انرژی، سرریز پلکانی گابیونی، جریان گردابه‌ای، نرم افزارFlow-3D.

**مقدمه**

پیشرفتهای اخیردر تکنولوژی امکانات گسترده‌ای را جهت ساخت سدهای بزرگ، و نیز مخازن و کانالها به وجود آورده است. شوتها و سرریزها جهت عبور دادن دبی‌های زیاد، از روی یک سازه هیدرولیکی (مثلا سد، سرریز انحرافی) بگونه‌ای طراحی می‌شوند، که هیچگونه صدمه عمده‌ای به سازه و محیط اطراف آن وارد نشود. سرریز پلکانی، متشکل از پله‌هایی است که از نزدیک تاج سرریز شروع و تا پاشنه پایین دست، ادامه دارند. در حال حاضر، سرریزهای پلکانی جهت استهلاک انرژی جریان، طراحی می‌شوند. اخیراً مصالح ساختمانی جدیدی نظیر R.C.C باعث افزایش تمایل جهت اجرای سرریزهای پله‌ای شده‌است. تحقیقات نشان می‌دهند که میزان استهلاک انرژی، در سرریزهای پلکانی، بیشتر از سرریزهای صاف (بدون پلکان) با همان ابعاد می‌باشد. میزان استهلاک انرژی زیاد ایجاد شده توسط پلکان‌ها باعث می‌گردد تا عمق حفاری حوضچهٔ آرامش پایین دست، و نیز طول حوضچهٔ آرامش و ارتفاع دیواره‌های جانبی آن، کاهش یافته و از این نظر در اجرای پروژه ی سد سازی صرفه جویی اقتصادی زیادی در بوجود می آید . در شکلهای شماره 1و2 نمونه‌هایی از سرریزهای پلکانی گابیونی نشان داده شده است .

**شکل 1: نمونه ای از سرریز پلکانی گابیونی با رژیم جریان ریزشی**



**شکل 2: نمونه ای دیگر از سرریز پلکانی گابیونی**

Rajaratnam, chamani در سال 1995، دریافتند که به دلیل فقدان راه حل در محاسبه افت انرژی، در رژیم جریان غیر ریزشی، باعث گردیده تا مقایسه بین میزان استهلاک انرژی، در دو نوع رژیم ریزشی و غیر ریزشی، با مشکل مواجه گردد. روش فرضی جهت تعیین میزان استهلاک انرژی، در رژیم جریان غیر ریزشی، براساس برقراری شرایط جریان یکنواخت، بر روی پلکان‌های سرریز استوار است. تخمین میزان افت انرژی نیز به تعیین فاکتور اصطکاک بستگی دارد. به نظر می‌رسید که فاکتور اصطکاک، در محدوده وسیعی تغییر می-نماید و همین مسئله در تعیین دقیق میزان افت انرژی، باعث ایجاد مشکل می‌گردد. در حقیقت خصوصیات دو نوع رژیم ریزشی، و غیر ریزشی متفاوت بوده و هریک از آنها در شرایط متفاوتی اتفاق می‌افتد (Rajaratnam and Chamani, 1995).

در بحثی که راجع به تحقیقات چمنی و راجاراتنام ارائه نمودند، به افت انرژی بیشتر، در رژیم ریزشی، نسبت به رژیم غیر ریزشی (خلاف نظر چانسون) عقیده داشته و نظرات خویش را ارائه نمودند. آنها اعتقاد داشتند با فرض اینکه حالت جریان یکنواخت بالادست پنجه سرریز

پلکانی تشکیل شده باشد، شیب اصطکاکی، برابر شیب سرریز خواهد بود وهمان طوری که توسط Chanson در سال 1997 بیان گردیده، مقدار استهلاک انرژی نسبی را میتوان به صورت تابعی از H/yc بیان نمود. (H ارتفاع سرریز است)

Chanson در سال 2002 در تحقیقی تحت عنوان، تاثیرات دبی بر روی مشخصات جریان سرریزهای پلکانی، به نتایج زیر دست یافته اند. نتایج تحقیق بیان می کند که، با افزایش دبی نقطه اختلاط آب، به پایین دست سرریز، منتقل می شود و با افزایش دبی، رژیم جریان از حالت ریزشی به حالت غیر ریزشی، تبدیل می گردد. با افزایش دبی، استهلاک انرژی کمتر، خواهد شد ( Chanson, 2002). باقری (1380)، استهلاک انرژی جریان عبوری از روی سرریز پلکانی را با استفاده از بهینه سازی و مدل سازی، مورد بررسی قرار داد تا مقادیر شیب طولی و ارتفاع بهینه پله‌ها را محاسبه کند. او به طراحی و ساخت یک مدل فیزیکی، از جنس چوب که دارای 21 پله به ارتفاع 4و عرض30 سانتیمتر اقدام کرد. این مدل، توسط یک دیواره شیشه ای، جریان را به پایین دست، هدایت می کند. با عبور جریان با دبی‌های مختلف، مقادیر سرعت در بالا دست و پایین دست سرریز و نیز میزان استهلاک انرژی، روی سرریز اندازه گیری شد. این تحقیقات نشان که نتایج حاصل از مدل ریاضی بهینه، از مطابقت خوبی برخوردار می باشد (باقری، 1380). بیدختی و همکاران(1387)، در تحقیقی تحت عنوان، بررسی سرریز پلکانی با رژیم ریزشی ، با استفاده از نرم افزار matlab – 6 ، تاثیر عواملی چون ارتفاع ، طول وعرض پله‌ها بر روی درصد انرژی مستهلک شده ، سرعت جریان و فاصله نقطه آغاز هوادهی از تاج سرریز پلکانی را جهت دبی‌های مختلف، مورد بررسی قرار دادند. هدف کلی این تحقیق،ایجاد یک دید کلی نسبت به تاثیر تغییرات ایجاد شده بر روی ابعاد پله‌های پلکانی نسبت به استهلاک انرژی می باشد (بیدختی، 1387).

مرودشتی و همکاران (1389) استهلاک انرژی سرریزهای پلکانی را با استفاده از فرآیند پله - حوضچه ای به دست آورده اند. در این آزمایش، شش الگوی مختلف، تحت دو شیب مختلف سرریز و شش دبی متفاوت عبوری (جمعا 72 آزمایش)، مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفت . محققین به این نتیجه رسیدند، که با اضافه شدن فرم پله حوضچه‌ای به داخل هندسه پلکان، پدیده چرخابه به عنوان یک عامل مستهلک کننده انرژی، به مجموعه اجزای موثر در زبری فرم بستر، اضافه می گردد مرودشتی و همکاران (1389).

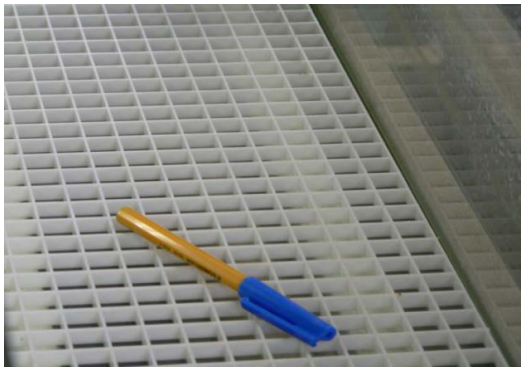
منصوری و پدرام(1387) ، در تحقیقی با عنوان بررسی استهلاک انرژی روی سرریز پلکانی لبه دار ، به روش زیر عمل کرده‌اند. ابتدا لبه‌هایی در ابعاد مختلف، از نظر ارتفاع و عرض و شیب بالادست لبه، طراحی شد. سپس این لبه‌ها را در انتهای پله‌ها تعبیه و جاگذاری کرده و استهلاک انرژی جریان، در رژیم ریزشی و رویه‌ای، بر روی این پله‌های لبه دار، را محاسبه نمودند. متفاوت بودن ارتفاع و شیب و عرض لبه‌ها، باعث می‌شود تا هرکدام از این پارامترها در میزان استهلاک انرژی، مشخص شود. نتایج نشان می دهد که در رژیم ریزشی، ارتفاع و عرض و شیب بالادست لبه، بر میزان استهلاک انرژی، تاثیر گذار است، اما در رژیم رویه‌ای تنها ارتفاع لبه‌ها، در میزان استهلاک انرژی، به میزان ناچیزی موثر بوده و عرض شیب لبه در میزان انرژی مستهلک شده تاثیری ندارد منصوری و پدرام (1387).

**مواد و روش‌ها**

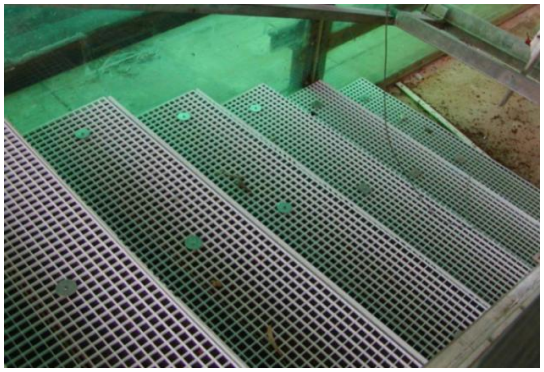
مدل فیزیکی سرریز پلکانی گابیونی زبر، توسط Chansonدر سال 2005 در دانشگاه کوئیزلند استرالیا، تحت عنوان "تاثیرات زبری پله های گابیونی بر روی‌هیدرولیک جریان و استهلاک انرژی" انجام شده است. چانسون در مورد ضرورت انجام این تحقیق آورده اعتقاد دارد

که زبری سرریزهای پلکانی زبر بر روی خواص جریان، انجام نشده و ارتباط عملی آن، شناخته شده نیست. این کار توسط مهارت‌های آزمایشگاهی وسیع و بر اساس تشابه فرودی (غیر خمیده)، انجام شده است.

در این تحقیق، با استفاده از مدل ریاضی Flow–3D، تاثیرات سه نوع زبری 0/25 و 0/5 و 1، بر روی استهلاک انرژی این سرریز پلکانی گابیونی، مورد بررسی قرار گرفت مدل فیزیکی دانشگاه کویزلند، معلوم کرد استفاده از صحفه‌های مشبک، که به صورت نماد زبری معرفی شده اند و هر چه تراکم این زبری‌ها بیشتر باشد ،این مدل زبرتر می شود . در شکل‌های 3و4، پلکانهای زبر شده، توسط این صحفات مشبک دیده می شود .



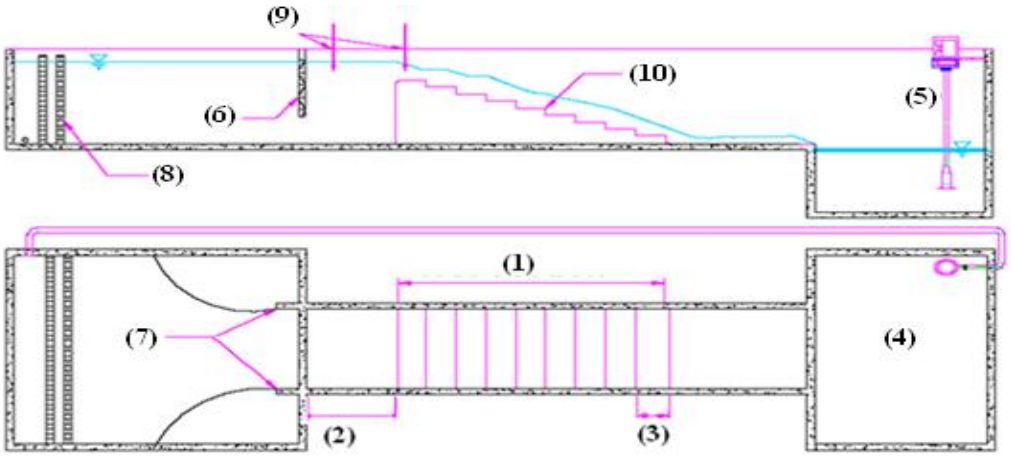
**شکل 3: صفحات مشبک به عنوان زبری**



**شکل 4: نمای کلی از سرریز پلکانی در زبرترین حالت**

### مشخصات مدل فیزیکی

مشخصات مدل فیزیکی آقای چانسون در عکس های شماره 5 تا 7و جدول شماره (1-2) نشان داده شده است .

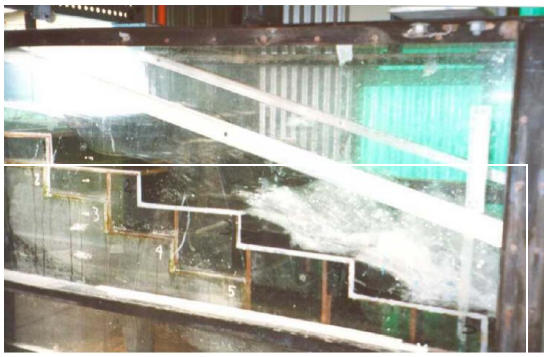



**(شکل 5) نمای شماتیک کلی مدل آزمایشگاهی**

1- سرریز پلکانی، 2- کانال ورودی، 3- پله، 4- حوضچه پمپ، 5- پمپ، 6- شبکه توری، 7- ناحیه تنگ شدگی ورودی، 8- صاف کننده های جریان، 9- نقطه‌های اندازه گیری، 10- ناحیه انجام آزمایش

**جدول 1-2: مشخصات کلی مدل آزمایشگاهی**

| تعداد پله | طول کانال ورودی (متر) | ارتفاع‌هر پله(متر) | ارتفاع کل سرریز (متر) | عرض‌هر پله (متر) | طول کل سرریز (متر) | شیب سرریز نسبت به افق(درجه) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 1,25 | 0,1 | 1 | 0,25 | 3,65 | 21 |



**شکل 6: نمای جانبی سرریز پلکانی**

**شکل 7: مخزن وتنگ شدگی ورودی و صاف کننده جریان**

**معرفی مدل ریاضی**

نرم افزار Flow – 3D نرم افزاری توانمند در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی[۲۵] است این نرم افزار، محصول شرکت Flow sciene inc بوده و اخیرا مورد بازسازی و توسعه قرار گرفته است . این نرم افزار جهت کمک به تحقیقات صورت گرفته در زمینه رفتار دینامیکی مایعات و گازها ، در موارد کاربردی وسیع طراحی شده است .

نرم افزار Flow – 3D همچنین جهت حل مسائل یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی نیز، طراحی شده است . به دلیل آنکه این برنامه بر روی قوانین بنیادین بقای جرم ، مومنتوم و نیز بقای انرژی، پایه گذاری شده است، در حالت ماندگار، نتیجه حاصله در زمان کوتاه حاصل می شود.

**روش انجام آزمایشات**

به منظور بررسی تاثیر زبری‌ها، الگوی جریان، روی سرریز پلکانی گابیونی زبر، آزمایشات بدین صورت انجام پذیرفت که بعد از قرار دادن قطعات مشبک پلاستیکی(به ابعاد پله)، به عنوان عامل زبر کننده، بر روی هر پله آب، قبل از ورود، از یک شبکه توری که به منظور یکنواخت کردن جریان قرار داده شده توسط یک تنگ شدگی از مخزن اولیه به سمت کانال ورودی عبور می‌کند و پس از طی کردن مسیر

[1] - CFD

1/25 متری کانال ورودی، به اولین پله موجود از 9 پله سرریز پلکانی رسیده و پس از عبور از روی این پله‌ها، وارد حوضچه آرامش می‌شود. در این حوضچه، یک پمپ تخلیه، جهت بازگرداندن آب به درون سیستم، قرار داده شده است.

لازم به ذکر است در این آزمایش، نسبت عرض به طول زبری‌ها(b/h) برابر 1، 0/5 و 0/25 و برای بازه دبی 0/004تا 0/220 متر مکعب بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفته و به تاثیر این مدل‌ها، در نحوه پراکنش انرژی، و بوجود آوردن جریان گردابه‌ای، روی پلکان‌های سرریز پلکانی گابیونی پرداخته شده است.

این آزمایشات، با مش بندی یکسان 0,01 انجام شده است. برای حل مسائل مدل آشفته k-e نیز، مدل توربولنت انتخاب شده است.

**آنالیز ابعادی:**

پارامترهای موثر در آنالیز ابعادی، عبارتند از: جرم مخصوص سیال $(\rho)$ ، لزجت دینامیکی سیال $(\mu)$، شتاب ثقل $(g)$، سرعت جریان ، عمق جریان(y) ، ارتفاع سرریز(H)، زبری پلکانها (b/h)، ارتفاع زبری (h) و تعداد پلکانها (N) آنالیز این پارامترها،آنها به روش باکینگهام $(\pi)$ محاسبه می گردد.

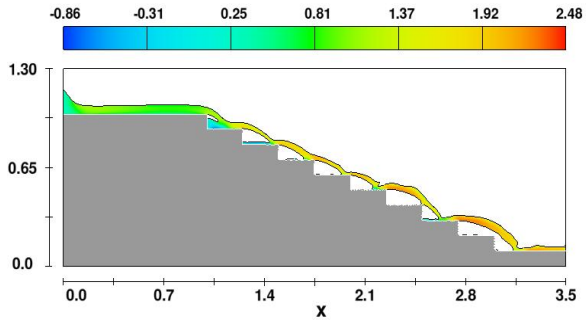
$$\frac{\Delta H}{H_t} = f_1\left(\frac{h}{l}, N, F_r, R_n\right)$$

$$\frac{\Delta H}{H_t} = f_2\left(\frac{y_c}{H_{dam}}, \frac{b}{h}, F_r, R_n\right)$$

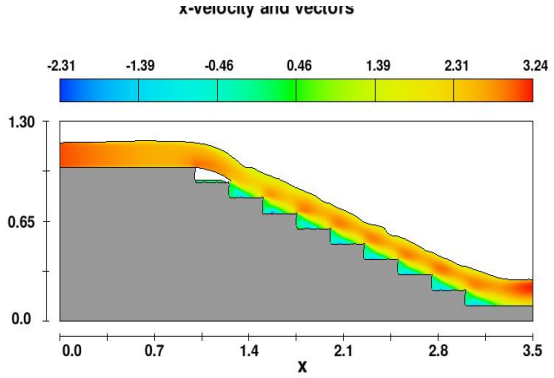
**نتایج و بحث**

**تاثیر زبری بر روی استهلاک انرژی**

در مبحث استهلاک انرژی، بین مدل فیزیکی و مدل ریاضی، مقایسه ای صورت پذیرفت. با دبی‌های مختلف ،تاثیر زبری‌ها، بر روی استهلاک انرژی، مطالعه و مشاهده شد که بیشترین استهلاک انرژی، مدل توربولنت انتخاب شده مدل توربولنت انتخاب شده در حالتی اتفاق می‌افتد که جریان به صورت ریزشی باشد. اما در جریان رویه‌ای، شدت استهلاک انرژی، کمتر می شود. با افزایش دبی، توان مستهلک کردن انرژی سرریز پلکانی گابیونی نیز، کمتر می شود. در آزمایش‌های ریاضی صورت گرفته به وسیله مدل ریاضیFlow–3D ، دیده شده که همانند مدل فیزیکی، دبی‌های کمتر از 0/016 متر مکعب برثانیه جریان، به صورت ریزشی در جریان می‌باشند. عکس شماره 9 جریان ریزشی در دبی‌های کمتر از 0/016 متر مکعب بر ثانیه را نشان می دهد.

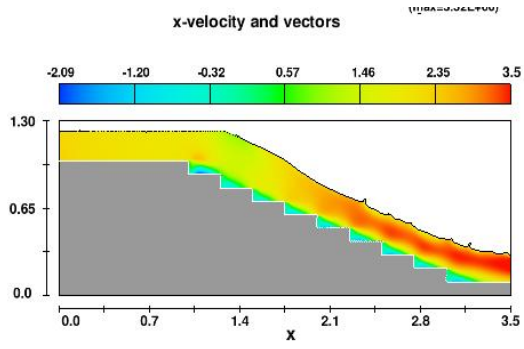



**شکل 8: جریان ریزشی در دبی 0/036 متر مکعب برثانیه**

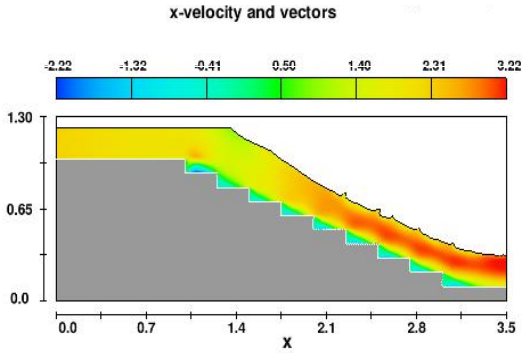



**شکل 9: جریان ریزشی در دبی 0/004 متر مکعب برثانیه**

به طور کلی، جریان در دبی‌های 0/004 و 0/009 و 0/01 متر مکعب بر ثانیه، به صورت ریزشی می باشد. این مسئله، باعث افزایش استهلاک انرژی در این دبی‌ها خواهد شد(شکل شماره 9). از دبی‌های 0/016 متر مکعب به بالا، جریان به صورت رویه ای، خواهد بود و شرایط جریان غیرریزشی، حاکم می‌باشد. آقای چانسون نیز در آزمایشات مدل فیزیکی خود، دقیقا" به این نتیجه رسیده‌اند (شکل شماره 9 تا 11).

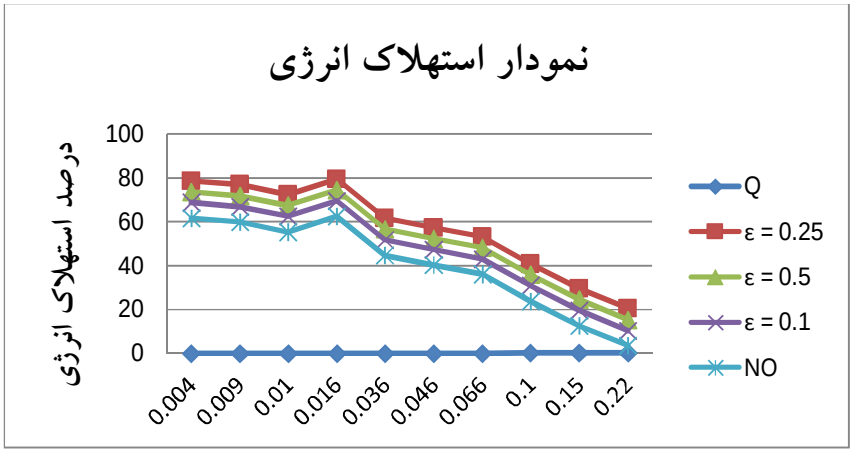



**شکل 10: جریان ریزشی در دبی 0/046 متر مکعب برثانیه**




**شکل 11: جریان ریزشی در دبی 0/066 متر مکعب برثانیه**

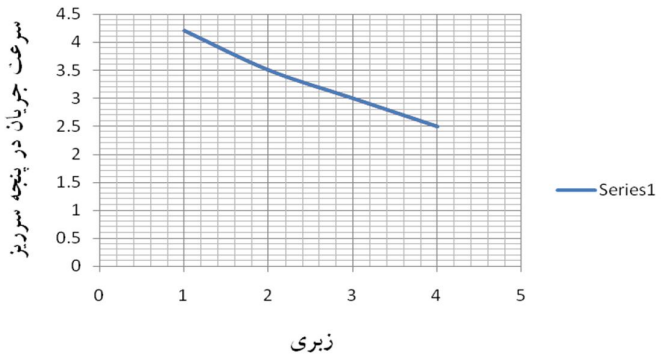
به طور کلی با افزایش دبی، میزان استهلاک انرژی نیز، کمتر خواهد شد. این پدیده به خاطر آن است که با افزایش دبی، حجم آب بر روی پله‌کان آن قدر بالا می رود تا لبه‌های پلکان و نیز زبری‌های کف پلکان، دیگر بر روی مستهلک کردن انرژی، تاثیری نداشته باشند. ندارند و یا اینکه تاثیرشان به شدت کمتر می‌شود. بنابراین هرچه دبی افزایش یابد، استهلاک انرژی نیز کاهش می‌یابد. نمودار شماره 12 گویایی این قضیه است.




**شکل 12: نمودار استهلاک انرژی مدل ریاضی برای زبری‌های مختلف**

**تاثیر زبری بر روی سرعت در پنجه سرریز پلکانی**

یکی از نشانه‌های مستهلک شدن انرژی، توسط سازه یا عوامل هندسی سازه یا ... ، کاهش سرعت جریان، در انتهای سازه تعبیه شده است. در آزمایشی که بر روی چهار مدل با زبری‌های مختلف انجام گردید، به نتیجه‌ای شبیه همان نتیجه آقای چانسون در مدل فیزیکی می رسیم. در این آزمایش، تاثیر زبری‌های پلکان، بر روی استهلاک انرژی مورد بررسی قرار گرفته شد. در این آزمایش به ازای یک دبی، 0/016 متر مکعب برثانیه و چهار زبری 0/25 ، 0/5 ، 1 و بدون زبری، نتایج زیر بدست آمد. بیشترین سرعت در ابتدای پنجه ی سرریز و مربوط به حالت بدون زبری، با سرعت 2/58 متر بر ثانیه می باشد. نتایج نشان داد، سرریزی که زبری ندارد ، استهلاک انرژی کمتری دارد زیرا سرعت، در پنجه سرریز بیشتر شده است. کمترین سرعت نیز متعلق به سرریز پلکانی با زبری (b/h= 0/25) و حدود 2/2 متر برثانیه می باشد. با توجه به این آزمایش به این نتیجه می توان دست یافت که به ازای یک دبی ثابت، هرچه زبری، بیشتر شود، استهلاک انرژی نیز بیشتر خواهد شد. در نتیجه سرعت جریان، در پنجه سرریز پلکانی گابیونی، کمتر خواهد بود. ( در جدول زیر عدد 1 در محور xها متعلق به سرریز بدون زبری بوده و عدد 2 متعلق به سرریز با زبری 1 و عدد 3 متعلق به سرریز با زبری 0/5 و عدد 4 متعلق به سرریز با زبری 0/25 می باشد.)




**شکل 13: نمودار تاثیر زبری بر روی استهلاک انرژی**

**نتیجه گیری**

1. با افزایش دبی، جریان از حالت ریزشی به حالت غیر ریزشی (شبه آرام) تبدیل شده و در انتهای آخرین پله، در پنجه سرریز با افزایش دبی، عمق متوسط آب، افزایش یافته است که به علت ورود هوای زیاد به داخل جریان وافزایش حجم جریان می‌باشد.
2. استفاده از عمق آب، قبل از پرش هیدرولیکی در پایین دست سرریز، جهت تعیین استهلاک انرژی نتایجی غیر واقعی را نشان می دهد که عمدتا بیشتر از مقدار واقعی استهلاک انرژی نسبی می باشد.
3. افزایش زبری، باعث تقویت جریانهای ثانویه و در نتیجه به افزایش استهلاک انرژی می انجامد. افزایش زبری، باعث کاهش سرعت جریان در پنجه سرریز می‌شود (به استناد جدول سرعت در پای پنجه سرریز).
4. بیشترین استهلاک انرژی، مربوط به حالت زبری (b/h = 0/25) و کمترین استهلاک انرژی، مربوط به حالت بدون انرژی می باشد .
5. با افرایش زبری پلکانها، سرعت جریان در پنجه سرریز، کاهش می یابد (به استناد نمودار تاثیر زبری بر روی سرعت جریان در پنجه سرریز).

**منابع**


- **جانسون، ه.** (2005). هیدرولیک شوت و سرریزهای پلکانی ، ترجمه ابوالفضل شمسایی . انتشارات دانشگاه صنعتی شریف تهران.
- **منصوری، ع. و پدرام ، ا .** (1387). بررسی استهلاک انرژی روی سرریز پلکانی لبه دار ، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران ، دانشگاه صنعت آب و برق ( شهید عباس‌پور).
- **باقری، ا .** (1380). تاثیر شیب طولی و ارتفاع بهینه براستهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی ،هفتمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران ، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- **بیدختی ، ط.** (1387). بررسی سرریز پلکانی در رژیم ریزشی با استفاده از نرم افزار matlab-6. دانشگاه تهران.
- **مرودشتی،م. احمدی، د.** (1389). تاثیر فرآیند پله‌ای- حوضچه‌ای بر روی استهلاک انرژی سرریزهای پلکانی. دانشگاه فردوسی مشهد.
- **Chanson, H. (2002) .** The Hydraulics of Stepped Chutes and Spillways. pp. Australia: Swets and Zeitlinger B. V., Lisse.
- **Chanson, H. (1997).** Air bubble entrainment in freesurface turbulent shears flows. Academic Press, London, UK, pp: 401.
- **Flow - 3D, M. (2005).** Manual and user guide of Flow - 3D Software, Fluent Inc.,
- **Rajaratnam, N. and Chamani, M.R. (1995).** Energy Loss at Drops. Jl of Hyd. Res., IAHR, Vol. 33, No. 3: 373-384. Discussion: Jl if Hyd. Res., IAHR, Vol. 34, No. 2: 273-278.