

# بررسی آزمایشگاهی اثر تعدادی از پارامترهای طراحی بر رفتار هیدرولیکی سرریز سه‌جانبی U شکل

علی اصغر منتظر<sup>۱\*</sup>، سید علی اکبر صالحی نیشابوری<sup>۲</sup>، امیررضا زراتی<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

۲- دانشیار بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار دانشکده عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر

\* پاکدشت، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی

almontaz@ut.ac.ir

**چکیده-** سرریز جانبی نوعی از مجاری تخلیه‌کننده سدها است که در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و تأسیسات تصفیه آب و فاضلاب نیز کاربرد وسیعی دارد. نوعی از این سرریزها که جریان از لبریزهای انتهایی و دو طرف سرریز به کانال جانبی وارد می‌شود، سرریز سه‌جانبی نامیده می‌شود. در این پژوهش با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، اثر تعدادی از پارامترهای طراحی بر رفتار هیدرولیکی سرریزهای سه‌جانبی U شکل، مطالعه شده است. در این آزمایشها اثر تغییرات ارتفاع و موقعیت آبپایه انتهایی و شیب کف کانال جانبی به ازای دبیهای مختلف ورودی مطالعه شده است. تغییرات الگوی جریان به عنوان شاخص کیفی و شاخص شدت آشفتگی جریان به عنوان شاخص کمی ارزیابی، استفاده شد. مقادیر کمی شاخص با استفاده از نتایج فشارهای لحظه‌ای اندازه‌گیری شده توسط یک سیستم دیتالاگر محاسبه شد. نتایج نشان داد که ارتفاع آبپایه بیشترین تأثیر را بر میزان نوسانات فشار و رفتار هیدرولیکی جریان در کانال جانبی این سرریزها نشان می‌دهد. با افزایش ارتفاع آبپایه، مقدار کمی شاخص شدت آشفتگی جریان در کانال جانبی کاهش می‌یابد. یافته‌های تحقیق نشان داد که موقعیت نصب آبپایه نسبت به ابتدای کانال جانبی، تأثیر زیادی بر تغییرات نوسانات فشار ندارد. افزایش شیب کف کانال جانبی تا حدود سه درصد، میزان نوسانات فشار را کاهش داده و افزایش بیشتر، موجب افزایش آشفتگی جریان می‌شود. همچنین افزایش شیب کف کانال در جهت معکوس (منفی)، تأثیر قابل توجهی بر کاهش آشفتگی جریان کانال جانبی و بهبود شرایط هیدرولیکی جریان دارد. افزایش دبی ورودی به سرریز، موجب پایدارتر شدن جریان و تقلیل حرکت برآمدگی نوسانی محدوده مرکزی کانال جانبی به جوانب کانال شده و بهبود شرایط هیدرولیکی جریان را به دنبال دارد.

**کلید واژگان:** جریان متغیر مکانی، سرریز سه‌جانبی، سرریز U شکل، عملکرد هیدرولیکی، نوسانات فشار.

## ۱- مقدمه

سرریز به یک کانال جانبی وارد می‌شود، سرریز سه‌جانبی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود (Jansen et al. 1988). این سرریزها، با نامهای سرریز وانی، سرریز U شکل و سرریز نوک اردکی نیز شناخته می‌شوند (USBR, 1974, Novak et al. 1990, Knight, 1989). از این نوع سرریزها در شرایطی

سرریزهای جانبی از جمله مجاری تخلیه‌کننده سدها هستند که در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و تأسیسات تصفیه آب و فاضلاب نیز کاربرد وسیعی دارند. نوع خاصی از این سرریزها که جریان از ابتدا و دو طرف

ضریب تخلیه سرریزهای سه‌جانبی لبه تیز را تخمین زدند. نایت<sup>۸</sup> (۱۹۸۹) طول مؤثر تاج سرریزهای دو جانبی L شکل را با در نظر گرفتن اثر کاهشی هر یک از گوشه‌های سرریز در طول تاج، ارائه کرد. او همچنین منحنیهای شدت جریان در مقابل عمق آب روی تاج سرریز را با دو روش تئوری و آزمایشگاهی بدست آورد. بر اساس نتایج مطالعات نایت، در محدوده دبی طراحی سرریز، مقادیر شدت جریان واقعی اندازه‌گیری شده کمتر از مقادیر محاسبه شده است. این روند، با افزایش شدت جریان ورودی سرریز، با همان روند و البته با شدت بیشتری ادامه می‌یابد.

بررسیهای انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد که بیشتر تحقیقات در زمینه سرریزهای سه‌جانبی سدها به صورت موردی بوده است. برای مثال می‌توان به مطالعات آزمایشگاهی مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۳۷۲)، (۱۳۷۴) و نایت (۱۹۸۹) اشاره کرد. مطالعات انجام شده در مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو، به منظور بهبود شرایط هیدرولیکی جریان سرریزهای سه سد شهید یعقوبی در تربت حیدریه، جره در رامهرمز و سیوند در شیراز و بر روی مدل‌های هیدرولیکی این سرریزها انجام شده است. این مطالعات با هدف تعیین مقادیر سه پارامتر طراحی: رقوم کف کانال جانبی، ارتفاع و شکل مناسب آبنایه انتهایی<sup>۹</sup> انجام شده است.

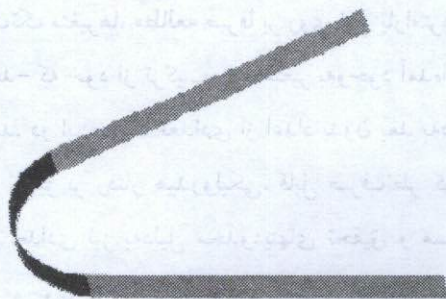
این سرریزها معمولاً در مواقعی که بتوان تاج سرریز را به راحتی در داخل مخزن جانمایی کرد، مناسب بوده که البته می‌بایست از نظر اقتصادی مورد آنالیز قرار گیرند. مبنای طراحی این نوع از سرریزهای جانبی به درستی مشخص و تبیین نشده است. اغتشاش و نوسان فشار در کانال جانبی این سرریزها زیاد است به طوری که ارائه معادله‌ای برای محاسبه پروفیل سطح آب را با دشواری مواجه می‌سازد.

استفاده می‌شود که سرریز با طول تاج زیاد مورد نیاز باشد. در سرریزهای سه‌جانبی U شکل، جریان از آستانه‌ای U شکل به کانال جانبی سرریز وارد می‌شود که وظیفه انتقال جریان را به پایین دست سازه بر عهده دارد. جریان در کانال جانبی، از نوع جریان متغییر مکانی با افزایش دبی است که به منظور عدم تاثیرگذاری جریان کانال بر جریان ورودی به آن، معمولاً با سطح مقطع غیر منشوری (افزایش عرض کف در جهت جریان) طراحی می‌شود. در شکل ۱، پلان و مقطع این سرریزها به صورت شماتیک نشان داده شده است.

مطالعه جریان سرریزهای جانبی موضوع تحقیق بسیاری از محققان بوده است. در رابطه با روابط حاکم و تبیین عوامل مؤثر بر جریان کانالهای سرریزهای یک‌جانبی می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط هیندز<sup>۱</sup> (۱۹۲۶)، فارنی و ماركوس<sup>۲</sup> (۱۹۶۲)، رانجا راجو و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۷۹)، بریمن و هگر<sup>۴</sup> (۱۹۸۹)، ین و ونزل<sup>۵</sup> (۱۹۷۰) و کوچک زاده و وطن خواه (۲۰۰۱) اشاره کرد. سوامی<sup>۶</sup> (۱۹۹۴) ضریب آبدهی سرریزهای جانبی در کانالهای مستطیلی با تاج تخت را به طور المانی مورد مطالعه قرار داد و مدلی را ارائه کرد. هنر و همکاران (۱۳۸۲) نیز با انجام تحقیقاتی ضمن مطالعه جریان زیر بحرانی در سرریزهای جانبی مایل واقع در کانالهای غیرمنشوری، ضریب آبدهی المانی این سرریزها را با استفاده از مدل PEST تحلیل کردند. فرارویی (۱۳۷۹) اثر شیب جانبی دیوار کانال اصلی سرریزهای جانبی و ارتفاع سرریز از کف کانال جانبی بر ضریب آبدهی را مطالعه کرد. هگر (۱۹۸۷) و اوماز<sup>۷</sup> (۱۹۸۲) جریان را در کانالهای جانبی با مقطع عرضی دایره‌ای شکل و اوماز (۱۹۹۷) جریان در کانالهای جانبی با مقطع عرضی V شکل را مطالعه کردند. برقی و همکاران (۱۹۹۹) در بررسیهای آزمایشگاهی،

1. Hinds
2. Farney & Markus
3. Ranga Raju et al.
4. Bremen & Hager
5. Yen & Wenzel
6. Swamee
7. Uyumaz

8. Knight  
9. End Sill



ب- نمای کانال جانبی سرریز



الف- طرحواره سطح آب در کانال جانبی سرریز

شکل ۱ طرحواره سطح آب و نمای کانال جانبی سرریز سه‌جانبی U شکل

در تحلیل ابعادی در نظر گرفته شد. متغیرها عبارتند از، طول سرریز ( $L'$ )، عرض کانال جانبی ( $B$ )، ارتفاع کانال جانبی ( $H$ )، عمق آب روی تاج سرریز ( $H_e$ )، شیب کف کانال جانبی ( $S_o$ )، دبی ورودی در واحد طول سرریز ( $q^*$ )، ارتفاع آبپایه انتهایی ( $S$ )، فاصله محل آبپایه از ابتدای کانال جانبی سرریز ( $L$ )، فشار در نقاط داخل کانال جانبی سرریز ( $p$ )، عمق در نقاط داخل کانال جانبی سرریز ( $y$ )، سرعت در نقاط داخل کانال جانبی سرریز ( $v$ )، جرم مخصوص سیال ( $\rho$ )، لزجت دینامیکی سیال ( $\mu$ ) و شتاب ثقل ( $g$ ). با استفاده از تئوری  $\pi$  باکینگهام (Vennard et al. 1982) و انتخاب عمق و سرعت جریان داخل کانال جانبی و جرم مخصوص سیال به‌عنوان سه متغیر تکراری، به منظور تعیین پارامترهای بدون بعد، محاسبات تحلیل ابعادی برای سایر متغیرها در قالب ۱۱ دستگاه سه معادله‌ای انجام شد. بدین ترتیب ۱۱ عدد بدون بعد موسوم به  $\pi_1$  تا  $\pi_{11}$  استخراج شد.

$$\pi_4 = \frac{H_e}{y}, \pi_3 = \frac{H}{y}, \pi_2 = \frac{B}{y}, \pi_1 = \frac{L'}{y}$$

$$\pi_8 = \frac{L}{y}, \pi_7 = \frac{S}{y}, \pi_6 = \frac{q^*}{yv}, \pi_5 = S_o$$

$$\pi_{11} = \frac{\mu}{\rho yv}, \pi_{10} = \frac{yg}{v^2}, \pi_9 = \frac{p}{\rho v^2}$$

به منظور کاهش حجم آزمایشها و امکان‌پذیری اجرا باتوجه به محدودیتهای تحقیقاتی بجای مطالعه بررسی

در کانالهای جانبی این سرریزها، علاوه بر دیوارهای جانبی، جریان از لبریز U شکل بالادست سرریز نیز به کانال وارد می‌شود.

مومتم جریان محوری، ضمن افزایش فشار و از طرفی نوسانات و آشفتگیهای جریان داخل کانال، موجب انتقال سریع این آشفتگیها به سازه‌های پایین‌دست کانال جانبی می‌شود. مطالعه جریان در کانال جانبی این سرریزها در قالب مطالعه اثر متغیرهای مختلف هندسی و هیدرولیکی موثر در رفتار هیدرولیکی آنها امکان‌پذیر است. مقاله حاضر حاصل یک پژوهش آزمایشگاهی است که به منظور مطالعه رفتار جریان در کانال جانبی سرریزهای U شکل انجام شده است. بدین منظور، ضمن مشخص کردن متغیرهای موثر، با انجام یک تحلیل ابعادی پارامترهای موثر تعیین و تعدادی از آنها مطالعه شد. در این راستا اثر ارتفاع و محل نصب آبپایه انتهایی، شیب کف کانال جانبی و شدت جریان ورودی به کمک یک مدل هیدرولیکی مطالعه گردید.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- تحلیل ابعادی

به منظور انجام تحلیل ابعادی، انتخاب جامعی از پارامترهای هیدرولیکی و هندسی و خصوصیات سیال انجام شد که بر عملکرد هیدرولیکی سرریزهای مورد مطالعه مؤثر باشند. بدین منظور ۱۴ متغیر مشخص شده و

دبیهای ورودی مختلف سرریز سه‌جانبی U شکل مطالعه شده است.

$$f(\pi_5, \pi_7, \pi_8, \pi_9, \pi_{10}) = 0 \quad (1)$$

که می‌توان معادله فوق را به صورت معادله زیر نیز نمایش داد:

$$\pi_9 = g(\pi_5, \pi_7, \pi_8, \pi_{10}) \quad (2)$$

$$C_p = \frac{P}{\rho v^2} = g(S_o, \frac{S}{y}, \frac{L}{y}, F_r) \quad (3)$$

$C_p$  ضریب نوسانات فشار است. با تعریف شدت آشفتگی یا سطح نوسانات جریان به صورت  $T_U = \frac{P'_{rms}}{\bar{P}}$  که در آن  $P'_{rms}$  مقدار فشار نوسانی در یک نقطه و برابر با ریشه مجذور متوسط نوسانات لحظه‌ای در آن نقطه و  $\bar{P}$  نیز فشار متوسط در آن نقطه است، می‌توان در معادله (۳) به جای  $C_p$  شاخص شدت آشفتگی ( $T_U$ ) را جایگزین کرده و معادله را به صورت زیر نمایش داد. جایگزینی این دو شاخص، با توجه به وجود ارتباط بین این دو انجام شده است (Naudascher, 1991).

$$T_U = h(S_o, \frac{S}{y}, \frac{L}{y}, F_r) \quad (4)$$

$P'_{rms}$  و  $\bar{P}$  نیز از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$\bar{P} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \quad (5)$$

$$P'_{rms} = \sqrt{\bar{P'^2}} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T P'^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (6)$$

که در آنها  $P'$  مقدار فشار لحظه‌ای و  $T$  سیکل زمانی تغییرات فشار است.

بر طبق تحلیل فوق، در این تحقیق به مطالعه اثر سه متغیر هندسی ارتفاع و محل نصب آبپایه انتهایی و شیب کف کانال جانبی سرریز سه‌جانبی و متغیر هیدرولیکی دبی جریان ورودی سرریز بر عملکرد هیدرولیکی جریان در قالب مشاهدات و مقادیر کمی شدت آشفتگی جریان در نقاط مختلف داخل کانال جانبی سرریز پرداخته می‌شود.

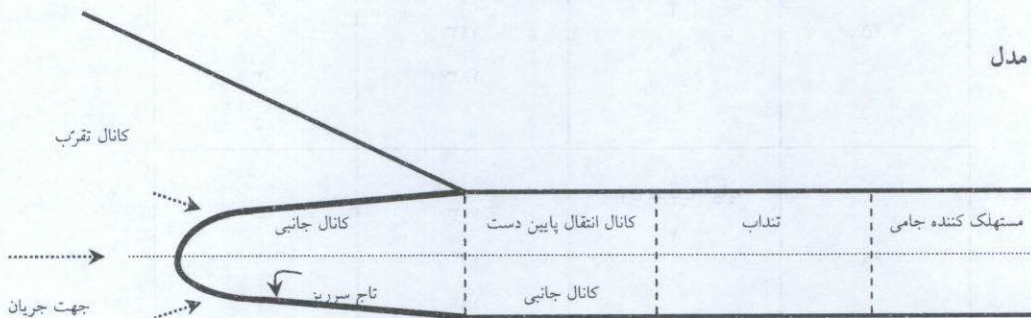
تأثیر تک‌تک متغیرها، مطالعه صرفاً بر روی این پارامترهای بدون بعد- که خود از ترکیب چند متغیر به وجود آمده‌اند- انجام شد. در این راستا تعدادی از اعداد بدون بعد به دلیل تأثیرات ناچیز بر رفتار هیدرولیکی، قابل صرف‌نظر کردن است و تعدادی نیز به دلیل محدودیتهای تحقیق و مسائل اجرایی موجود، در تغییر متغیرهای وابسته آن عدد بدون بعد، از مطالعه حذف شد. وزن تأثیر گذاری اعداد بدون بعد در تحلیل مورد نظر با استفاده از روش رگرسیون گام‌به‌گام با توجه به سطح احتمال آنها در آزمون تی ( $T$ -test) مشخص شد. در واقع از مطالعه اعداد بدون بعدی که سطح احتمال معنی‌دار آنها برابر و یا بیش از ۰/۲ بوده، صرف نظر شد. در توجیه این کار موارد زیر ذکر می‌شود. معمولاً جریان در کانال جانبی این سرریزها، ورقه‌ای نبوده و با توجه به ضخامت قابل صرف‌نظر لایه مرزی، تأثیر لزجت را بر رفتار هیدرولیکی جریان می‌توان نادیده گرفت. بدین ترتیب در مطالعات می‌توان از اثر عبارت  $\pi_{11}$  صرف‌نظر کرد. از طرفی با فرض انتخاب دبیهای ورودی سرریز در محدوده‌ای که جریان سرریز مستغرق نشود (ضریب تخلیه سرریز تغییر نکند) و فرض ثابت گرفتن طول سرریز با توجه به بررسی نشدن آن در این تحقیق، دبی در واحد طول سرریز، تابعی از ارتفاع آب روی تاج سرریز بوده و بنابراین با ملحوظ کردن عبارت  $\pi_6$  می‌توان از جمله  $\pi_4$  صرف نظر کرد. از طرفی با در نظر گرفتن اثر عدد فرود داخل کانال جانبی سرریز مورد مطالعه ( $\pi_{10}$ )، به‌نوعی اثر دبی جریان ورودی به سرریز مد نظر قرار گرفته و بنابراین می‌توان از مطالعه مستقیم جمله  $\pi_6$  نیز صرف نظر کرد. همانطور که پیشتر گفته شد، به دلیل مشکلات اجرایی موجود در تغییر سه پارامتر هندسی عرض و ارتفاع کانال جانبی سرریز و طول سرریز و محدودیتهای تحقیقاتی، اثر این سه پارامتر نیز بررسی نشد که بدین ترتیب از اثر عبارتهای  $\pi_1$ ،  $\pi_2$  و  $\pi_3$  نیز در مطالعه صرف نظر شد. بنابراین در این تحقیق تغییرات هر یک از اعداد بدون بعد معادله (۱) در

## ۲-۲- تجهیزات آزمایشگاهی

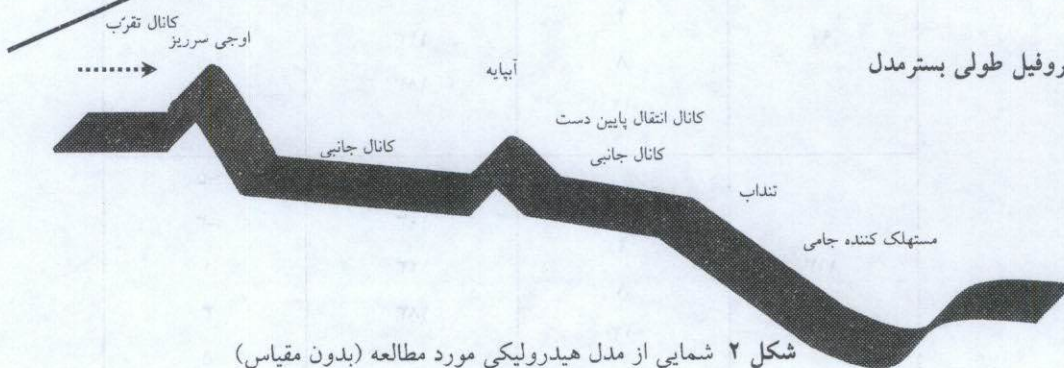
مطالعات بر روی مدل هیدرولیکی نمونه‌ای از سرریز سه‌جانبی U شکل انجام شد. طول تاج سرریز ۲ متر بوده که وجه بالادست آن از قوسی از دایره به شعاع ۴۱/۲۴ سانتیمتر و زاویه ۱۶۴ درجه و طول ۱/۱۸ متر تشکیل شده و وجوه جانبی به صورت خطوط مستقیم در طرفین آن قرار گرفته‌اند که هر یک به طول ۴۱ سانتیمتر و با زاویه ثابت ۸ درجه بتدریج باز می‌شوند. به منظور اندازه‌گیری دبی جریان آب ورودی، از یک سرریز مثلثی ۹۰ درجه که در بالادست کانال تقرب قرار گرفته، استفاده شد. جریان ورودی پس از عبور از کانال تقرب بالادست سرریز، از طریق لبریزها به داخل کانال جانبی ریخته و جمع‌آوری شده و از طریق مقطع کنترل (آبپایه انتهایی) به پایین دست منتقل می‌شود. طول کانال جانبی ۴۸/۹۲ سانتیمتر و عرض کف آن در امتداد طول متغیر و در جهت پایین‌دست واگرا است که در انتها به ۵۰ سانتیمتر می‌رسد. در انتهای کانال جانبی، یک کانال با عرض ثابت ۵۰ سانتیمتر وجود داشته که کانال جانبی را به یک تنداب (Chute) ارتباط

می‌دهد. آبپایه‌ها در طول این کانال نصب می‌شوند. پس از تنداب یک مستهلک کننده جامی قرار دارد که جریان از آن به منطقه پایاب مدل هدایت می‌شود. جنس آبپایه‌ها از چوب و شکل آن ترکیبی از نیم بیضی در بالادست و قوسی از یک دایره در پایین دست می‌باشد. طبق مطالعات مرکز تحقیقات آب و وزارت نیرو، شکل فوق مناسب‌ترین شکل آبپایه‌های انتهایی کانالهای جانبی این سرریزها است (مرکز تحقیقات آب، ۱۳۷۲). به منظور تغییر شیب کف کانال، از کفهای چوبی کاذب استفاده شد. ارتفاع آبپایه‌ها ۴، ۸ و ۱۲ سانتیمتر؛ فاصله آبپایه‌ها از ابتدای کانال ۱۰۳ (مقطع اول)، ۱۴۳ (مقطع دوم) و ۱۸۳ سانتیمتر (مقطع سوم)؛ شیب کف کانال برابر ۱، ۳ و ۵ درصد مثبت و ۳ و ۵ درصد منفی؛ و دبیهای ورودی به سرریز برابر ۴۵، ۶۸، ۹۰ و ۱۱۳ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. منظور از شیب مثبت و منفی (معکوس) کف به ترتیب شیب در جهت جریان و در خلاف جهت جریان می‌باشد. شکل ۲ طرحواره پروفیل طولی و نمای مدل مورد استفاده را نشان می‌دهد.

الف- نمایی از مدل



ب- پروفیل طولی بسترمدل



شکل ۲ شمایی از مدل هیدرولیکی مورد مطالعه (بدون مقیاس)

## ۲-۳- انجام آزمایشها

در این تحقیق اثر سه پارامتر هندسی ارتفاع آبپایه، موقعیت نصب آبپایه (فاصله از ابتدای کانال جانبی) و شیب کف کانال جانبی در دبیهای مختلف ورودی، مورد مطالعه قرار گرفت. خلاصه‌ای از شرایط انجام آزمایشها در جدول ۱ آورده شده است.

ترتیب انجام آزمایشها چنین است که ابتدا بدون نصب آبپایه، برای چهار دبی تعریف شده، آزمایشهایی انجام شد. سپس آزمایشها به ازای هر یک از دبیها، با نصب آبپایه‌ها با ارتفاعهای مختلف در مقطع اول، تکرار شد.

به همین ترتیب آزمایشها برای حالات نصب آبپایه‌ها در مقاطع دوم و سوم انجام شد. در آزمایشهای مربوط به تغییر شیب کف، کلیه آزمایشها برای حالت نصب آبپایه با

ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در مقطع اول انجام شد. در هر آزمایش ضمن بررسی الگوی جریان، تغییرات فشارهای لحظه‌ای در ۲۰ نقطه انتخابی در محدوده کف کانال جانبی، اوجی سرریز و وجه بالادست آبپایه با استفاده از یک دیتالاگر ثبت شد. بدین منظور از یک آمپلی‌فایر با چهار کانال فعال و چهار ترانس‌دیوسر فشار ۷۰ میلی‌بار استفاده شد. در کلیه آزمایشها، ثبت پالسهای الکترونیکی برای ۳۰۰ نمونه در ثانیه و به مدت ۲۰ ثانیه انجام شد که از ۲۰ ثانیه ضبط شده، داده‌های ۱۰ ثانیه‌ای که نوسانات در آن بیشتر بود، مورد تحلیل قرار گرفت. شکل ۳ توزیع شبکه پیزومترهای انتخابی و مقاطع نصب آبپایه را بر روی مدل مطالعه شده نشان می‌دهد.

جدول ۱ خلاصه‌ای از شرایط انجام آزمایشها

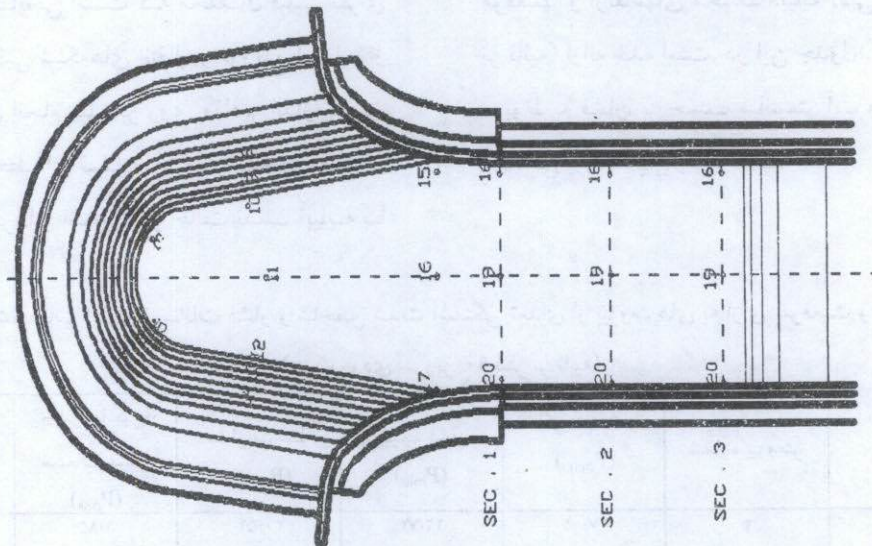
دبی ورودی به سرریز (لیتر بر ثانیه)	ارتفاع آبپایه (سانتی متر)	فاصله آبپایه از ابتدای کانال جانبی (سانتی متر)	شیب کف کانال جانبی (درصد)
۴۵	بدون نصب آبپایه	۱۰۳	-۵
	۴	۱۴۳	-۳
	۸	۱۸۳	۱
	۱۲		۳
			۵
۶۸	بدون نصب آبپایه	۱۰۳	-۵
	۴	۱۴۳	-۳
	۸	۱۸۳	۱
	۱۲		۳
			۵
۹۰	بدون نصب آبپایه	۱۰۳	-۵
	۴	۱۴۳	-۳
	۸	۱۸۳	۱
	۱۲		۳
			۵
۱۱۳	بدون نصب آبپایه	۱۰۳	-۵
	۴	۱۴۳	-۳
	۸	۱۸۳	۱
	۱۲		۳
			۵

### ۳- نتایج و بحث

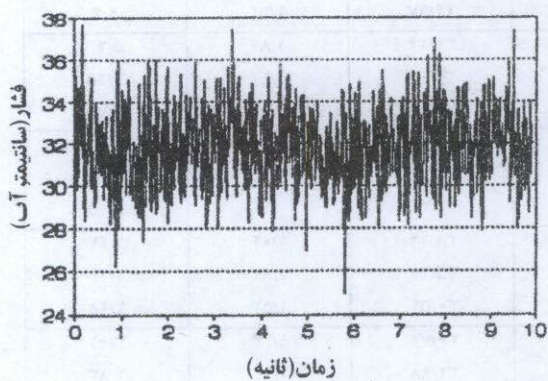
مشاهده الگوی جریان در طول آزمایشهای مختلف نشان می‌دهد که در محدوده مرکزی کانال جانبی سرریز، یک برآمدگی در سطح جریان (گرده ماهی) تشکیل شده که عامل اصلی شکل‌گیری آن را می‌توان برخورد جریانهای ورودی در این محدوده دانست. ممتم جریانهای ورودی در جهت عمود بر جریان محوری، به علت برخورد با یکدیگر، به فشار تبدیل شده و به صورت افزایش عمق جریان در این محدوده آشکار می‌شود. به ازای دبیهای ورودی کمتر، ممتم جریان ورودی به کانال جانبی کم بوده و در نتیجه فشار و به تعبیری عمق جریان در

محدوده محور مرکزی کانال نیز کم است. در این شرایط، عمق جریان در کناره‌های گرده ماهی نیز کمتر بوده و گرده ماهی از پایداری زیادی برخوردار نیست و در جهت جوانب کانال دارای نوسان است.

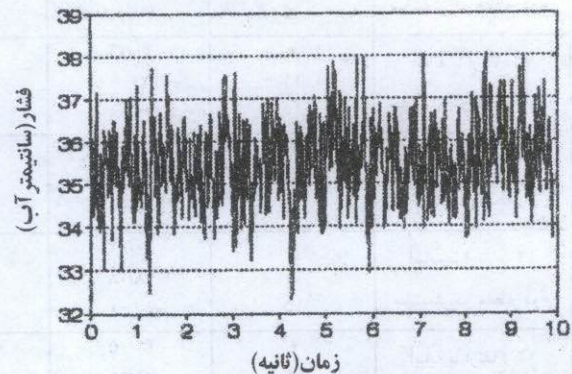
شکل ۴ تغییرات فشارهای لحظه‌ای پیزومتر شماره ۱۱ را در بازه زمانی ۱۰ ثانیه، در حالت نصب آبیایه با ارتفاع ۴ و ۱۲ سانتیمتر در مقطع دوم نشان می‌دهد. دبی ورودی سرریز برابر ۹۰ لیتر بر ثانیه است. همانطور که در این شکل نشان داده شده، بازه نوسانات فشار در حالت نصب آبیایه با ارتفاع ۴ سانتیمتر بیشتر از حالت نصب آبیایه با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر می‌باشد.



شکل ۳ توزیع شبکه پیزومترهای انتخابی و مقاطع نصب آبیایه‌ها



ب- آبیایه با ارتفاع ۴ سانتیمتر



الف- آبیایه با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر

شکل ۴ فشارهای دینامیکی پیزومتر شماره ۱۱ در حالت نصب آبیایه با ارتفاع ۴ و ۱۲ سانتیمتری در مقطع دوم

ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در مقطع دوم، به اندازه ۳ برابر نسبت به حالت نصب آبیایه با ارتفاع ۴ سانتیمتر و ۲/۵ برابر نسبت به آبیایه ۸ سانتیمتری در همین مقطع کاهش می‌یابد. مقدار این شاخص در حالت بدون نصب آبیایه، به اندازه ۳/۶ برابر نسبت به حالت نصب آبیایه با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در مقطع دوم افزایش نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تغییر محل نصب آبیایه از ابتدای کانال جانبی، تاثیر زیادی بر تغییر نوسانات فشار و رفتار هیدرولیکی جریان کانال جانبی ندارد. در جدول ۲، مشخصات آماری نوسانات فشار و شاخص شدت آشفستگی تعدادی از پیزومترهای مورد مطالعه به ازای موقعیتهای و ارتفاعهای مختلف آبیایه (دبی ورودی ۹۰ لیتر بر ثانیه) ارائه شده است. در این جدول، پارامترهای آماری مربوط به فشار، بر حسب سانتیمتر آب و شاخص شدت آشفستگی بر حسب درصد است.

بر اساس نتایج اندازه‌گیری فشارهای لحظه‌ای در شبکه پیزومتری انتخابی، با افزایش ارتفاع آبیایه در هر یک از سه مقطع مطالعه شده، به ازای کلیه دبیهای ورودی سرریز، عمق آب در کانال جانبی افزایش یافته و میزان نوسانات فشار کاهش می‌یابد. با افزایش عمق جریان در کانال جانبی، اختلاف سطح آب روی تاج سرریز و کانال- که خود عامل کاهش سرعت جریان ورودی، منتم و عمق گرده ماهی است- کاهش می‌یابد. مشاهده الگوی جریان در آزمایشهای مختلف نیز این نتیجه را تأیید می‌کند. از طرفی نتیجه فوق برای سرریزهای خاص مورد مطالعه در این تحقیق، از تاثیر نصب آبیایه انتهایی بر عمق جریان، مشابه نتایجی است که محققان قبلی برای سرریزهای یک‌جانبی شبکه‌های انتقال و توزیع آب ابراز کرده‌اند. تحلیل‌های انجام شده بر روی مقادیر اندازه‌گیری شده فشارهای لحظه‌ای نشان داد که شاخص شدت آشفستگی در پیزومترهای انتخابی در حالت نصب آبیایه با

جدول ۲ مشخصات آماری نوسانات فشار و شاخص شدت آشفستگی تعدادی از پیزومترهای به ازای موقعیت و ارتفاع آبیایه (دبی ورودی سرریز ۹۰ لیتر بر ثانیه)

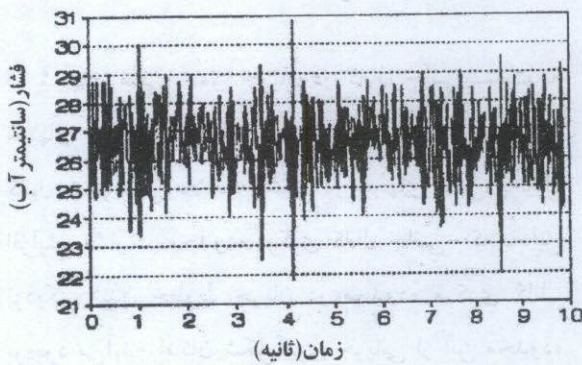
شرح آزمایش	شماره پیزومتر	ماکزیمم فشار (P <sub>max</sub> )	مینیمم فشار (P <sub>min</sub> )	فشار متوسط (P <sub>mean</sub> )	جذر میانگین مربعات فشار (P <sub>rms</sub> )	شاخص شدت آشفستگی (T <sub>U</sub> )
بدون نصب آبیایه	۴	۳۷/۰۲	۲۲/۸۳	۳۰/۵۴	۱/۸۵	۶/۰۶
	۱۱	۳۵/۳۳	۲۲/۰۹	۲۹/۴۴	۱/۸۴	۶/۲۵
	۱۵	۳۳/۸۳	۱۶/۹۹	۲۴/۹۷	۲/۷۹	۱۱/۱۷
آبیایه با ارتفاع ۴ سانتیمتر در مقطع دوم	۴	۳۹/۴۲	۲۵/۸۳	۳۲/۸۹	۱/۹	۵/۷۷
	۱۱	۳۷/۶۶	۲۳/۶۸	۳۱/۷۹	۱/۵۸	۴/۹۷
	۱۵	۳۳/۶۷	۱۶/۲۸	۲۴/۹۷	۲/۳۲	۹/۳
آبیایه با ارتفاع ۸ سانتیمتر در مقطع دوم	۴	۴۰/۷۴	۲۵/۷۸	۳۴/۲۴	۱/۸۶	۵/۴۳
	۱۱	۳۶/۶	۲۵/۰۹	۳۱/۰۹	۱/۳۲	۴/۲۵
	۱۵	۳۲/۸۱	۲۱/۴۷	۲۶/۹۶	۱/۸۱	۶/۷۱
آبیایه با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در مقطع اول	۴	۴۱/۴	۳۱/۷۸	۳۷/۸	۱/۲۱	۳/۲
	۱۱	۳۶/۳۹	۳۱/۲	۳۳/۸۳	۰/۸۱	۲/۴
	۱۵	۳۶/۵۳	۲۶/۱۵	۳۰/۳۲	۱/۵	۵/۰۵
آبیایه با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در مقطع دوم	۴	۴۰/۶۴	۳۳/۸۳	۳۸/۱۴	۱/۰۲	۲/۶۷
	۱۱	۳۸/۰۸	۳۲/۳۲	۳۵/۴۶	۰/۸۲	۲/۲۳
	۱۵	۳۷/۲۸	۲۴/۷۲	۳۰/۵۴	۱/۵۲	۴/۹۸
آبیایه با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در مقطع سوم	۴	۴۱/۰۵	۳۱/۷۸	۳۶/۷۴	۱/۳۳	۳/۶۲
	۱۱	۳۶/۴۹	۲۹/۳۳	۳۲/۹۸	۰/۹۳	۲/۸۳
	۱۵	۳۴/۵۴	۲۳/۳	۲۷/۹۶	۱/۴۸	۵/۳



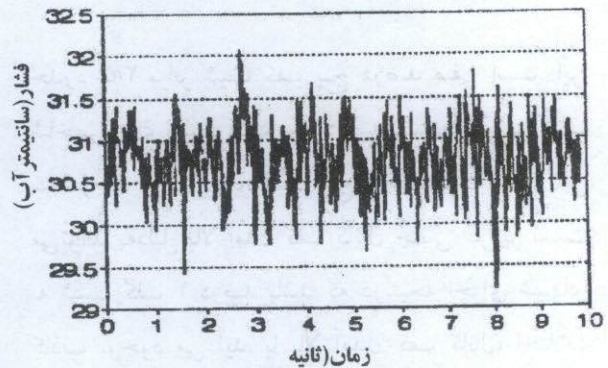
پیزومترهای مورد مطالعه، به ازای شیبهای کف مختلف ارائه شده است.

در شکل ۶ تغییرات شاخص شدت آشفستگی نسبت به شیب کف کانال جانبی ( $S_0$ ) برای پیزومترهای شماره ۸، ۹ و ۱۴ نشان داده شده است. بررسی نتایج جدول ۳ و شکل ۶ نشان می‌دهد که شیبهای منفی (معکوس) کف کانال جانبی سرریز، موجب یکنواختی جریان در عرض کانال می‌شود. هر چه شیب منفی تر شود، یکنواختی جریان بیشتر می‌شود.

در شکل ۵ فشارهای لحظه‌ای پیزومتر شماره ۹ در بازه زمانی ۱۰ ثانیه، برای دو شیب کف سه درصد مثبت و پنج درصد منفی، مقایسه شده است. در هر دو آزمایش، آبپایه دارای ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در مقطع اول نصب بوده و دبی ورودی سرریز برابر ۹۰ لیتر بر ثانیه است. همانطور که نشان داده شده، بازه نوسانات فشار در این پیزومتر، برای شیب کف پنج درصد منفی، نسبت به سه درصد مثبت، به مراتب کمتر می‌باشد. در جدول ۳ مشخصات آماری نوسانات فشار و شاخص شدت آشفستگی تعدادی از



ب- شیب کف ۳٪



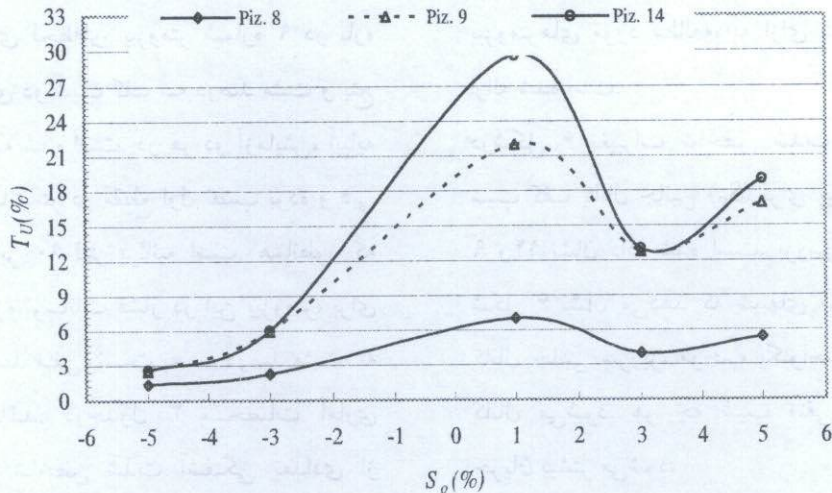
الف- شیب کف ۵٪-

شکل ۵ فشارهای دینامیکی پیزومتر شماره ۹ در حالت نصب آبپایه با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در مقطع اول در شیبهای

کف ۵٪- و ۳٪ (دبی ورودی ۹۰ لیتر بر ثانیه)

جدول ۳ مشخصات آماری نوسانات فشار و شاخص شدت آشفستگی تعدادی از پیزومترهای مورد مطالعه به ازای شیبهای کف کانال جانبی (دبی ورودی سرریز معادل ۹۰ لیتر بر ثانیه- نصب آبپایه با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در مقطع اول)

شرح آزمایش	شماره پیزومتر	ماکزیمم فشار ( $P_{max}$ )	مینیمم فشار ( $P_{min}$ )	فشار متوسط ( $P_{mean}$ )	جذر میانگین مربعات فشار ( $P_{rms}$ )	شاخص شدت آشفستگی ( $T_U$ )
شیب ۵٪-	۸	۲۲/۸۶	۱۸/۸۳	۲۱/۵۶	۰/۴۵	۲/۰۹
	۹	۳۲/۰۸	۲۹/۲۲	۳۰/۷۴	۰/۳۸	۱/۲۴
	۱۴	۲۱/۱۳	۱۸/۲۲	۱۹/۶۶	۰/۴۸	۲/۴۴
شیب ۳٪-	۸	۱۹/۲۴	۱۲/۸۹	۱۵/۵۹	۰/۹	۵/۷۷
	۹	۳۱/۷۶	۲۷/۴۴	۲۹/۴۳	۰/۶۴	۲/۱۷
	۱۴	۱۹/۲	۱۰/۴۹	۱۴/۳۶	۰/۹۳	۶/۴۷
شیب ۱٪+	۸	۱۵/۶۳	۲/۷۶	۷/۹۹	۱/۷۹	۲۲/۴
	۹	۳۱/۲	۱۷/۰۰	۲۴/۴۹	۱/۷۳	۷/۰۶
	۱۴	۲۰/۵۶	۱/۳۳	۸/۹۲	۲/۶۷	۲۹/۹
شیب ۳٪+	۸	۱۸/۶۳	۷/۵۴	۱۱/۵	۱/۴۲	۱۲/۳۵
	۹	۳۱/۶۷	۲۱/۸۳	۲۶/۵۱	۱/۰۰	۳/۷۷
	۱۴	۲۰/۳	۵/۳۵	۱۱/۶۴	۲/۰۱	۱۲/۲۷
شیب ۵٪+	۸	۲۳/۰۵	۵/۵۱	۱۱/۱۴	۱/۸۸	۱۶/۸۸
	۹	۳۰/۴۹	۱۹/۱۴	۲۵/۸۶	۱/۳۸	۵/۳۴
	۱۴	۲۰/۳۶	۵/۰۵	۱۱/۲۷	۲/۱۴	۱۸/۹۹



شکل ۶ اثر شیب کف کانال جانبی بر مقدار شاخص شدت آشفستگی

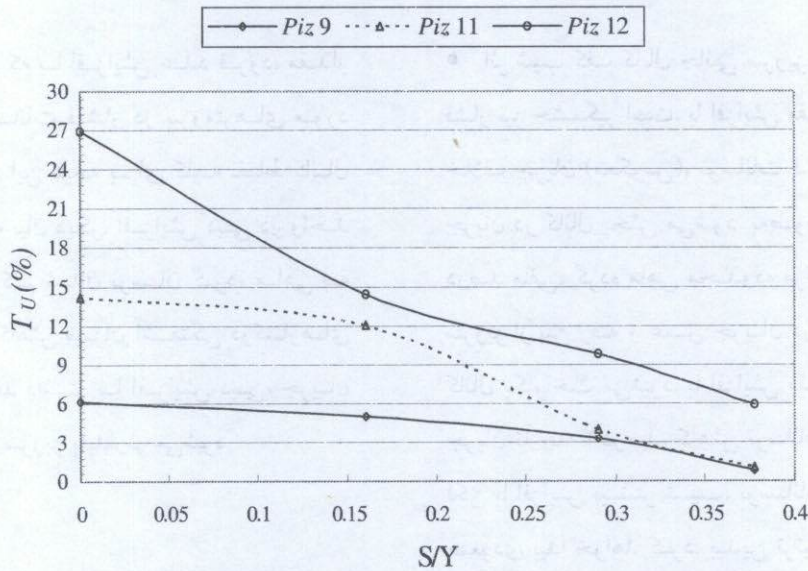
حدود ۲/۵ برابر شیب کف پنج درصد منفی است. این شاخص برای شیب کف یک درصد مثبت، ۲ برابر شیب سه درصد و ۱/۳ برابر شیب پنج درصد مثبت است. این می‌تواند به دلیل بالا آمدن کف کانال جانبی سرریز نسبت به شیب کف ۱ درصد باشد که در نتیجه اجرای شیپهای کاذب بوجود می‌آید. با بالا آمدن کف کانال، اختلاف سطح آب بین تاج سرریز و کانال کاهش یافته و ضمن کاهش ممتد ورودی به کانال، اختلاط جریان ورودی و داخل کانال بهتر انجام می‌شود که تقلیل در میزان آشفستگی و تلاطم جریان را سبب می‌گردد. اینکه سطح آشفستگیها در شیب ۱ درصد بیشتر از ۳ درصد بوده، ناشی از آن است که کف کانال جانبی در شیب ۳ درصد نسبت به شیب ۱ درصد بالاتر آمده است. مطلب مهم در نتایج آن است که با افزایش شیب کف کانال در جهت مثبت تا حدود ۳ درصد، میزان نوسانات و سطح آشفستگیها در کانال جانبی سرریزهای مورد مطالعه کاهش یافته و با افزایش شیب کف از حد ۳ درصد، میزان نوسانات و آشفستگیهای جریان نیز افزایش می‌یابد.

در شکل‌های ۷ تا ۹ منحنیهای بدون بعدی ارائه شده که به ترتیب اثر نسبت ارتفاع آبپایه به عمق متوسط جریان در مقطع بالادست محل نصب آبپایه ( $S/Y$ )، نسبت فاصله محل نصب آبپایه از ابتدای کانال جانبی به عمق متوسط

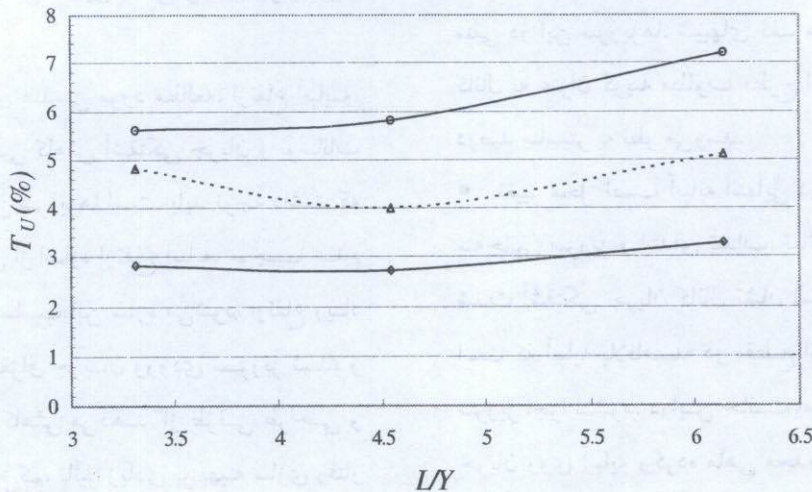
در شیپهای منفی، عمق جریان در کانال جانبی نسبت به شیپهای مثبت بیشتر است که این افزایش در کناره‌های کانال بیشتر قابل ملاحظه است. در شیپهای منفی، به دلیل افزایش فشار در محدوده مرکزی کانال جانبی - که به دلیل نزدیکتر شدن خطوط جریان در محدوده مرکزی کانال بوجود می‌آید- امکان شکل‌گیری جریانی از این محدوده به طرف کناره‌های کانال وجود دارد. برخورد این جریانها با جریانهای ورودی از لبریزهای جانبی، موجب افزایش عمق در کناره‌های کانال و یکنواختی جریان می‌شود. از طرفی با افزایش سطح آب در کانال، اختلاف سطح آب روی تاج سرریز و کانال کاهش یافته و اختلاط جریان ورودی و داخل کانال بهتر صورت می‌گیرد که این تقلیل در میزان آشفستگی و تلاطم جریان را سبب می‌شود. به نظر می‌رسد که در افزایش شیب کف کانال جانبی تا حدود سه درصد مثبت، اثر افزایش سرعت جریانهای ورودی از لبریزهای جانبی و تشکیل گرده ماهی، بر اثر افزایش سرعت محوری غالب بوده و با افزایش شیب از حدود سه درصد مثبت، اثر سرعت جریان محوری غالب می‌شود. از این رو با افزایش شیب از حدود سه درصد مثبت، بار دیگر نوسانات فشار در کانال جانبی نیز شدت می‌گیرد. نتایج نشان داد که شاخص شدت آشفستگی ( $T_U$ ) روی دیوارهای جانبی کانال در شیب کف سه درصد منفی

مقادیر کمینه آن بر روی محور مرکزی کف کانال به وقوع می پیوندد. شکل ۸ بیانگر آن است که موقعیت نصب آبپایه، تأثیر قابل توجهی بر شدت آشفتگی و به بیان دیگر رفتار هیدرولیکی جریان کانال جانبی ندارد. لازم به ذکر اینکه نصب آبپایه در مقطع انتهای کانال جانبی، موجب اندرکنش جریان داخل کانال و ادامه یافتن جریانهای ورودی از لبریزهای جانبی به روی آبپایه می شود که این باعث افزایش میزان نوسانات جریان روی بر این سازه می شود. نتایج نشان داد که مقطع دوم انتخابی در این مطالعه، برای نصب آبپایه، مناسب تر است.

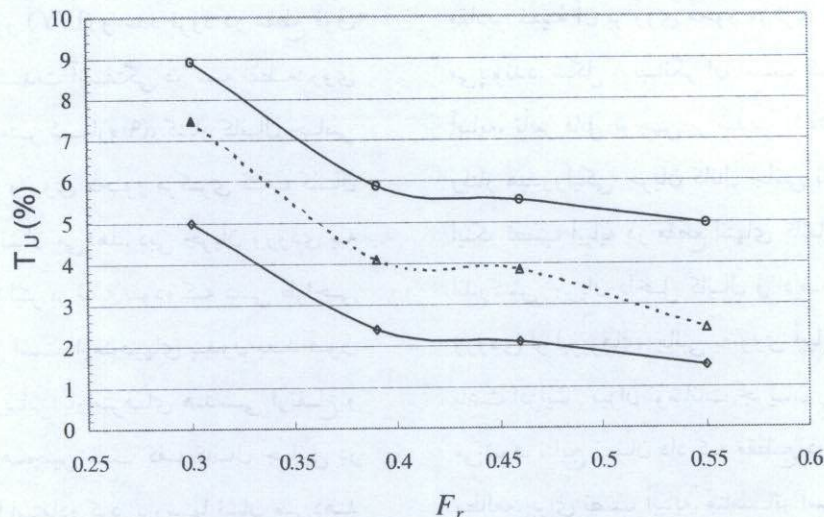
جریان در مقطع مذکور ( $L/Y$ ) و عدد فرود در مقطع فوق ( $F_r$ ) را بر شاخص شدت آشفتگی در سه نقطه: روی اوجی سرریز (پیزومتر شماره ۹)، کنار کانال جانبی (پیزومتر شماره ۱۲) و روی محور مرکزی کف کانال (پیزومتر شماره ۱۱) نشان می دهد. دبی جریان ورودی به کانال جانبی برابر ۹۰ لیتر بر ثانیه بوده که دبی طراحی سرریز و کانال جانبی است. از منحنیهای بدون بعد فوق می توان به منظور ارزیابی پارامترهای هندسی ارتفاع و محل نصب آبپایه و همچنین شیب کف کانال جانبی در طراحی این سرریزها استفاده کرد. بررسیها نشان می دهد که مقادیر بیشینه این شاخص در روی اوجی سرریز و



شکل ۷ اثر نسبت ارتفاع آبپایه به عمق جریان بر مقدار شاخص شدت آشفتگی



شکل ۸ اثر نسبت فاصله قرارگیری آبپایه از ابتدای کانال جانبی به عمق جریان بر مقدار شاخص شدت آشفتگی



شکل ۹ اثر عدد فرود بر مقدار شاخص آشفتگی

- اثر شیب کف کانال جانبی سرریز بر میزان نوسانات فشار نیز چشمگیر است. با افزایش مقدار شیب در جهت خلاف جریان (معکوس)، نوسانات فشار کاهش یافته و جریان در کانال پخش می‌شود. به طوری که در شیب ۵ درصد منفی، گرده ماهی محدوده مرکزی کانال جانبی سرریز از بین رفته و عمق جریان در کلیه نقاط داخل کانال یکنواخت می‌شود. با افزایش مقدار شیب در جهت جریان تا حد ۳ درصد، کاهش نوسانات فشار ادامه دارد لکن با افزایش بیشتر شیب، نوسانات فشار نیز روند صعودی پیدا خواهد کرد. بدین ترتیب و با توجه به مشکلات اجرایی و بهره برداری از کانال جانبی با شیب منفی در این سرریزها، شیبهای کف مثبت در جهت محور کانال به عنوان گزینه مطلوب مطرح است که شیبهای ۲-۳ درصد مناسبتر به نظر می‌رسد.

- تغییر محل نصب آبپایه انتهایی در فاصله بین کانال سه‌جانبی سرریز و ابتدای تنداب، تاثیر زیادی بر میزان شدت آشفتگی جریان کانال نشان نمی‌دهد لکن مناسب است که آبپایه بلافاصله در مقطع انتهای کانال جانبی سرریز اجرا نشود. در این حالت امکان اندرکنش بین جریان روی آبپایه و گرده ماهی محدوده مرکزی کانال و نامطلوب شدن شرایط هیدرولیکی جریان وجود دارد.

شکل ۹ نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود، مقدار شدت آشفتگی و نوسانات فشار در پیرومترهای مورد مطالعه کاهش می‌یابد. این نتیجه برای کلیه نقاط کانال جانبی صادق است. به بیان دیگر، افزایش دبی در واحد طول سرریز، موجب کم شدن نوسان گرده ماهی به جوانب کانال شده و کاهش میزان آشفتگی درکنارهای کانال را به دنبال خواهد داشت. با افزایش دبی، جریان داخل کانال سه‌جانبی سرریز پایدارتر می‌شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

به طور کلی یافته‌های این تحقیق را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- در میان متغیرهای هندسی مورد مطالعه، ارتفاع آبپایه، مؤثرترین متغیر هندسی کاهش آشفتگی جریان و نوسانات فشار کانال جانبی این سرریزها است. باید توجه داشت که زیاد یا کم بودن بیش از اندازه ارتفاع آبپایه، موجب عدم دستیابی به عملکرد مناسب این سازه می‌شود. ارتفاع زیاد آبپایه موجب استغراق جریان ورودی سرریز شده و ضریب تخلیه آن را کاهش می‌دهد. از طرفی طراحی و اجرای آبپایه با ارتفاع کم، تاثیر زیادی بر بهینه سازی رفتار هیدرولیکی جریان کانال جانبی سرریز ندارد.

زیر بحرانی در سرریزهای جانبی مایل واقع در کانالهای غیر منشوری". مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز، ۲۹ مهرماه لغایت آبان ماه.

- [6] Borghei, M.S., Jalili, M.R., and Ghodsian, M.(1999). "Discharge Coefficient for Sharp-Crested Side Weir in Subcritical Flow". J. Hydr. Engrg., ASCE, 125(10): 1051-1056.
- [7] Bremen, R., Hager, W.H.(1989). "Experiments in Side Channel Spillways". J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 115, No. 5: 617-635.
- [8] Farney, H.S., Markus, A.(1962). "Side Channel Spillway Design". J. Hydr. Div., ASCE, Vol. 88, No.3.
- [9] Hager, W.H.(1987). "Discussion of Flow over Side Weir in Circular Channels". J. Hydr. Engrg., ASCE, 113(5): 685-688.
- [10] Hinds, J.(1926). "Side Channel Spillway". Trans. of ASCE, 89: 881-927.
- [11] Jansen, I., Robert, B.(1988). Advanced Dam Engineering for Design, Construction, and Rehabilitation. Van Nostrand Reinhold, New York.
- [12] Knight, A.(1989). "Design of Efficient Side Channel Spillway". J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 115, No. 9: 1275-1289.
- [13] Kouchakzadeh, S., Vatankhah A., A.R.(2001). "Spatially Varied Flow in Non- Prismatic Channels: Dynamic Equation". Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Congress of the IAHR, Beijing, China.
- [14] Naudascher, E.(1991). Hydrodynamic Forces. International Association for Hydraulic Research (IAHR).
- [15] Novak, P.A., Moffat, I.B., Nalluri, C., Narayanan, R.(1990). Hydraulic Structures. London, Unwin Hyman.
- [16] Ranga Raju, K.G., Parasad, B., and Gupta, S.K.(1979). "Side Weir in Rectangular Channel". J. Hydr. Engrg., ASCE, 113(2): 98-105.
- [17] Swamme, P.K., Pathak, S.K., Mohan, M., Agrawal, S.K., and Ali, M.S. (1994). "Subcritical flow over rectangular side weir". J. Hydr. Engrg., ASCE, 113(2): 98-105.
- [18] Uyumaz, A.(1982). Theoretical and Experimental Investigations of Flow over

نصب آبیانه با فاصله‌ای نه چندان زیاد در پایین دست مقطع انتهایی کانال جانبی، مناسب به نظر می‌رسد.

- با افزایش دبی ورودی سرریزهای مورد مطالعه، میزان نوسان گرده ماهی محدوده مرکزی کانال جانبی به جوانب کانال کاهش یافته و آشفتگی جریان نیز تقلیل می‌یابد. به بیان دیگر با افزایش دبی ورودی به سرریز، جریان داخل کانال سه‌جانبی سرریز پایدارتر خواهد شد.

## ۵- تشکر و قدردانی

ساخت و آماده سازی مدل هیدرولیکی مورد مطالعه در این تحقیق و انجام آزمایشها، در مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو انجام شده است. بدین وسیله از حمایتها و همکاریهای ارزشمند مسؤول و کارشناسان گروه سازه‌های هیدرولیکی این مرکز تشکر و قدردانی می‌شود.

## ۶- منابع

- [۱] فراوی، م.(۱۳۷۹). "بررسی هیدرولیک جریان و اصلاح ضریب تخلیه سرریز جانبی تحت تاثیر شیب دیواره در بالادست". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
- [۲] مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۳۷۲). گزارش نهایی مدل هیدرولیکی سرریز سد شهید یعقوبی، نشریه شماره ۱۶۱.
- [۳] مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۳۷۴). گزارش نهایی مدل هیدرولیکی سرریز سد جره، نشریه شماره ۲۶۸.
- [۴] هنر، ت.، م. جوان و ع. کشاورزی (۱۳۸۲). "آنالیز ضریب آبدی المانی سرریزهای جانبی مایل در کانالهای غیر منشوری مستطیلی با استفاده از مدل PEST". مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز، ۲۹ مهرماه لغایت آبان ماه.
- [۵] هنر، ت.، م. جوان و ع. کشاورزی (۱۳۸۲). "جریان

Second ed. (Revised Reprint).

[21] Vennard, J.K., and Streeter, R.L.(1982). Elementary Fluid Mechanics. John Wiley & Sons, N.Y., New York.

[22] Yen, B.C., Wenzel. Jr., H.G.(1970). "Dynamic Equations for steady Varied Flow". J. Hydr. Div., ASCE, Vol.96, No.3: 801-814.

Side Weirs. PhD Thesis, Istanbul Tech. Univ., Istanbul, Turkey.

[19] Uyumaz, A.(1997). "Side Weir in V-shaped Channels". J. Hydr. Engrg., ASCE, 123(7): 639-646.

[20] USBR(1974). Design of Small Dams. Mohan Primlani for Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. LTd., New Delhi,

[1] Boman, R. Hager, W.H.(1989). Experiments in Side Channel Spillways". J. Hydr. Engrg. ASCE, Vol. 115, No. 2, 617-632.

[2] Farny, H.S., Mauer, A. (1982). "Side Channel Spillway Design". J. Hydr. Div. ASCE, Vol. 88, No. 3.

[3] Hager, W.H. (1987). "Distortion of flow over side weir in circular channels". J. Hydr. Engrg. ASCE, 113(7): 682-688.

[10] Hager, W.H. (1987). "Side Channel Spillway". J. Hydr. Div. ASCE, 88, 881-927.

[11] Janzen, J. Robert, B.(1988). Advanced Dam Engineering for Design, Construction and Rehabilitation. Van Nostrand Reinhold, New York.

[12] Knight, A. (1989). "Design of Efficient Side Channel Spillways". J. Hydr. Engrg. ASCE, Vol. 115, No. 9, 1232-1250.

[13] Kocharski, Z., Yankin, A. (2001). "Spatially Varied flow in Non-Prismatic Channels - Dynamic Equations". Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Congress of the IAHR, Beijing, China.

[14] Kumbayev, E.(1991). Hydrodynamic Forces International Association for Hydraulic Research (IAHR).

[15] Novak, P.A., Moffat, J.B., Nallin, C., Narayanan, R.(1990). Hydraulic Structures. London, Taylor Hyman.

[16] Raju, R.K.G., Rajasekhar, B. and Gupta, S.K. (1979). "Side Weir in Rectangular Channel". J. Hydr. Engrg. ASCE, 105(2): 98-102.

[17] Swaminam, R.K., Laksh, S.K., Mohan, M., Agrawal, S.K. and Ali, M.S. (1997). "Subcritical flow over rectangular side weir". J. Hydr. Engrg. ASCE, 123(3): 98-105.

[18] Uyumaz, A. (1997). Theoretical and Experimental Investigations of flow over