

Research Paper

Experimental Comparison of Variations in Water Level, Reynolds Shear Stress, and Flow Velocity Collected by Using ADV and PIV Around Undamaged and Damaged Piers During Generation of Positive Surges in Sloped and Horizontal Channels

Ehsan Oveici¹, Omid Tayari^{2*}, Navid Jalalkamali³

1. Ph.D. Graduate Student, Department of Civil Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

3. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

Received: 2020/06/10

Revised: 2020/06/24

Accepted: 2021/06/05

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/wej.2022.25118.2248

Keywords:

Agriculture, Water well, Conflict perception, Conflict management

Abstract

Introduction: The presence of positive surges can cause bank destruction, bed scouring, and damages to structures such as bridge piers installed on the path. On the other hand, the remains and bridge pier destruction waste on the path affect velocity variations and flow surface fluctuations resulting from these surges and require careful investigations.

Methods: This study comprises an experimental analysis of the effect of present damaged and undamaged bridge piers on flow pattern variations during the generation of positive surges in sloped and horizontal channels. To this aim, ADV was utilized to help collect three-dimensional flow velocity data. Moreover, PIV was used to help make a comparison with ADV data results. Four distinct probes were incorporated for bathymetry in the horizontal and the sloped channels.

Findings: The obtained results were indicative of non-breaking undular surges generated in the horizontal channel and non-breaking and breaking undular surges formed in the sloped channel. In the sloped channel, the maximum velocity increase occurred with installation of two piers, which showed a 34.39% increase compared to that under the same conditions in the horizontal channel. Furthermore, the average water level variations due to the slope of the channel in cases without an element, with a damaged element, with an undamaged element, and with a combination of damaged and undamaged elements were respectively equal to 31.66, 32.70, 29.88, and 27.40%. In addition, the Reynolds shear stress values were also calculated in the sloped channel to be 7.6, 3.57, 1.38, and 1.68 times those in the horizontal channel.

Citation: Oveici E, Tayari O, Jalalkamali N. Experimental Comparison of Variations in Water Level, Reynolds Shear Stress, and Flow Velocity Collected by Using ADV and PIV Around Undamaged and Damaged Piers during Generation of Positive Surges in Sloped and Horizontal Channels. *Water Resources Engineering Journal*. 2022; 14(51): 147- 164.

***Corresponding author:** Omid Tayari

Address: Department of Civil Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

Tell: +989133431147

Email: tayari@iauk.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The sudden opening or closing of gates in open channels (whether natural or artificial) in the flow path generates positive and negative surges. The sudden opening of the gates causes a positive downstream surge (progressively increasing the depth of flow) and a negative upstream surge (progressively decreasing the flow depth). It rotates simultaneously. In the present study, the second case, i.e., sudden blockage of the flow path, which is either in the form of the sudden closure of the valve or in the form of the sudden collapse of debris and complete blockage of the path, will be investigated. This situation can also occur in artificial routes such as water transfer systems, agricultural and irrigation canals, treatment plants, and side overflow canals. These surges can cause damage to the sides, scour the floor, and damage structures along the way (bridge piers, platforms, and water facilities). On the other hand, especially in times of floods, the remnants of the destruction of the base of the stairs and debris in the flow path are effective on changes in the flow pattern of these surges and need to be further studied. Due to the importance of these issues, especially during river flooding, in this study, instantaneous velocity changes and flow level fluctuations around damaged and undamaged bridge piers were performed experimentally using ADV and PIV and a flowmeter in a mild sloping channel has been examined. Its results have been compared with the case results where the channel is horizontal.

Materials and Methods

To conduct the research, a laboratory channel with a width of 1 meter, a height of 0.8 meters, and a useful length of 12 meters with glass walls and steel structures was designed and built in the Islamic Azad University's Hydraulic Structures Laboratory of Kerman. The bed of the laboratory channel is rigid and made of steel. In all tests, the discharge is 60 Lit/s, and the water depth is 20 cm entrance of the channel, using a butterfly gate downstream at the end of the path. The elements used for

the experiments are a short cylindrical element (10 cm in diameter and 5 cm high) and a columnar element (4 cm in diameter and 40 cm high). The location of the piers in various experiments was 5 meters from the beginning of the upstream path. Transversely, in the experiments with the presence of a single pier, the location was in the middle of the width of the channel, but in the last experiment, where the combination of both piers is considered, undamaged and damaged piers in the distances of 1.3 and 2.3 of the channel width, respectively. In these experiments, the Vectrino, one of the most advanced types of ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), was used to measure the flow velocity. The frequency is 25 Hz for these experiments, and the duration is 3 minutes. In addition to the ADV, Particle image velocimetry (PIV) is also used to collect velocity data. The main advantage of this device over ADV is that due to the absence and placement of the probe in the flow path, local turbulence and change of streamlines are not achieved, and the accuracy of measuring the data is increased. A flowmeter device made by Adak Tajhiz Iranian Company has been used to determine the depth of flow in the channel. This device consists of four probes, at the end of each of which there is an electronic board.

Findings

In order to compare the flow velocity data of the collected using ADV and PIV, these data were compared for 4 different experiments at a distance of 5 meters upstream. Flow velocities in this case are higher than when the gate is fully open. The difference in flow velocity data during surge formation is also greater than the difference between ADV and PIV in the absence of surge. The reason for the greater difference between the data collected with ADV and PIV in this case is that the flow velocity under the surge formation is very turbulent, and although the ADV data are averaged over 25 samples, the flow velocity values are always. In all cases, more than PIV data has been reported. The average difference calculated for experiments 1 to 4 is 6.78, 9.43, 10.10, 10.52%, respectively, which is quite

acceptable considering the type of flow, which is non-continuous.

Discussion

The surge formed in the horizontal and sloping channels in this study travels from the point of impact of the valve to the floor to reach the upstream of the channel in approximately 7.9 seconds in the horizontal channel and 9.4 seconds in the sloping channel. Examination of flow velocity values in different positions along the canal shows that flow velocity values at high depths gradually decrease by moving away from the valve and reaching the tank inlet, which has been mentioned in the process of deceleration in the studies of other researchers. Observations related to the change in depth of flow in the horizontal and sloping channel show that the positive surge generated in the horizontal channel along the entire length of the channel is an oscillating surge, but in the case of a sloping channel, this oscillating surge at a distance of 1.5 meters to reach the beginning of the channel. Changes position in a fragile surge. In Experiments 1 to 4, the Reynolds stress values increased 7.6, 3.57, 1.38 and 1.68 (relative to the horizontal position, respectively) due to the slope of the channel. In addition, the effect of the presence of foundations was not unaffected by changes in Reynolds stress values and increased shear stress in horizontal and sloping channels. In this research, for example, with the installation of a submerged base in the channel, for example, a Reynolds stress increase of 6.77 and 3.18 times occurred in horizontal and sloping channels, respectively.

Conclusion

The results of this study show that in both horizontal and sloping channel conditions, the maximum values of flow velocity were reported in the first experiment without base, while in all cases without a surge in experiments with bases was higher than without base. In addition, a decrease in speed of 2.21, 23.95 and 38.84% was observed in the horizontal channel and a decrease of 9.35, 13.89 and 16.53% in the sloping channel for experiments 3, 2 and 4

compared to experiment 1, respectively. Due to the slope of the canal in Experiments 1 to 4, the Reynoldsian stress values are 7.6, 3.57, 1.38, and 1.68 times similar to the horizontal conditions in the canal, respectively.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Ehsan Oveici, Omid Tayari.

Methodology and data analysis: Ehsan Oveici, Omid Tayari, Navid Jalalkamali.

Supervision and final writing: Omid Tayari, Ehsan Oveici.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

مقایسه آزمایشگاهی تغییرات تراز آب، تنش برشی رینولدزی و سرعت جریان برداشت شده با استفاده از ADV و PIV پیرامون پایه‌های پل کامل و تخریبی در هنگام تشکیل موج مثبت در کانال‌های شیبدار و افقی

احسان اوپسی^۱، امید طیاری^{۲*}، نوید جمال کمالی^۳

۱. دانش‌آموخته دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران

۲. استادیار سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران

۳. استادیار منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران

چکیده

مقدمه: وجود امواج مثبت می‌تواند باعث تخریب کناره‌ها، آبستگي در کف و آسیب به سازه‌های موجود در مسیر مانند پایه پل‌ها گردد. از سویی دیگر، بقایای به جا مانده از تخریب پایه پل‌ها و نخاله‌ها در مسیر جریان موثر بر تغییرات سرعت و نوسانات سطح جریان ناشی از این امواج بوده که نیاز به مطالعه دقیق دارد.

روش: در این پژوهش، به بررسی آزمایشگاهی تاثیر وجود پایه‌های پل به صورت کامل و تخریبی در تغییرات الگوی جریان به هنگام ایجاد موج مثبت در کانال‌های شیبدار و افقی پرداخته شده است. بدین منظور برای برداشت داده‌های سه بعدی سرعت جریان از دستگاه سرعت‌سنج ADV استفاده شده است. ضمناً دستگاه سرعت‌سنج PIV نیز در مقایسه با نتایج داده‌های ADV مورد استفاده واقع شده است. برای اندازه‌گیری عمق جریان نیز عمق‌سنجی با چهار probe مجزا در کانال افقی و شیبدار به کار رفته است.

یافته‌ها: نتایج حاصل، بیانگر تشکیل موج نوسانی در کانال افقی و موج نوسانی و شکننده در کانال شیبدار می‌باشد. در کانال شیبدار، بیشینه افزایش سرعت مربوط به استقرار دو پایه بوده که ۳۴.۹۳ درصد نسبت به همین حالت در کانال افقی افزایش داشته است. ضمن اینکه تغییرات تراز متوسط آب در اثر شیبدار شدن کانال در حالت‌های بدون المان، المان تخریبی، کامل و ترکیبی به ترتیب برابر با: ۳۱.۶۶، ۳۲.۷۰، ۲۹.۸۸ و ۲۷.۴۰ درصد می‌باشد. علاوه بر این، مقادیر تنش برشی رینولدزی نیز در کانال شیبدار، ۷.۶، ۳.۵۷، ۱.۳۸ و ۱.۶۸ برابر کانال افقی محاسبه شده است.

نتیجه‌گیری: موج مثبت ایجاد شده در کانال افقی در کل طول کانال از نوع موج نوسانی بوده اما در حالتی که کانال شیبدار می‌باشد، این موج نوسانی در فاصله ۱.۵ متری تا رسیدن به ابتدای کانال، به صورت موج شکننده تغییر وضعیت می‌دهد. به همین دلیل تمهیدات لازم برای پیشگیری از خرابی‌های احتمالی در کانال‌های شیبدار توسط مهندسين هیدرولیک باید در نظر گرفته شود تا آسیب‌های احتمالی در این کانال‌ها به حداقل کاهش یابند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱

تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/wej.2022.25118.2248

واژه‌های کلیدی:

موج مثبت، پایه پل، مدل آزمایشگاهی، Particle Image Velocimetry، Acoustic Doppler velocimetry

* نویسنده مسئول: امید طیاری

نشانی: گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران.

تلفن: ۰۹۱۳۳۴۳۱۱۴۷

پست الکترونیکی: tayari@iauk.ac.ir

مقدمه

در اثر باز یا بسته شدن ناگهانی دریچه‌ها در مجاری روباز (اعم از طبیعی یا مصنوعی) در مسیر جریان، موج‌های مثبت و منفی ایجاد می‌گردد. باز شدن ناگهانی دریچه باعث ایجاد موج مثبت پایین‌دست (افزایش پیش‌رونده عمق جریان) و موج منفی بالادست (کاهش پیش‌رونده عمق جریان) و از سوی دیگر، بسته شدن ناگهانی دریچه باعث انتشار موج مثبت به سمت بالادست و موج منفی به سمت پایین دست جریان، به طور همزمان می‌گردد. در پژوهش حاضر، حالت دوم، یعنی مسدود شدن ناگهانی مسیر جریان مورد بررسی قرار خواهد گرفت که یا به صورت بسته شدن ناگهانی دریچه و یا به شکل ریزش ناگهانی آوار و انسداد کامل مسیر می‌باشد. مطابق شکل ۱، این حالت به صورت طبیعی در مدخل رودها هنگام مد یا کشند اتفاق می‌افتد که موج مثبت ناشی از مد به سمت بالادست رودخانه به‌صورت امواج کشندی حرکت می‌کند (۱).



شکل ۱- تشکیل موج مثبت در رودخانه گارون در فرانسه (۱).

در مجاری مصنوعی از جمله انواع کانال‌های انتقال آب، کانال‌های کشاورزی و آبیاری، تصفیه‌خانه‌ها و کانال‌های جانبی سرریزها نیز امکان وقوع چنین حالتی وجود دارد. این امواج می‌توانند باعث تخریب کناره‌ها، آبشستگی در کف و آسیب به سازه‌های موجود در مسیر (پایه پل‌ها، سکوها و تاسیسات آبی) گردند (مطابق شکل ۲).



شکل ۲- آبشستگی دیواره رودخانه به دلیل پیشروی موج مثبت در رودخانه گارون در فرانسه (۱).

از سوی دیگر، به خصوص در مواقع سیلابی، بقایای به جا مانده از تخریب پایه پل‌ها و نخاله‌ها در مسیر جریان بر تغییرات الگوی جریان این امواج موثر بوده و نیاز به بررسی و مطالعه دارد بیشتر دارد. به دلیل اهمیت این مسائل به خصوص در زمان سیلابی شدن رودخانه‌ها، تاکنون مطالعات زیادی برای شبیه‌سازی این امواج در آزمایشگاه انجام شده که در ادامه به خلاصه‌ای از این تحقیقات انجام شده، اشاره شده است:

مدسون و همکاران معادله سنت ونانت را در شبیه‌سازی موج‌های کشندی خلیج هانگژو و رودخانه کیانتنگ به کار بردند. نتایج آن‌ها تطابق با داده‌های میدانی را نشان داد اما صحت‌سنجی چنین مدل‌های متوسط عمقی، محدود به داده‌های جریان سطح آزاد بود (۲). کوچ و چانسون گزارش کردند که سطح نوسانی یک خط جریان است و تحلیل و بررسی اساسی جریان ساده، گرادیان فشار پایین‌تر را در مقایسه با هیدرواستاتیک در زیر تاج موج و گرادیان فشار بالاتر را در زیر پاشنه موج پیش‌بینی می‌کند. آن‌ها چند مورد بازتوزیع قابل توجه سرعت به‌صورت تئوری بین تاج و پای موج پیش‌بینی کردند و مشاهده نمودند که داده‌های تجربی با تئوری مطابقت دارد. علاوه بر این، خصوصیات موج نوسانی و پرش‌های هیدرولیکی نوسانی را نیز مقایسه کردند. آن‌ها نشان دادند که الگوی بازتوزیع سرعت بین پایین و تاج موج با مشاهدات پیشین در زیر پرش‌های هیدرولیکی نوسانی متفاوت است. یافته‌های آنان از نظر طول موج و دامنه موج به مطالعات تجربی قبلی و ملاحظات تئوری نزدیک بود، ولی ادعاهایی مبنی بر اینکه تئوری موج کنوئیدال تطابق بهتری با داده‌های تجربی دارد را تأیید نکرد. همچنین آن‌ها نشان دادند که حداکثر دامنه موج بلافاصله قبل از شرایطی که برای آن تعدادی شکست موج کوچک در اولین تاج موج ظاهر شد، اتفاق می‌افتد (۳). تان و چو تعدادی نتایج مدلسازی فیزیکی را که فرآیند پراکندگی طولی را برجسته می‌کند، ارائه دادند (۴). اختلاط آشفته ذرات سبک از طریق ردیابی ذرات لاگراژی در قسمت تحتانی موج‌های شکننده و نوسانی برای تکمیل اندازه‌گیری‌های اختلاط آشفته اویلری با امکاناتی مشابه به کوچ و چانسون (۳، ۵) مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها پراکندگی طولی سریع ذرات سبک و در مواردی پراکندگی وابسته به تراز قائم ذرات را مشاهده کردند. مشاهده جابجایی‌های مقیاس بزرگ ذرات در آزمایش‌ها وجود ساختارهای گردابی منسجم در موج‌های کشندی را برجسته کرد، چنانکه در مطالعات عددی و فیزیکی قبلی مشاهده شد. چنین ساختارهایی باعث اختلاط قائم ستون آب و فرسایش کف همراه با انتشار موج کشندی می‌شوند. فوریا و چانسون یک مدل عددی بر مبنای روش CIP-CUP (Cubic-Interpolated P Seudo-Particle Combined Procedure) ارائه دادند که با یک مدل شبیه‌سازی گردابه بزرگ (LES) و یک روش راه‌اندازی مجدد از آن بهره بردند. این مدل به وسیله یک مسأله شکست سد لایه‌ای صحت‌سنجی و به موج کشندی شکننده ضعیف اعمال شد. آن‌ها نتایج خود را با تجربیات آزمایشگاهی (۳) مقایسه کردند. مدل عددی آن‌ها فاقد اشکال عددی دقیق و یک شبکه مش با وضوح بالا بود، اگرچه برخی ویژگی‌های مورد نظر از جمله معکوس شدن کوتاه سرعت در نزدیکی کف بلافاصله بعد از عبور پیشانی موج مشاهده گردید (۶).

این پژوهش، تغییرات سرعت لحظه‌ای و نوسانات سطح جریان در اطراف المان‌های استوانه‌ای کوتاه و ستونی (که این دو معرف پایه‌های کامل و بقایای تخریبی پایه پل می‌باشند) به صورت آزمایشگاهی با استفاده از سرعت‌سنج‌های ADV و PIV و همچنین دستگاه عمق‌سنج در کانالی با شیب ملایم، مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن با نتایج حالتی که کانال افقی است نیز مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

کانال آزمایشگاهی

برای انجام تحقیق موردنظر، یک کانال آزمایشگاهی به عرض ۱ متر و ارتفاع ۰/۸ متر با جداره‌های شیشه‌ای و حفاظ‌های فولادی در آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه آزاد اسلامی کرمان طراحی و ساخته شد. در شکل ۳، نمایی از کانال موردنظر در آزمایشگاه به صورت شماتیک و واقعی نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، این کانال به طول مفید ۱۲ متر می‌باشد. کف کانال آزمایشگاهی موردنظر صلب و از جنس فولاد می‌باشد. در کلیه آزمایشات دبی ثابت ۶۰ لیتر بر ثانیه با استفاده از دستگاه آلتراسونیک دبی‌سنج ساخت شرکت AKTEK تنظیم شده و توسط پمپ‌های سانتریفیوژ به داخل مخزن ورودی پمپاژ می‌شوند. این پمپ‌ها به صورت خطی و هر یک دارای ظرفیت تولید حداکثر دبی ۱۹۰ مترمکعب بر ثانیه هستند. عمق آب نیز در بالادست کانال ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد که با استفاده از دریچه پروانه‌ای که در انتهای مسیر پایین‌دست می‌باشد، این عمق برای انجام آزمایشات تنظیم شده است. در انجام این آزمایشات، به منظور آرام نمودن جریان ورودی و کاهش آشفتگی اولیه، در محل اتصال مخزن ورودی به آن، دو صفحه مشبک به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر، نیز تعبیه شده است.

پایه‌های مورد استفاده

المان‌های مورد استفاده برای انجام آزمایشات، یک المان استوانه‌ای کوتاه (به قطر ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر) و یک المان ستونی (به قطر ۴ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر) می‌باشد که المان استوانه‌ای کوتاه معرف پایه‌های پل تخریبی یا ضایعات موجود در مسیر جریان و المان ستونی نیز نماینده یک پایه پل کامل در رودخانه می‌باشد. ارتفاع این المان‌ها طبق پیشنهاد (۱۲) تعیین شده است. برای تعیین اندازه قطر المان‌ها نیز بنابر نتایج محققین زیر این دو مقدار برای قطر المان‌ها در نظر گرفته شده است:

- مطابق نتایج (۱۷) به منظور حذف تاثیر دیواره‌های کانال بر الگوی جریان، قطر المان کف باید کوچکتر یا مساوی ۰/۱۰ عرض کانال باشد.
- طبق معیار (۱۸) عرض کانال باید حداقل ۶/۲۵ برابر قطر پایه باشد.

چنین ویژگی‌هایی، توسط (۵) جمع‌آوری و ثبت گردید. لوبین و همکاران روش شبیه‌سازی گردابه بزرگ (LES) را برای بررسی مشخصات اختلاط آشفته به کار بردند و ساختارهای آشفتگی ناپایدار در موج سطحی کشندی یافتند و نتایج خود را با داده‌های تجربی (۳، ۵) مقایسه کردند (۷). چانسون چندین مورد اندازه‌گیری‌های میدانی در رودخانه گارون (فرانسه) در تاریخ‌های ۱۰ و ۱۱ سپتامبر ۲۰۱۰ و ۷ ژوئن ۲۰۱۲، چند هفته بعد از یک سیل بزرگ در آوریل - می را انجام دادند. آن‌ها ویژگی‌های جریان ناپایدار در موج کشندی را از طریق چندین مورد اندازه‌گیری سرعت آشفته در فرکانس بالا (۶۴ و ۵۰ هرتز) و چندین مورد اندازه‌گیری تجمع رسوب را بررسی کردند. برخی خصوصیات جریان آشفته و فرآیندهای رسوبی شامل مواردی از جریان معکوس (بازگشتی) غیرعادی ثبت گردید. مواردی از تجمع رسوب با تعلیق بالا به طور پیوسته برای مدت ۱۰ دقیقه و تقریباً ۱۰۰ ثانیه پس از عبور موج، مشاهده شد که هر دو مطالعه در محوطه‌های مشابهی انجام گرفت (۸، ۹). سایمون و همکاران مدل‌های عددی مشابهی با (۷) را برای شبیه‌سازی سه‌بعدی موج سطحی شکننده ضعیف، تعمیم دادند. پروفیل سطح آزاد و ساختارهای آشفتگی را بررسی کرده و داده‌های عددی خود را با نتایج (۳، ۵) مقایسه کردند (۱۰). چانسون و دوچرتی اثر پایه‌های پل و تنگ شدگی کانال بر امواج کشندی نوسانی را بررسی کردند و کاهش سرعت طولی در مدت عبور موج را مشاهده نمودند (۱۱). یئو و همکاران اثر المان بزرگ کف (یک المان استوانه‌ای کوتاه) بر موج مثبت ایجاد شده توسط بسته شدن سریع دریچه لولایی پایین‌دست در فلولم با مقطع مستطیلی را با اندازه‌گیری سرعت‌های لحظه‌ای و نوسانات سطح آب، بررسی کردند و نتایجی در مورد تاثیر ناچیز المان بزرگ کف بر نوسانات سطح آزاد بدست آوردند. همچنین یافته‌هایی در زمینه افزایش تنش‌های برشی در همسایگی المان زبری بزرگ کف و در نتیجه، پتانسیل آبستستگی در کف کسب کردند (۱۲). ژنگ و همکاران به مطالعه خصوصیات موج مثبت ناشی از افزایش دبی جریان در کانال افقی پرداختند. آن‌ها رنج متفاوتی از اعداد فرود را در هنگام تشکیل موج نوسانی و شکننده مورد بررسی قرار دادند (۱۳). هگر و کاسترواورگز به مقایسه تفاوت‌ها و شباهت‌های پرش‌های موجی و هیدرولیکی در کانال‌های باز پرداختند. آن‌ها برای مقایسه این دو، از روش‌های تجربی و تئوری مختلفی در کانال مستقیم استفاده کردند (۱۴). لین و همکاران به مدلسازی آزمایشگاهی تراز سطح آب و سطح طولی در کانال افقی تحت ایجاد موج کشندی در سری‌های زمانی مختلف پرداختند (۱۵). بورنستادو همکاران نشان دادند که اگر جریان برشی را در معادله کورتوگ-دوریز (KdV) جایگزاری کنند و معیار موج شکننده سینماتیکی به عنوان مبنای ریزش موج در نظر گرفته شود، نتیجه می‌شود که مقاومت موج بحرانی به صورت تئوری با ۱۰ درصد خطا همراه خواهد بود (۱۶).

با توجه به مطالعات فوق، مشاهده می‌شود که اکثر مطالعات مربوط به موج تاکنون به صورت عددی بوده و همچنین تاثیر شیبدار بودن کف کانال در انتشار موج مثبت بالادست همراه با بررسی تاثیر وجود پایه‌های پل به صورت ترکیبی مورد مطالعه قرار نگرفته است. به همین دلیل در

رودخانه‌ها، پایه‌هایی در زیر دریچه قرار گرفت تا باز شدگی به میزان ۲.۵ سانتی‌متر پس از بستن دریچه باقی بماند و جریانی به ارتفاع ۲.۵ سانتی‌متر به سمت پایین‌دست از زیر دریچه برقرار باشد. مدت زمان انجام هر آزمایش، ۱۸۰ ثانیه منظور گردید. به این صورت که پس از کالیبره، فعالسازی و شروع به ثبت داده‌ها توسط ADV در نرم‌افزار Vectrino و سرعت‌سنج لیزری PIV در نرم‌افزار rtcontrol و عمق‌سنج‌های جریانی در نرم‌افزار ADQ، در ثانیه ۶۰ ام کلید دریچه فشرده شده و پس از حدود ۲ ثانیه جریان مسدود می‌گردد که از زمان برخورد دریچه به جریان تا انسداد کامل (با ۲.۵ سانتی‌متر باز شدگی) یعنی برخورد پایه‌های دریچه به کف فلوم ۰.۰۷ ثانیه زمان می‌برد. پس از آن تا ثانیه ۱۸۰ برداشت‌ها ادامه می‌یافت و در آن لحظه ثبت داده‌ها متوقف و دریچه باز می‌گردد و ۳ دقیقه هیچ برداشتی انجام نمی‌شد تا جریان مجدداً به حالت آرام و بدون آشفتگی اولیه بازگردد. لازم به ذکر است که برای اینکه میانگین‌گیری عمقی داده‌ها از لحاظ آماری و کاهش حداکثری خطاهای برداشت نتایج صحیحی به‌دست آید هر برداشت ۲۵ بار تکرار شد که همین مسئله موجب زمان بر شدن آزمایش‌ها شد. کلیه موارد فوق در حالت کانال شبیدار نیز برای هر ۴ آزمایش (تست‌های ۱ تا ۴ که به ترتیب مربوط به آزمایش‌های کانال بدون وجود پایه، با وجود پایه تخریبی، با وجود پایه کامل و هر دو پایه می‌باشد) تکرار شد.

نتایج و بحث

مقایسه داده‌های ADV و PIV

به منظور مقایسه داده‌های سرعت برآیند جریان برداشت شده با استفاده از دستگاه‌های سرعت سنج ADV و PIV، این داده‌ها برای ۴ آزمایش مختلف در فاصله ۵ متری در بالادست در شکل ۷ ارائه شده‌اند. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، مقادیر سرعت جریان در این حالت نسبت به حالتی که دریچه کاملاً باز است (۱۹)، بیشتر می‌باشد. اختلاف داده‌های مربوط به سرعت جریان در هنگام تشکیل موج نیز بیشتر از اختلاف ADV و PIV در حالت بدون وجود موج می‌باشد (۱۹). دلیل اختلاف بیشتر مشاهده شده بین داده‌های برداشت شده با ADV و PIV در این حالت این است که سرعت جریان تحت تشکیل موج بسیار آشفته بوده و با وجود اینکه داده‌های مربوط به ADV به صورت میانگین‌گیری شده از ۲۵ نمونه می‌باشند، اما همواره مطابق شکل ۷ مقادیر سرعت برآیند جریان در تمامی حالات آن بیشتر از داده‌های PIV گزارش شده است. در مورد دلایل اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده با این دو سرعت‌سنج به طور کامل در تحقیقی که اخیراً توسط (۱۹) چاپ شده است، توضیح داده شده است اما دلیل اصلی که نمی‌توان در مورد دقت بیشتر داده‌های PIV نسبت به ADV در این حالت اظهارنظر کرد این است که در شکل ۷ این اختلاف در تمامی عمق‌ها (و نه فقط لایه نزدیک به بستر) گزارش شده است. اما با این وجود، میانگین اختلاف محاسبه شده در این شکل برای آزمایش‌های ۱ تا ۴ به ترتیب برابر با ۶.۷۸، ۹.۴۳، ۱۰.۱۰، ۱۰.۵۲ درصد می‌باشد که با توجه به نوع جریان که از نوع غیردائمی می‌باشد، کاملاً قابل قبول می‌باشد.

برداشت سرعت به صورت نقطه‌ای و در فواصل بسیار نزدیک به یکدیگر، بهترین گزینه برای بررسی تغییرات سرعت در اطراف موانع، مجاورت سطح آب و جدارها به خصوص در جریان‌های آشفته می‌باشد. در شکل ۵، نحوه اندازه‌گیری سرعت جریان با استفاده از PIV نشان داده شده است. برای پردازش و تحلیل تصاویر خروجی نیز از نرم‌افزار PIVLab استفاده شده است (۱۹، ۲۵، ۲۶).



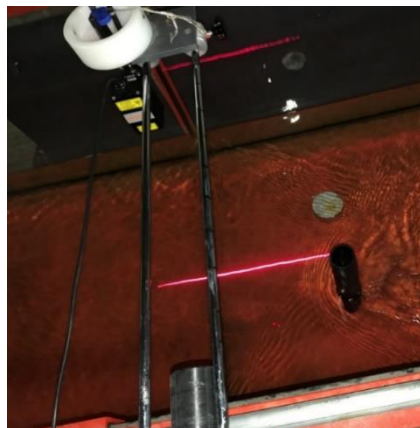
شکل ۴- نحوه استقرار دستگاه سرعت سنج Vectrino برای جمع‌آوری داده‌ها پیرامون پایه تخریبی موجود در کانال.

دستگاه عمق‌سنج

برای تعیین عمق جریان در کانال از دستگاه ارتفاع‌سنج ساخت شرکت آداک تجهیز ایرانیان استفاده شده است. این دستگاه، سیستمی متشکل از چهار probe است که در انتهای هر یک از آن‌ها یک برد الکترونیکی تعبیه شده و همگی به یک کنترل برد متصل هستند (مطابق شکل ۶). فرکانس نمونه‌برداری این دستگاه ۲۰ هرتز و دقت اندازه‌گیری آن نیز ۱۲ بیت می‌باشد. مدت زمان نمونه‌برداری نیز هر ۱۵ میلی‌ثانیه تعیین شده است.

نحوه انجام آزمایشات

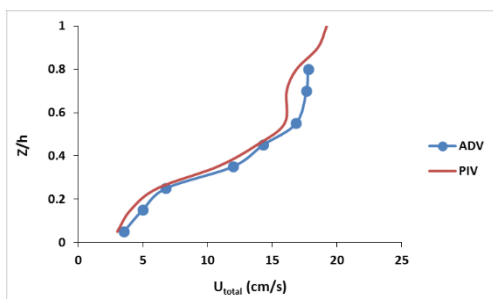
برای ایجاد امواج مثبت در بالادست کانال، دریچه‌ای از نوع قطاعی با صفحه تخت به عرض ۱ متر و ارتفاع ۰.۸ متر در فاصله ۱.۵ متری به خروجی کانال مطابق تحقیقات (۱۲) طراحی و ساخته شد. این دریچه متشکل از دو بازوی خربایی با اتصالات جوشی و صفحه‌ای از پلاستیک فشرده به ضخامت یک سانتی‌متر می‌باشد که به وسیله دو عدد جک پنوماتیک ۵۰۰ نیوتنی و یک دستگاه کمپرسور باد، باز و بسته می‌شود. لازم به ذکر است که در این تحقیقات به علت کوچک بودن عرض فلوم مورد استفاده و بالطبع کوچک بودن ابعاد دریچه، باز و بسته شدن آن به صورت دستی انجام شده است که قطعاً بسته به قدرت آزمایشگر و میزان خستگی آن ممکن است سرعت بستن و باز کردن دریچه در حالت‌ها و زمان‌های مختلف، متفاوت باشد. اما در اینجا برای یکسان نمودن شرایط در همه تکرارها و نیز به علت سنگینی دریچه، از سیستم پنوماتیکی و یک کلید قطع و وصل جهت بستن و باز کردن دریچه استفاده گردید. برای شباهت بیشتر به جریان‌های کشندی در مصب



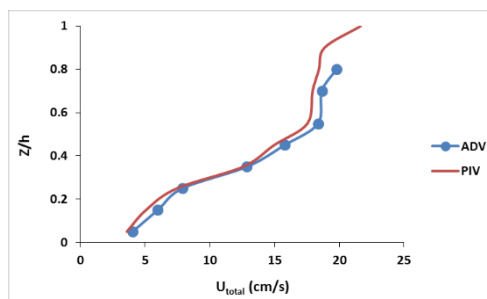
شکل ۵- نمایی از نحوه اندازه‌گیری سرعت جریان با استفاده از PIV و تجهیزات مربوط به آن.



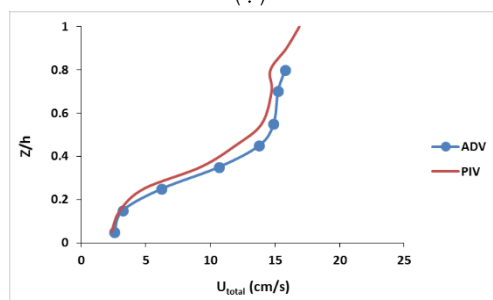
شکل ۶- نمایی از نحوه اندازه‌گیری عمق جریان با استفاده از دستگاه عمق‌سنج و نمایش تجهیزات آن.



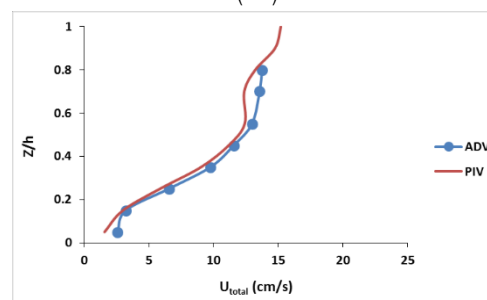
(ب)



(الف)



(د)

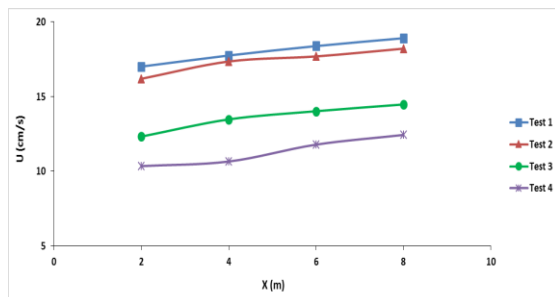


(ج)

شکل ۷- مقایسه داده‌های آزمایشگاهی سرعت طولی جریان در آزمایشات موج برداشت شده با ADV و PIV برای: (الف) آزمایش ۱، (ب) آزمایش ۲، (ج) آزمایش ۳ و (د) آزمایش ۴.

و ۳۴.۹۳ درصدی در آزمایشات ۱ تا ۴ شده است. همانطور که مشخص است بیشترین افزایش سرعت مربوط به آزمایش ۴ با حضور پایه‌های کامل و تخریبی بوده است.

بررسی مقادیر سرعت جریان در موقعیت‌های مختلف در طول کانال نشان می‌دهد که مقادیر سرعت جریان در عمق‌های بالا با فاصله گرفتن از دریچه و رسیدن به ورودی مخزن رفته رفته از سرعتشان کاسته می‌شود که این موضوع در روند کاهش سرعت در (۸) نیز ذکر شده است. در شکل ۸ این تغییرات مقادیر سرعت متوسط طولی جریان در مقاطع طولی ۸، ۶، ۴ و ۲ متری از بالادست برای آزمایش‌های مختلف در میانه کانال افقی با هم مقایسه شده است. دلیل انتخاب فاصله ۸ متری به عنوان نزدیکترین بازه به پایین دست کانال این است که به دلیل محدودیت حرکتی در اراجه اتصال سرعت سنج، فاصله ۸.۲ متری آخرین نقطه برای برداشت سرعت می‌باشد که پس از آن اراجه به دریچه برخورد می‌کند. همانطور که در شکل ۸ نیز مشخص است روند تغییرات سرعت جریان با پیشروی موج به سمت بالادست برای تمامی آزمایشات روند کاهشی دارد به گونه‌ای که این کاهش روند سرعت در آزمایشات ۱ تا ۴ به ترتیب برابر با ۱۰، ۱۱.۱، ۱۴.۹ و ۱۵.۵ درصد می‌باشد که بیشترین مقدار این کاهش سرعت مربوط به آزمایش ۴ می‌باشد.



شکل ۸- مقایسه تغییرات سرعت متوسط جریان در ۴ آزمایش مختلف در فواصل طولی متفاوت.

مقایسه تغییرات عمق جریان در کانال افقی و شیبدار

مشاهدات مربوط به تغییر عمق جریان در کانال افقی و شیبدار نشان می‌دهد که موج مثبت ایجاد شده در کانال افقی در کل طول کانال از نوع موج نوسانی بوده اما در حالتی که کانال شیبدار می‌باشد، این موج نوسانی در فاصله ۱.۵ متری تا رسیدن به ابتدای کانال، به صورت موج شکننده تغییر وضعیت می‌دهد. در شکل‌های ۹ و ۱۰ به عنوان نمونه، نمایی از تشکیل این دو موج نوسانی و شکننده در آزمایشگاه نشان داده شده است. همانطور که می‌دانیم، شکل موج کشندی به عدد فرود آن بستگی دارد. برای عددهای فرود بین ۱ تا ۱/۵، موج نوسانی مشاهده می‌شود. که در شکل ۹ به عنوان نمونه بیشترین مقدار ارتفاع موج به ۳۰ سانتی متر می‌رسد که البته این مقدار اندازه‌گیری مربوط به دیواره داخلی کانال بوده که حدود ۰.۷ سانتی متر با مقدار آن در دیواره خارجی کانال تفاوت دارد. در شکل ۱۰ نیز به خوبی حالت شکننده بودن این موج در کانال شیبدار نشان داده شده است.

مقایسه تغییرات سرعت جریان در کانال افقی و شیبدار

در جداول ۱ و ۲، به عنوان نمونه سرعت طولی جریان برای آزمایش‌های بدون وجود پایه، با وجود پایه تخریبی، با وجود پایه کامل و هر دو پایه برای ۵ بار تکرار آزمایشات در کانال‌های افقی و شیبدار (با شیب ۰.۰۰۸) به همراه میانگین این مقادیر نشان داده شده است. محل برداشت داده‌های سرعت جریان در فاصله ۵.۵ متری از مسیر بالادست و در وسط عرض کانال و عمق ۸ سانتی متری از کف می‌باشد. دلیل انتخاب این مکان برای مقایسه سرعت طولی جریان در این ۴ آزمایش این است که به دلیل شیبدار بودن کانال، عمق جریان در بالادست کانال بسیار کم می‌شود به گونه‌ای که اندازه‌گیری سرعت جریان با سرعت سنج ADV در وسط عمق جریان امکان‌پذیر نیست چرا که حسگر Downlooking این سرعت سنج با فاصله ۵ سانتی متری از محل مورد نظر برداشت سرعت جریان را انجام می‌دهد. به همین دلیل نتایج مربوط به سرعت جریان برای کانال افقی نیز در همین موقعیت ارائه شده تا بتوانند با هم قابل مقایسه باشند. نکته بسیار مهم و قابل توجه در این جداول مربوط به بیشینه بودن مقادیر سرعت در آزمایش اول بدون وجود پایه (برای حالت کانال افقی و شیبدار) می‌باشد. در حالی که در مطالعه قبلی (۱۹) در تمامی حالات بدون وجود موج مثبت در کانال، سرعت طولی جریان در آزمایش‌های توأم با پایه بیشتر از حالت بدون وجود پایه بوده است. دلیل این امر این است که این اندازه‌گیری‌ها مربوط به زمان ایجاد موج مثبت است که در واقعاً برای آزمایش‌های ۲، ۳ و ۴ پایه‌ها مانند مانعی در برابر موج تشکیل شده عمل کرده و این موضوع سبب کاهش مقادیر سرعت جریان برای این حالات نسبت به حالتی که پایه وجود ندارد، شده است. بنابراین نقش حضور پایه‌های پل کامل و تخریبی در کاهش سرعت جریان موج مثبت کاملاً مشخص است. به گونه‌ای که در کانال افقی به ترتیب کاهش سرعت ۲۳.۹۵، ۳۸.۸۴ درصدی و در کانال شیبدار نیز کاهش سرعت ۹.۳۵، ۱۳.۸۹ و ۱۶.۵۳ درصدی برای حالتی که پایه تخریبی، پایه کامل و هر دو پایه در کانال حضور دارند نسبت به حالتی که پایه وجود ندارد، گزارش شده است. دلیل اینکه در حالت پایه تخریبی در کانال (آزمایش ۲)، تفاوت سرعت جریان نسبت به حالتی که در آن پایه وجود ندارد بسیار ناچیز می‌باشد، این است که این پایه تخریبی در شرایط مستغرق بوده و این اندازه‌گیری‌ها مربوط به میانه عمق جریان است که در بالای این پایه قرار داشته و تأثیری بر کاهش سرعت جریان در عمق‌های بالای آن نداشته است. همانطور که در این جدول مشهود است، تأثیر وجود هر دو پایه در کنار هم نسبت به تمامی حالت‌ها کاهش سرعت جریان بیشتری داشته است. علاوه بر این، مقایسه جداول ۱ و ۲ نشان می‌دهد که با افزایش شیب کانال مقادیر متوسط سرعت جریان نیز افزایش یافته است. این موضوع مختص وجود موج مثبت در کانال نبوده چرا که در حالت بدون وجود موج مثبت نیز افزایش سرعت جریان با تغییر کانال از حالت افقی به شیبدار مشاهده شده است (۲۷) که این موضوع نشان از افزایش تنش برشی بستر و در ادامه در صورت متحرک بودن کف، افزایش احتمال آبستستگی می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه شده در جداول فوق، افزایش متوسط سرعت جریان بر اثر تغییر شیب کانال (از صفر به ۰.۰۰۸) به ترتیب سبب افزایش ۳۲.۴۵، ۲۵.۱۹، ۳۰.۶۷

جدول ۱- نمونه‌ای از مقادیر سرعت طولی جریان برداشت شده در آزمایشات مربوط به ایجاد موج مثبت در کانال افقی.

شماره تست	شماره نمونه	مقدار سرعت طولی جریان (cm/s)	مقدار میانگین سرعت طولی جریان (cm/s)
تست ۱	۱	۱۷.۳۱	۱۷.۷۹
	۲	۱۸.۱۳	
	۳	۱۷.۵	
	۴	۱۸.۴۱	
	۵	۱۷.۵۸	
تست ۲	۱	۱۶.۶۲	۱۷.۴۰
	۲	۱۷.۱۶	
	۳	۱۷.۱۷	
	۴	۱۸.۹۴	
	۵	۱۷.۱۲	
تست ۳	۱	۱۲.۴۳	۱۳.۵۳
	۲	۱۲.۶۴	
	۳	۱۴.۹۲	
	۴	۱۲.۵۹	
	۵	۱۵.۰۵	
تست ۴	۱	۹.۷۴	۱۰.۸۸
	۲	۱۲.۳۹	
	۳	۹.۹۸	
	۴	۱۲.۱۹	
	۵	۱۰.۰۸	

جدول ۲- نمونه‌ای از مقادیر سرعت طولی جریان برداشت شده در آزمایشات مربوط به ایجاد موج مثبت در کانال شیبدار.

شماره تست	شماره نمونه	مقدار سرعت طولی جریان (cm/s)	مقدار میانگین سرعت طولی جریان (cm/s)
تست ۱	۱	۲۵.۱۸	۲۵.۶۶
	۲	۲۵.۵۴	
	۳	۲۵.۸۰	
	۴	۲۵.۹۸	
	۵	۲۵.۷۸	
تست ۲	۱	۲۲.۷۷	۲۳.۲۶
	۲	۲۳.۱۸	
	۳	۲۳.۱۶	
	۴	۲۳.۶۴	
	۵	۲۳.۵۶	
تست ۳	۱	۱۹.۴۸	۲۰.۰۳
	۲	۱۹.۷۲	
	۳	۲۰.۲۵	
	۴	۲۰.۲۰	
	۵	۲۰.۴۸	
تست ۴	۱	۱۷.۷۹	۱۶.۷۲
	۲	۱۶.۹۶	
	۳	۱۶.۴۹	
	۴	۱۶.۱۹	
	۵	۱۶.۱۷	

به منظور بررسی تغییرات عمق جریان در طول کانال در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ تغییرات عمق جریان در ۱۵ ثانیه ابتدایی در وسط عرض کانال به فواصل ۴، ۵.۵ و ۶ متری از بالادست برای ۴ آزمایش مختلف باهم مقایسه شده‌اند که در این شکل، d عمق آب می‌باشد. مقایسه نتایج ارائه شده در این دو شکل، نشان دهنده کاهش چشمگیر تراز آب در حالت شیبدار می‌باشد. به گونه‌ای که می‌توان نتیجه گرفت که کاهش تراز متوسط آب در اثر شیبدار شدن کانال در آزمایش‌های ۱ تا ۴ به ترتیب برابر است با: ۳۱.۶۶، ۳۲.۷۰، ۲۹.۸۸ و ۲۷.۴۰ درصد.

نکته‌ای که در مطالعه تغییرات تراز سطح آب نیاز به بررسی بیشتر دارد این است که این تغییرات ۱۵ ثانیه‌ای پس از بسته شدن دریچه با حالتی که هنوز دریچه کاملاً باز بود (شکل‌های ۱۳ و ۱۴) مقایسه شود. در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ تغییرات تراز سطح آب مربوط به ۱۵ ثانیه برداشت داده از طریق عمق‌سنج پس از ایجاد موج مثبت برای فاصله ۱۵ سانتی‌متری از دیواره داخلی و در فاصله ۴ متری از بالادست کانال نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱۵ ملاحظه می‌شود، پس از بستن دریچه تا مسدود شدن جریان (که حدود ۱.۶۷ ثانیه به طول می‌انجامد) حدوداً ۶ ثانیه طول می‌کشد تا موج توسط اولین حسگر عمق سنج دریافت شود. با توجه به این شکل حداکثر عمق آب به ترتیب مربوط به آزمایش ۲، آزمایش ۱، آزمایش ۳ و آزمایش ۴ برابر با ۲۷.۳۳، ۲۷.۵۰، ۲۴.۳۹، ۲۳.۷۲ سانتی‌متر می‌باشد. در حالی که در حالتی که کانال شیبدار است حداکثر عمق آب مربوط به آزمایش ۲، آزمایش ۴، آزمایش ۱ و آزمایش ۳ و به ترتیب برابر با ۱۷.۱۶، ۱۶.۱۵، ۱۵.۴۹ سانتی‌متر می‌باشد.

مقایسه تغییرات تنش رینولدزی در کانال افقی و شیبدار

با برداشت سرعت در لایه مرزی آشفته، از روش تنش نقطه‌ای رینولدز با توجه به روابط زیر استفاده می‌شود (۲۸):

$$\tau_b = (\tau_x^2 + \tau_y^2)^{0.5} \quad (۱)$$

$$\tau_x = \rho(\overline{w_i' u_i'} + \overline{v_i' u_i'}) \quad (۲)$$

$$\tau_y = \rho(\overline{v_i' u_i'} + \overline{w_i' u_i'}) \quad (۳)$$

در روابط بالا،

τ_x ، τ_y و τ_b : به ترتیب مولفه تنش برشی در راستای طول کانال، عرض کانال و تنش برشی برآیند،

u_i ، v_i و w_i : به ترتیب سرعت لحظه‌ای برداشت شده در سه راستای طول، عرض و عمق کانال،

$\overline{u_i}$ ، $\overline{v_i}$ و $\overline{w_i}$: به ترتیب سرعت‌های متوسط‌گیری شده در سه راستای طول، عرض و عمق کانال می‌باشند.

بدین منظور سرعت‌های سه‌بعدی جریان در لایه نزدیک به کف در فاصله ۵ درصد عمق جریان از کف برای تعیین تنش نقطه‌ای رینولدز، برداشت شده‌اند.



شکل ۹- نمونه‌ای از نمایش موج نوسانی در کانال افقی آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان.



شکل ۱۰- نمونه‌ای از نمایش موج شکننده در کانال شیبدار آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان.

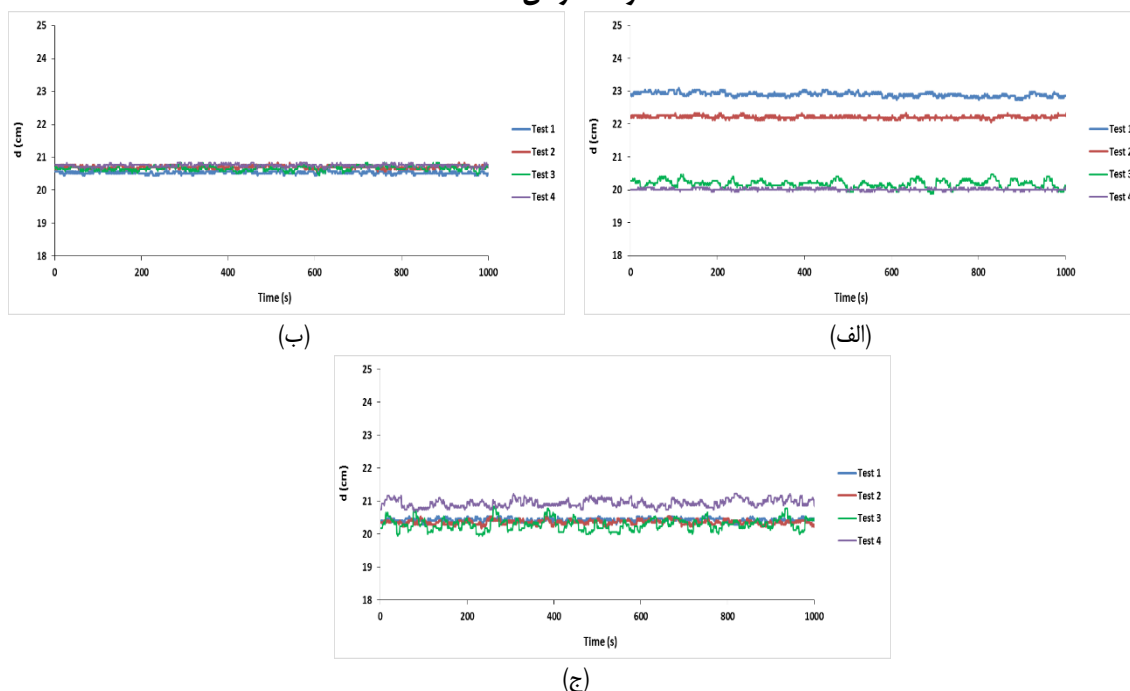
در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نحوه تشکیل و پیشروی موج‌های نوسانی و شکننده در کانال افقی و شیبدار در مدت زمان‌های ۱۳ و ۱۱ ثانیه به طور کامل در این بازه زمانی به تصویر کشیده شده است. موج تشکیل شده در این شکل‌ها، از محل برخورد دریچه به کف تا رسیدن به بالادست کانال را حدوداً در مدت زمان ۷.۹ ثانیه در کانال افقی و در مدت زمان ۹.۴ ثانیه در کانال شیبدار طی می‌کند.



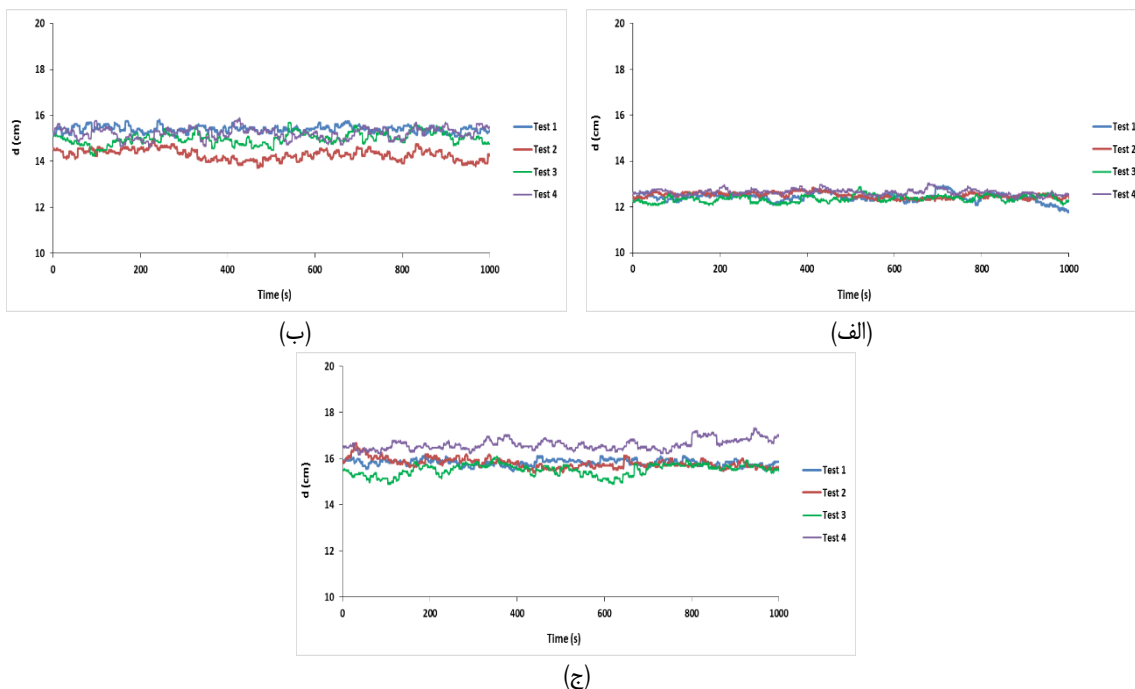
شکل ۱۱- نمایش نحوه تشکیل و پیشروی موج نوسانی در طول کانال افقی آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان.



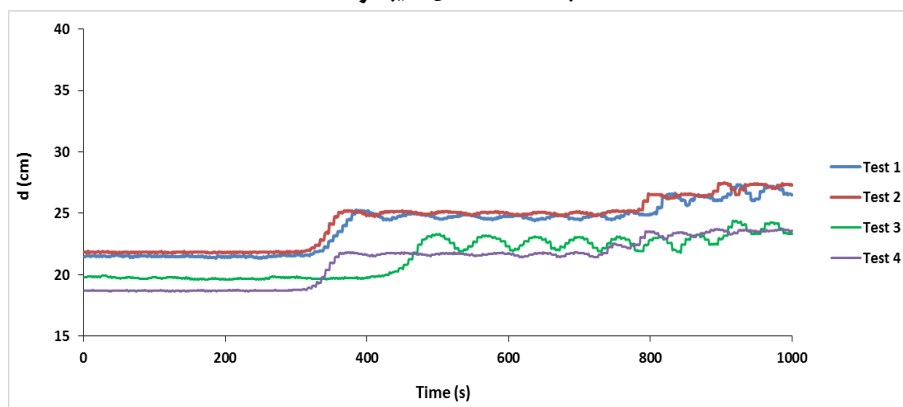
شکل ۱۲- نمایش نحوه تشکیل و پیشروی موج نوسانی در طول کانال شیبدار آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان.



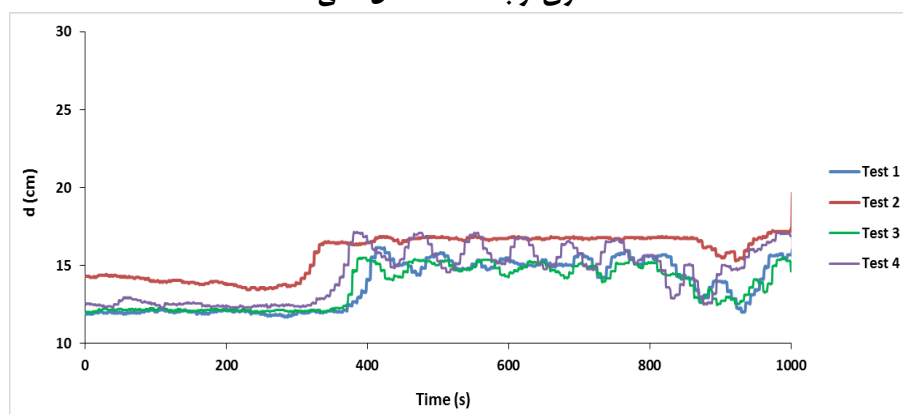
شکل ۱۳- تغییرات تراز آب در مدت زمان ۱۵ ثانیه برای ۴ آزمایش مختلف در فواصل: الف) ۴، ب) ۵.۵ و ج) ۶ متری از بالادست کانال افقی.



شکل ۱۴- تغییرات تراز آب در مدت زمان ۱۵ ثانیه برای ۴ آزمایش مختلف در فواصل: الف) ۴، ب) ۵.۵ و ج) ۶ متری از بالادست کانال شیبدار.



شکل ۱۵- تغییرات تراز آب در مدت زمان ۱۵ ثانیه پس از بستن دریچه و ایجاد موج مثبت برای ۴ آزمایش مختلف در فاصله ۴ متری از بالادست کانال افقی.



شکل ۱۶- تغییرات تراز آب در مدت زمان ۱۵ ثانیه پس از بستن دریچه و ایجاد موج مثبت برای ۴ آزمایش مختلف در فاصله ۴ متری از بالادست کانال شیبدار.

در حالی که در تمامی حالات بدون وجود موج در آزمایش‌های توام با پایه‌ها بیشتر از حالت بدون وجود پایه بوده است.

- در کانال افقی به ترتیب کاهش سرعت ۲.۲۱، ۲۳.۹۵ و ۳۸.۸۴ درصدی و در کانال شیبدار نیز کاهش سرعت ۹.۳۵، ۱۳.۸۹ و ۱۶.۵۳ درصدی برای آزمایش‌های ۳، ۲ و ۴ نسبت به آزمایش ۱، مشاهده شده است.
- افزایش متوسط سرعت جریان بر اثر تغییر شیب کانال (از صفر به ۰.۰۰۸) به ترتیب سبب افزایش ۳۰.۶۷، ۲۵.۱۹، ۳۲.۴۵ و ۳۴.۹۳ درصدی در آزمایشات ۱ تا ۴ شده است.
- برخلاف آزمایشات انجام شده در کانال افقی که موج مثبت ایجاد شده در آن در کل طول کانال از نوع موج نوسانی بود، در حالتی که کانال شیبدار می‌شود، این موج نوسانی در فاصله ۱.۵ متری تا رسیدن به ابتدای کانال، به صورت موج شکننده تغییر وضعیت می‌دهد.
- کاهش تراز متوسط آب در اثر شیبدار شدن کانال در آزمایش‌های ۱ تا ۴ به ترتیب برابر با: ۳۱.۶۶، ۳۲.۷۰، ۲۹.۸۸ و ۲۷.۴۰ درصد گزارش شده است.
- در اثر شیبدار شدن کانال در آزمایش‌های ۱ تا ۴، مقادیر تنش رینولدزی به ترتیب ۷.۶، ۳.۵۷، ۱.۳۸ و ۱.۶۸ برابر حالات مشابه در کانال افقی شده است.

در جدول ۳، مقایسه مقادیر تنش‌های رینولدزی برای ۸ آزمایش مختلف مربوط به حالت ایجاد موج در کانال‌های افقی و شیبدار برای ۳ نمونه مختلف ارائه شده است. همه این اندازه‌گیری‌ها مربوط به فاصله ۴.۵ متری از بالادست کانال می‌باشد.

مطابق این جدول، تاثیر چشم‌گیر وجود شیب بر تغییرات تنش برشی بستر مشهود است. همانطور که ملاحظه می‌شود به ترتیب در آزمایش‌های ۱ تا ۴، به دلیل شیبدار شدن کانال مقادیر تنش رینولدزی ۷.۶، ۳.۵۷، ۱.۳۸ و ۱.۶۸ برابر شده است (نسبت به حالت افقی). علاوه بر این، همانطور که تحقیقات (۱۹، ۲۷) نیز نشان داده بود، تاثیر وجود پایه‌ها نیز بر تغییرات مقادیر تنش رینولدزی بی‌تاثیر نبوده و سبب افزایش تنش برشی در کانال‌های افقی و شیبدار شده است. به گونه‌ای که با حالت ایجاد موج در این تحقیق به طور مثال فقط با نصب پایه مستغرق در کانال، افزایش ۶.۷۷ و ۳.۱۸ برابری تنش رینولدزی به ترتیب در کانال‌های افقی و شیبدار رخ داده است.

با مقایسه نتایج تحقیق حاضر و تحقیقات (۱۹، ۲۷) در کانال‌های افقی و شیبدار بدون ایجاد موج، ملاحظه می‌شود که در تمامی حالات با ایجاد موج، مقادیر تنش بسیار افزایش داشته است و به طور مثال برای آزمایش با وجود دو پایه کامل و تخریبی، افزایش تنش ۴.۲۶ و ۱.۸۵ برابری در کانال‌های افقی و شیبدار مشاهده شده است که این افزایش تنش‌ها در صورت متحرک بودن بستر، افزایش احتمال ایجاد آبستگي را به همراه خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی تغییرات تراز آب و سرعت جریان پیرامون پایه‌های کامل و تخریبی در هنگام تشکیل موج مثبت در کانال شیبدار و افقی پرداخته شده است. بدین منظور برای برداشت داده‌های سرعت جریان از سرعت‌سنج‌های ADV و PIV و برای اندازه‌گیری عمق، از عمق‌سنج جریان با چهار probe مجزا استفاده شده است. خلاصه‌ای از مهم‌ترین نتایج به دست آمده از این ۸ آزمایش (که به ترتیب مربوط به اندازه‌گیری تغییرات عمق و سرعت در کانال بدون وجود پایه، با وجود پایه تخریبی، با وجود پایه کامل و هر دو پایه کامل و تخریبی در کانال‌های افقی و شیبدار می‌باشد) بیانگر این است که:

- میانگین اختلاف داده‌های ADV و PIV برای آزمایش‌های ۱ تا ۴ به ترتیب برابر با ۶.۷۸، ۹.۴۳، ۱۰.۱۰ و ۱۰.۵۲ درصد می‌باشد که با توجه به نوع جریان که از نوع غیردائمی می‌باشد، کاملاً قابل قبول می‌باشد.
- در هر دو حالت کانال افقی و شیبدار، بیشینه مقادیر سرعت جریان در آزمایش اول بدون وجود پایه گزارش شده است

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: احسان اویسی، امید طیاری؛ روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: احسان اویسی، امید طیاری، نوید جلال کمالی؛ نظارت و نگارش نهایی: امید طیاری و احسان اویسی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Chanson H, Gualtieri C. 2008. Similitude and scale effects of air entrainment in hydraulic jumps. *Journal of Hydraulic Research*. 46(1): 35-44.
2. Madsen PA, Simonsen HJ, Pan CH. 2005. Numerical simulation of tidal bores and hydraulic jumps. *Coastal Engineering*. 52(5): 409-33.
3. Koch C, Chanson H. 2008. Turbulent mixing beneath an undular bore front. *Journal of Coastal Research*. 999-1007.
4. Tan L, Chu VH. 2009. Lauber and Hager's dam-break wave data for numerical

- model validation. *Journal of Hydraulic Research*. 47(4): 524-8.
5. Koch C, Chanson H. 2009. Turbulence measurements in positive surges and bores. *Journal of Hydraulic Research*. 47(1): 29-40.
 6. Furuyama SI, Chanson H. 2010. A numerical simulation of a tidal bore flow. *Coastal Engineering Journal*. 52(3): 215-34.
 7. Lubin P, Glockner S, Chanson H. 2010. Numerical simulation of a weak breaking tidal bore. *Mechanics Research Communications*. 37(1): 119-21.
 8. Chanson H. 2011. Turbulent shear stresses in hydraulic jumps, bores and decelerating surges. *Earth Surface Processes and Landforms*. 36(2): 180-9.
 9. Chanson H. 2012. Momentum considerations in hydraulic jumps and bores. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 138(4): 382-5.
 10. Simon B, Lubin P, Glockner S, Chanson H. 2011. Three-dimensional numerical simulation of the hydrodynamics generated by a weak breaking tidal bore. In *Proceedings of the 34th World Congress of the International Association for Hydro-Environment Research and Engineering: 33rd Hydrology and Water Resources Symposium and 10th Conference on Hydraulics in Water Engineering*. Engineers Australia.
 11. Chanson H, Docherty NJ. 2012. Turbulent velocity measurements in open channel bores. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*. 32:52-8.
 12. Yeow SC, Chanson H, Wang H. 2016. Impact of a large cylindrical roughness on tidal bore propagation. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 43(8): 724-34.
 13. Zheng F, Li Y, Xuan G, Li Z, Zhu L. 2018. Characteristics of Positive Surges in a Rectangular Channel. *Water*. 10(10): 1473-1485.
 14. Hager WH, Castro-Orgaz O. 2019. On the undular hydraulic jump and the undular surge. In *E-proceedings of the 38th IAHR World Congress*. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research, Panama, USA.
 15. Lin C, Kao MJ, Yuan JM, Raikar RV, Hsieh SC, Chuang PY, Syu JM, Pan WC. 2020. Similarities in the free-surface elevations and horizontal velocities of undular bores propagating over a horizontal bed. *Physics of Fluids*. 32(6): 063605.
 16. Bjørnstad M, Kalisch H, Abid M, Kharif C, Brun M. 2021. Wave Breaking in Undular Bores with Shear Flows. *Water Waves*: 1-18.
 17. Chiew YM, Melville BW. 1996. Temporal development of local scour depth at bridge piers. *North American Water and Environment Congress, ASCE, California, USA*.
 18. Raudkivi AJ, Ettema R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3): 338-350.
 19. Oveici E, Tayari O, Jalalkamali N. 2020. Experimental (ADV & PIV) and numerical (CFD) comparisons of 3D flow pattern around intact and damaged bridge piers. *Pertanika Journal of Science & Technology*. 28:523-544.
 20. Nortek AS. 2009. *Vectrino velocimeter user guide*. Nortek AS, Vangkroken, Norway.
 21. Akbari M, Vaghefi M, Chiew YM. 2021. Effect of T-shaped spur dike length on mean flow characteristics along a 180-degree sharp bend. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 69(1):98-107.
 22. Akbari M, Vaghefi M. 2017. Experimental investigation on streamlines in a 180° sharp bend. *Acta Scientiarum Technology*. 39(4): 425-432.
 23. Hurther D, Lemmin U. 2001. A correction method for turbulence measurements with a 3D acoustic Doppler velocity profiler. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 18(3):446-458.
 24. Voulgaris G, Trowbridge JH. 1998. Evaluation of the acoustic Doppler velocimeter (ADV) for turbulence measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 15(1): 272-289.
 25. Raffel M, Willert CE, Scarano F, Kähler CJ, Wereley ST, Kompenhans J. 2018.

- Particle image velocimetry: a practical guide. Springer.
26. Thielicke W, Stamhuis EJ. 2014. PIVlab-towards user-friendly, affordable and accurate digital particle image velocimetry in MATLAB. Journal of Open Research Software. 2(1): 1-30.
 27. Oveici E, Tayari O, Jalalkamali N. 2021. Flow Pattern in a Sloped Channel with Damaged and Undamaged Bridge Piers: Numerical and Experimental Studies. KSCE Journal of Civil Engineering. 25: 4240-4251.
 28. Vaghefi M, Akbari M, Fiouz AR. 2016. An experimental study of mean and turbulent flow in a 180 degree sharp open channel bend: Secondary flow and bed shear stress. KSCE Journal of Civil Engineering. 20(4): 1582-1593.

