

بررسی آزمایشگاهی اثر آرایش و شکل موانع پایه اسکله بر خصوصیات امواج عرضی

مهشاد همت پور^۱، امیر عباس کمان بدست*^۲ و فاطمه فرازمنند^۱

(۱) گروه فنی مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(۲) گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: Ka57_amir@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۲

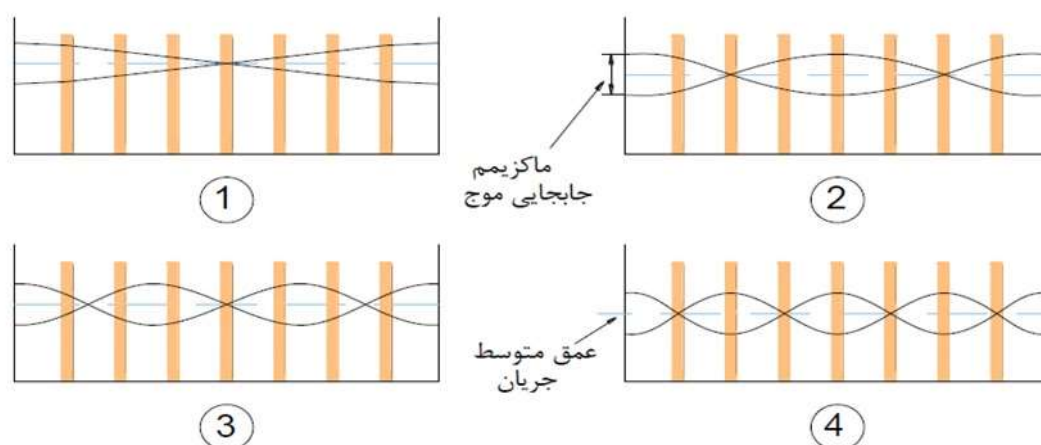
چکیده

بر اثر جریان سیالات پیرامون مجموعه‌ای از موانع با مقاطع مختلف که در مسیر جریان قرار گرفته‌اند و در نتیجه همپوشانی لایه‌های برشی و ورتکس ناشی از جدایی خطوط جریان، امواج عمود بر جریان تشکیل می‌شود. امواج عمود بر جریان از نوع نوسانی ایستا، عرضی و خطی هستند. در این تحقیق تاثیر شکل موانع پایه اسکله بر امواج عرضی عمود بر جریان، با ساخت موانع در فلوم آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. موانع مسیر جریان، موانع چوبی به چهار شکل مقطع متفاوت در دو آرایش موازی و زیگزاگ که بر روی یک ورق فلزی روی کف فلوم نصب شده‌اند، بود. با تغییر دادن شرایط هیدرولیکی جریان، در پنج دبی مختلف، موج با شرایط متفاوت در فلوم آزمایشگاهی تشکیل شد. در حالت تشدید امواج، رابطه مستقیمی بین طول موج امواج و آرایش موانع آزمایشگاهی داشتند. در این تحقیق فرکانس امواج عمود بر جریان، در آرایش‌های غیر موازی و زیگزاگی موانع مقایسه شده است. آرایش زیگزاگ موانع به دلیل پوشانندگی بالاتر از همه بهتر بود و شکل مثلث با وجود اغتشاش بیشتر در بین پایه‌ها بیشترین تولید $\Delta h/l$ را دارا است. با افزایش دبی اندازه‌ی در آرایش زیگزاگ پایه‌ها کمتر می‌شود. تاثیر آرایش زیگزاگی پایه‌ها بیشتر از آرایش در حالت موازی است. شکل مقطع مثلث در بین مقاطع دیگر بیشترین مقدار و بدترین نتیجه را داشته است. در تمام آزمایشات ایجاد شده در قوس بیرونی بیشتر از قوس داخلی است و لذا لازم است از آرایشی با پوشش بیشتر مانند زیگزاگی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: امواج عرضی، دامنه موج، گردابه، تراکم موانع و نوسان جریان.

مقدمه

در بسیاری از مواقع مجموعه‌ای از موانع مانند پایه‌های پل در مسیر رودخانه، پایه‌های اسکله در دریا، وجود گیاهان و درختان در بستر رودخانه و پایه‌های هر سازه هیدرولیکی دیگر که در یک مجرای روباز قرار دارد در مسیر حرکت آب قرار می‌گیرند. با عبور آب از بین این موانع، در پایین دست موانع، امواج سطحی که راستای انتشارشان عمود بر جهت جریان آب است، تشکیل می‌شود. این امواج با حداکثر دامنه، زمانی شکل می‌گیرند که بسامد نیروی ناشی از هم‌پوشانی امواج در پشت موانع با یکی از بسامدهای طبیعی نوسان آب برابر شود و تشدید صورت پذیرد. سه طبقه‌بندی برای موج‌ها در نظر گرفته شده است که شامل موج‌های طولی و عرضی، موج‌های خطی و غیرخطی و موج‌های پیشرونده و ایستا می‌باشد. طبقه‌بندی کلی بالا بر اساس تأثیر امواج در نحوه جابجایی ذرات محیط و بر اساس معادلات مورد استفاده برای حل امواج و در نهایت بر اساس بازتاب یا عدم بازتاب امواج است. در شکل ۱ چهار نوع موج با شماره‌های ۱ تا ۴ مشخص شده‌اند.



شکل ۱: انواع مختلف امواج عمود بر جریان در مجاری روباز

Ston (۱۹۹۷) و Shen و Ston (۱۹۹۹) موقعی که در حال آزمایش بر روی شبیه‌سازی زبری توسط موانع چوبی واقع در کف کانال بودند، متوجه وجود نوسانات شدید در بعضی از آزمایشات شدند. این آزمایشات درباره افت انرژی جریان بود و سیال مورد آزمایش آب بوده است. Ston (۱۹۹۷) زمانی که در حال آزمایش روی شبیه‌سازی زبری توسط موانع چوبی واقع در کف کانال بود، متوجه وجود نوسانات شدید در بعضی از آزمایشات شدند. این آزمایشات درباره افت انرژی جریان بود و سیال مورد آزمایش آب بود (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۳). Ackermann و Zima (۲۰۰۲) با انجام آزمایش‌های متعددی در دو فلوم شیب‌دار یکی به عرض ۰/۱۵ متر و طول ۲/۷۵ متر با موانع استوانه‌ای چوبی به قطر ۱۲/۷ میلی‌متر و دیگری فلومی با عرضی برابر ۰/۴۵ متر و طول ۱۲ متر با موانع استوانه‌ای چوبی به قطر ۲۵/۴ میلی‌متر، به بررسی امواج

عرضی عمود بر مسیر جریان ناشی از گردابه منتشر شده پس از برخورد جریان با موانع پرداختند و در آزمایش‌های خود امواج نوع یک و نوع دو را مشاهده کردند. در نهایت رابطه‌ای برای حداکثر دامنه نسبی امواج عرضی ارائه نمود. Ghomeshi و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی موج در عرض‌های متفاوت کانال با استفاده از میله‌های استوانه‌ای چوبی به قطر ۲۴ میلی‌متر و ارتفاع ۰/۳ متر پرداختند. با مشاهده امواج نوع یک، دو، سه و چهار روابطی برای محاسبه حداکثر دامنه نسبی امواج عرضی ارائه نمودند. Jafari و همکاران (۲۰۱۰a) حالت تشدید و تشکیل امواج با حداکثر دامنه را در برخورد جریان به موانع استوانه‌ای با استفاده از چهار قطر مختلف، بررسی نمودند. در نهایت به رابطه‌ای جهت محاسبه دامنه نسبی حداکثر امواج عمود بر جریان برای این موانع دست یافتند. Ghomeshi و همکاران (۲۰۰۷) آزمایشات خود را با یک فلوم عریض به عرض ۱/۲ متر و طول ۱۲ متر انجام دادند. آن‌ها کانال آزمایشگاهی را جهت بررسی موج در عرض‌های متفاوت کانال، به دو قسمت به ابعاد ۴۰ و ۸۰ سانتی‌متر تقسیم نمودند. آن‌ها که از میله‌های استوانه‌ای چوبی به قطر ۲۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده کرده بودند، توانستند امواج نوع یک، ۲، ۳ و ۴ را در فلوم آزمایشگاهی مشاهده نمایند. اعداد رینولدز در این آزمایشات در محدوده از ۱۰۰۰ تا ۴۴۰۰ قرار داشت و حداکثر دامنه موج مشاهده ۴۰ درصد عمق متوسط جریان بود. Teo و Lam (۲۰۰۳) بیان داشتند امواج خطی در واقع حالت ایده‌آل امواجی است که در طبیعت یافت می‌شوند. این امواج به این دلیل خطی نامیده می‌شوند که معادلات انتشار این امواج، معادلات دیفرانسیل جزئی مرتبه اول هستند، بنابراین تحلیل این امواج ساده‌تر است. امواج با دامنه کوچک امواج خطی محسوب می‌شوند. امواج غیرخطی معادلات انتشار پیچیده‌تری دارند که این معادلات تابعی از فرکانس و دامنه این امواج می‌باشد. مثال آشنای امواج غیرخطی، امواج شکسته شده در ساحل اقیانوس‌ها و دریاها می‌باشد. امواج صوتی، امواج طولی هستند. امواج طولی قابلیت انتشار در داخل حجمی از یک سیال را دارند. امواج عرضی (برشی) موجب جابجایی ذرات محیط در امتداد عمود بر جهت انتشار موج می‌شوند. امواجی که در سطح آب و یا در یک طناب منتشر می‌شوند و نیز امواج الکترومغناطیسی (امواج رادیویی و نور) در دسته امواج عرضی طبقه‌بندی می‌شوند. Teo و Lam (۲۰۰۳) با بررسی معادله پروفیل سطح آب بیان داشتند چنان‌که شکل موج با زمان حرکت کند، در این صورت نوع موج پیشرونده خواهد بود (پور محمدی و همکاران، ۱۳۹۳).

مواد و روش‌ها

مشخصات فلوم ساخته شده و نحوه ساخت آن

جهت بررسی آزمایشگاهی این تحقیق، فلومی در دانشگاه آزاد واحد اهواز با مشخصات زیر مورد استفاده قرار گرفت. کانال‌های ورودی و خروجی فلوم ساخته شده، روباز مستطیلی با جداره ورق پلکسی گلاس می‌باشد، به طوری که که طول

کانال‌های مستقیم ورودی در ابتدای فلوم و خروجی در انتهای فلوم بترتیب $4/5$ و $2/5$ متر است، عرض و ارتفاع فلوم نیز به ترتیب $0/5$ و $0/6$ متر بوده و بدنه فلوم در ارتفاع $0/7$ متری از سطح زمین قرار دارد. مسیر ورودی مستقیم (جهت ایجاد جریان یکنواخت و توسعه یافته)، کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت 3 میلی‌متر و دیواره‌ها از جنس پلکسی گلاس به ضخامت 10 میلی‌متر و به طول $4/5$ متر ساخته شده که هم اثر زبری جداره را کاهش می‌دهد و هم پدیده‌های هیدرولیکی در محفظه قابل رویت می‌باشند، مسیر خروجی نیز مستقیم، کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت 3 میلی‌متر و دیواره آن از جنس پلکسی گلاس با ضخامت 10 میلی‌متر به طول $2/5$ متر می‌باشد، کف فلوم به صورت بستر ثابت و بدون شیب و در حد دقت اجرایی به صورت افقی ساخته شده است (شکل ۲).



شکل ۲: نمایی از فلوم و شماتیک آن

بعد از مخزن فلوم، یک دریچه کشویی جهت تنظیم دبی ورودی به فلوم و یک سرریز مثلثی 90° درجه برای اندازه‌گیری دبی ورودی و یک دریچه کشویی در ابتدای آبگیر جانبی جهت باز و قطع جریان ورودی به آبگیر جانبی و همچنین سرریز مثلثی 90° درجه در انتهای فلوم، جهت اندازه‌گیری دبی خروجی از فلوم، از جنس ورق فلزی در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از ورود امواج به کانال از یک توری مشبک، بعد از سرریز ابتدایی استفاده گردید. برای چرخش آب در فلوم آزمایشگاهی با توجه به دبی مورد نظر از یک پمپ سانتریفیوژ به قدرت 3 کیلووات، قطر لوله مکش و دهش 4 اینچ استفاده شد. ارتفاع مکش پمپ تقریباً 2 متر و ارتفاع دهش آن حدود 20 متر و حد اکثر دبی قابل انتقال توسط پمپ 15 لیتر در

ثانیه بود. بدین منظور برای انجام این تحقیق از یک سری استوانه‌های چوبی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و با قطر ۲۵ میلی‌متر و به تعداد ۵۰ عدد و یک سری موانع با مقطع مربع شکل به طول اضلاع ۲۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر به تعداد ۵۰ عدد و ۵۰ عدد موانع با مقطع مثلث شکل به طول اضلاع ۲۵ میلی‌متر و ۵۰ عدد موانع با مقطع مستطیل شکل به طول اضلاع ۳۰ میلی‌متر در ۱۰ میلی‌متر جمعاً ۲۰۰ موانع استفاده شد که به دو آرایش موازی و زیگزاگ قرار گرفت. نمونه‌ای از این موانع در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: نمونه ای از موانع مربعی در قوس و مسیر مستقیم با آرایش زیگزاگ و موازی

با توجه به نتایج و مشاهدات قبلی محققین در زمینه مشخصات امواج عرضی و همچنین پارامترهای موثر کمیت‌های فیزیکی موثر بر مشخصات امواج عرضی، شامل موارد زیر می‌باشند: D : طول ضلع موانع، P : فاصله ردیف‌های موانع از یکدیگر، T : فاصله بین موانع در یک ردیف، Γ : شکل موانع، b : عرض فلوم، N : تعداد موانع در یک ردیف، ps : نوع آرایش موانع، Q : دبی جریان، H : عمق جریان، u : سرعت جریان، n : نوع موج، A : دامنه موج عمود بر جریان، f : فرکانس موج، fs : فرکانس کشش ورتکس ناشی از موانع، g : شتاب ثقل، μ : لزجت دینامیکی و ρ : جرم واحد حجم سیال.

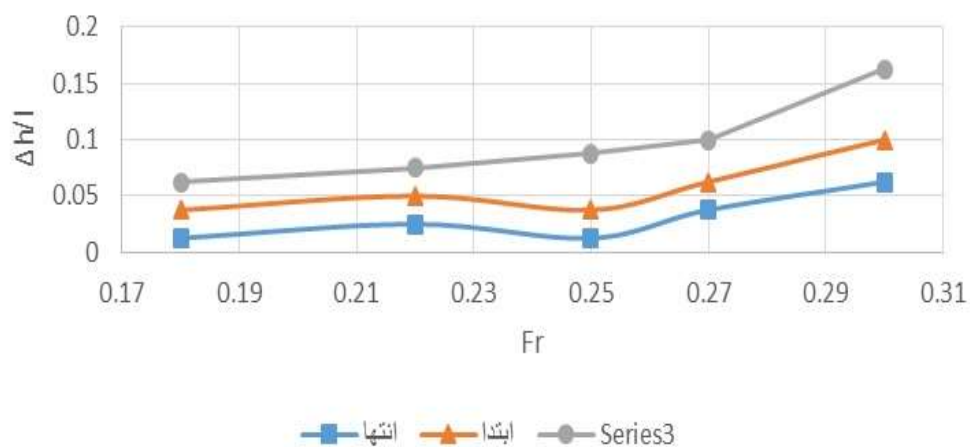
نتایج و بحث

آزمایش‌ها به صورت قرار گیری موانع با آرایش موازی و زیگزاگ و نیز تعیین ارتفاع امواج تشکیل شده در قوس می‌باشد.

آرایش موازی

مطابق نمودارهای تحلیل امواج در ابتدا، میانه و انتهای قوس مشاهده شد که در تمام اشکال پایه‌ها ارتفاع $(\Delta h/l)$ به دست آمده در میانه قوس از دو حالت دیگر بیشتر بوده که علت آن اثر مستقیم برخورد بردار سرعت به پایه‌های چوبی می‌-

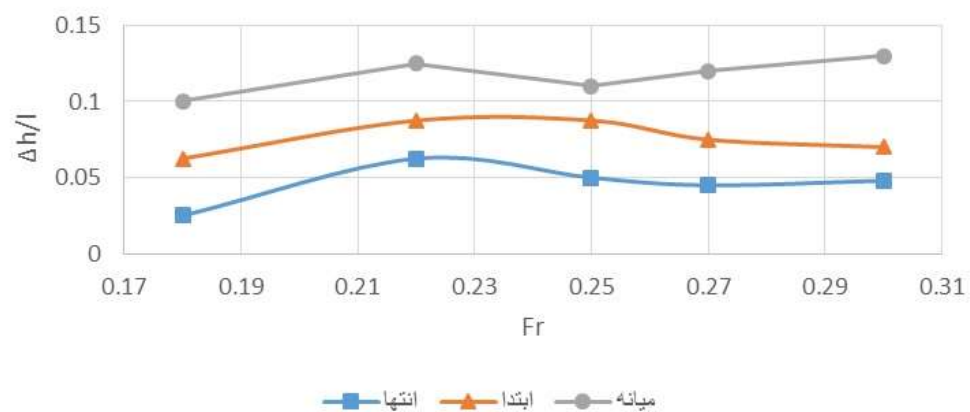
باشد. به عبارت دیگر در انتها و ابتدای قوس ارتفاع امواج کمتر بود. همچنین در این شرایط نیز شکل مثلث بیشترین تولید $(\Delta h/l)$ را داشت.



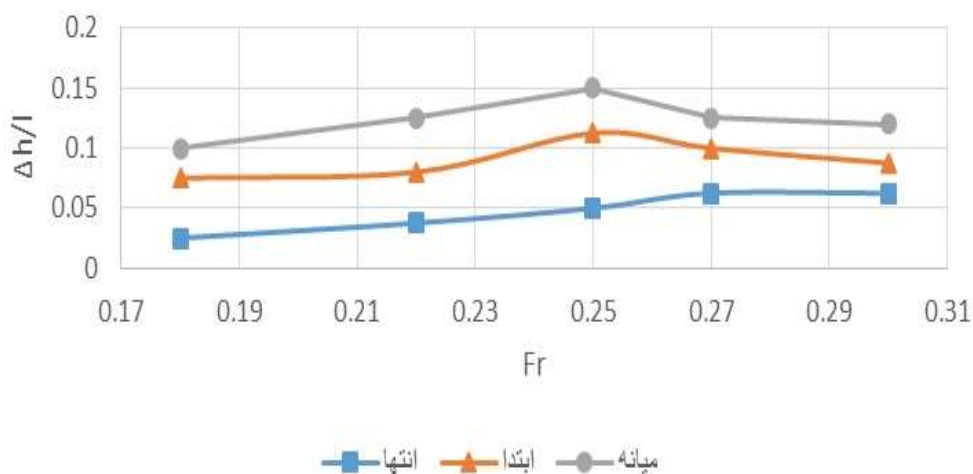
شکل ۴: نمودار متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش موازی مقطع دایره در ابتدا، میانه و انتهای قوس



شکل ۵: نمودار متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش موازی مقطع مربع در ابتدا، میانه و انتهای قوس



شکل ۶: نمودار متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش موازی مقطع مستطیل در ابتدا، میانه و انتهای قوس



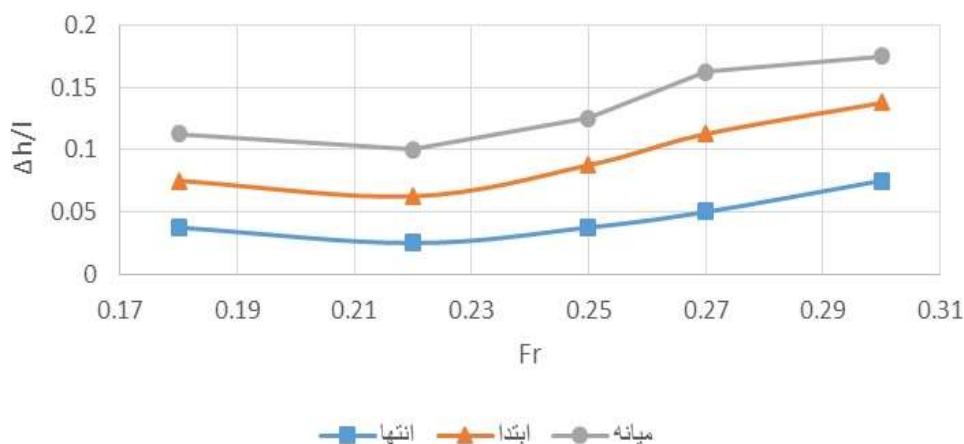
شکل ۷: نمودار متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش موازی مقطع مثلث در ابتدا، میانه و انتهای قوس

آرایش زیگزاگ

همچنین مطابق نمودارهای تحلیل امواج در ابتدا، میانه و انتهای قوس مشاهده شد که در تمام اشکال پایه‌ها ارتفاع $(\Delta h/l)$ به دست آمده در میانه قوس از دو حالت دیگر بیشتر بود که علت آن اثر مستقیم برخورد بردار سرعت به پایه‌های چوبی می‌باشد. به عبارت دیگر در انتهای و ابتدای قوس ارتفاع امواج کمتر بود. در این شرایط نیز شکل مثلث بیشترین میزان $(\Delta h/l)$ را داشت. نتایج نشان داد که با افزایش دبی در آرایش زیگزاگ در مقایسه با آرایش موازی اندازه $(\Delta h/l)$ کمتر می‌شود.



شکل ۸: متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش زیگزاگ مقطع دایره در ابتدا، میانه و انتهای قوس



شکل ۹: متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش زیگزاگ مقطع مستطیل در ابتدا، میانہ و انتہای قوس



شکل ۱۰: متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش زیگزاگ مقطع مثلث در ابتدا، میانہ و انتہای قوس

مقایسه امواج در قوس داخلی و بیرونی

طبق آزمایشات انجام شده، در آرایش موازی و با مقطع دایره در قوس داخلی ارتفاع از ۰/۰۶ متر تا ۰/۴۷ متر افزایش داشته و نسبت $(\Delta h/l)$ از ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۶۲۵ روبه افزایش بوده است. در قوس خارجی نیز با توجه به افزایش سرعت جریان ارتفاع در قوس خارجی از ۰/۰۴۸ متر تا ۰/۰۶۱ متر در دبی ۱۰ افزایش پیدا کرد و نسبت $(\Delta h/l)$ در قوس خارجی در کمترین دبی ۰/۰۳۷۵ و در بیشترین دبی ۰/۰۷۵ بوده است. همچنین در آرایش زیگزاگ این میزان افزایش ارتفاع در قوس داخلی در کمترین دبی ۰/۰۴۱ متر و در بیشترین دبی ۰/۰۵۷ متر و نسبت $(\Delta h/l)$ ، ۰/۰۱۲۵ تا ۰/۰۵ روبه افزایش بوده

است. در قوس خارجی نیز اختلاف ارتفاع بین ۰/۰۴۲ متر تا ۰/۰۶۳ متر و نسبت $(\Delta h/l)$ بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۸۷۵ بوده است.



شکل ۱۱: متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش موازی مقطع دایره در قوس بیرونی و داخلی



شکل ۱۲: متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش زیگزاگ مقطع دایره در قوس بیرونی و داخلی

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش دبی اندازه $(\Delta h/l)$ در آرایش زیگزاگ پایه‌ها کمتر می‌شود. تاثیر آرایش زیگزاگی بیشتر از حالت موازی است. شکل مقطع مثلث در بین مقاطع دیگر باعث بیشترین مقدار $(\Delta h/l)$ بود که در نتیجه بدترین حالت می‌باشد. در تمام آزمایشات $(\Delta h/l)$ ایجاد شده در قوس بیرونی بیشتر از قوس داخلی است و لذا لازم است از آرایشی با پوشش بهتر مانند زیگزاگی استفاده شود.

منابع

- پورمحمدی، م. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی امواج عمود بر جریان ناشی از کشش ورتکس پشت موانع منشوری شکل در کانال‌های روباز. پایان نامه دکتری سازه‌های آبی، چاپ نشده، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- مسجدی، ع. ر. ۱۳۸۹. مبانی و کاربرد مدل‌های فیزیکی- هیدرولیکی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.
- مصطفوی، س.، قمشی، م. و شاهمرادی، ب. ۱۳۹۵. بررسی بیشترین دامنه ی نسبی موج ایجاد شده ناشی از موانع مثلثی در حالت مستغرق. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۹ (۳): ۲۱۵-۲۰۹.
- ملاپاشی، م. ۱۳۸۹. ارتعاشات و امواج، چاپ ششم (ترجمه)، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- Aboutorabi, A., Ghomeshi, M. and Kamanbedast, A. A. 2010.** Experimental Investigation of Height Preventing Structures for Vertical Wave against Flow in Open channels. World Applied Sciences Journal, 9, pp:1067-1074.
- Azizi, R. and Ghomeshi, M.. 2010.** Relationship between the frequency of transverse waves and characteristics of the flow and obstacles in open channels. Iran-Water Resources Research, 6(2), pp: 14-16.
- Behara, S. and Mittal, S. 2010.** Flow past a circular cylinder at low reynolds number: Oblique vortex shedding. Physics of Fluid, 22(5), pp:101-113. doi:10.1063/1.3410925.
- Blevins, R. D. 1977.** Flow-induced vibrations. Van Nostrand Reinhold, London, Toronto, Melbourne.
- Bourdier, S., and Chaplin, G.R., 2012.** Vortex-induced vibrations of a rigid cylinder on elastic supports with end STOPS. Journal of Fluids and structures, 29, pp:62-68.
- Carmo, B.S., Sherwina, S. J., Bearmana, P. W. and Willdenb, R.H.J. 2011.** Flow-Induced vibration of a circular cylindersubjected to wake interference at low Reynolds number. Journal of Fluids and Structures, 27(4), pp: 503-522.
- Cohen, B., Wei, T. and Krane, M. 2006.** Experimental study of the flow-induced vibration of a flexible duct, American Physical Society. 59th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics, November 19-21, pp:123-132.
- Dean, G. D., and Dalrymple, R. A., 1984.** Water wave mechanics for engineers and scientists. World Scientific, London.
- Etienne, S. and Pelletier, D. 2012.** The low Reynolds number limit of vortex-induced vibrations. Journal of Fluids and Structures, 31, pp: 18-29.
- Euler, T. and Herget, J. 2011.** Controls on local scour and deposition induced by obstacles in fluvial environments. Catena, 91, pp:35-46.

Ghomeshi, M., Mortazavi Dorcheh, S. A. and Falconer R. 2007a. Amplitude of wave formation by vortex shedding in open channels. *Journal of Applied Sciences*, 7(24): 3927-3934.

Ghomeshi, M., Mortazavi-Dorcheh, S.A. and Falconer, R., 2007b. Wave Formation by Vortex Shedding in Open Channel. *Journal of Applied Sciences*, 7 (24): 3927-3934.

Huera-Huarte, F. J. and Gharib, M. 2011. Flow-induced vibrations of a side-by-side arrangement of two flexible circular cylinders. *Journal of Fluids and Structures*, pp: 354-366.

Jafari, A., Ghomeshi, M., Bina, M. and Kashefipour, S.M., 2010a. Comparing of ten modes of oscillation occurring across the open channels. *Proceedings of IAHR-APD Congress*, The University of Auckland, New Zealand.

Jafari, A., Ghomeshi, M., Bina, M. and Kashefipour, S.M., 2010b. Experimental study on ten modes of transverse waves due to vertical cylinders in open channels. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2): 949-955.

Kiua, K. Y., Stappenbelta, B. and Thiagarajan, K. P., 2011. Effects of uniform surface roughness on vortex-induced vibration of towed vertical cylinders. *Journal of sound and vibration*, 330(20), pp:4753-4763.

Lienhard, J. H. 1966. Synopsis of lift, drag and vortex frequency data for rigid circular cylinders. *Washington State University, College of Engineering, Research Division Bulletin 300.*

Nakagawa, T. 1987. Vortex shedding behind a square cylinder in transonic flows. *Journal of Fluid mechanics*, 178: 303-323.

Neary, V. S., 1992. Flow structure at an open channel diversion. MS thesis, Civil and Environmental Engineering, University of Iowa City, Iowa.

Neary, V. S. and Odgaard, A. J. 1993. Three Dimensional Flow Structure at Open Channel Diversions. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 119(11): 1223-1230.

Nysi, H., and Kamanbedast, A. A. 2014. Experimental investigation of vertical simple plates for controlling waves in bridge piers in river band. *Advances in Environmental Biology*, pp: 133-139.

Roshko, A. 1961. Experiments on the flow past a circular cylinder at very high Reynolds number. *Journal of Fluid Mechanics*, 10(3), pp: 345-356.

Stone, B. M. 1997. Hydraulics of flow in vegetated channels. M.Sc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University, Postdam, New York, USA.

Stone, B. M. and Shen, H.T. 1999. Hydraulics of flow in vegetated channel with cylindrical roughness. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(5), pp:500-506.

Zima, L. and Ackermann, N. 2002. Wave generation in open channels by vortex shedding from channel obstructions. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(6): 596-603.

Experimental investigation of the barrier bases shape effects on the transverse waves characteristics

M. Hemmatpour¹, A. A. Kamanbedast^{*2} and F. Farazmand¹

1) Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2) Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

* Corresponding author: Ka57_amir@yahoo.com

Received Date: 2018.04.11

Accepted Date: 2018.06.18

Abstract

The effect of fluid flow around a cylindrical obstacles placed in the path of the shear layer and thus the overlap caused by the separation vortex flow lines, the waves perpendicular to flow is formed. In this study the phenomenon of wave's perpendicular to the flow in the flume was evaluated by constructing barriers. Barriers perpendicular to the flow direction are wooden barriers that were arranged into four different cross-sections in two parallel arrangements and staggered mounted on a metal plate on the bottom of the flume. By changing the hydraulic conditions of the flow, in five different discharge, the wave was formed with different conditions in the laboratory flume. In the wave resonance mode, there was a direct relationship between wavelength waves and the arrangement of laboratory barriers. In this study, the frequency of the waves perpendicular to the flow, in parallel arrangements and staggered of barriers had been compared. The results showed that the staggered arrangement is better than all, and the triangular shape has the highest production of $\Delta h / l$ despite more turbulence among the barriers.

Keywords: Vortex, Transverse waves, Physical model, Parallel arrangement and Staggered arrangement.