

تأثیر آزمایشگاهی اثر شکل موانع پایه اسکله بر خصوصیات امواج عرضی

مهشاد همت پور^۱، امیر عباس کمان بدست^۲

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

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 تأثیر شکل موانع پایه اسکله بر امواج عرضی عمود بر جریان، با ساخت موانع در فلوم آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفته است. 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. 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. نتایج نشان داد آرایش زیگزاگ موانع به دلیل پوشاندگی بالاتر از همه بهتر بوده و شکل مثلث با وجود اغتشاش بیشتر در بین پایه‌ها بیشترین تولید $\Delta h/l$ را دارا است.

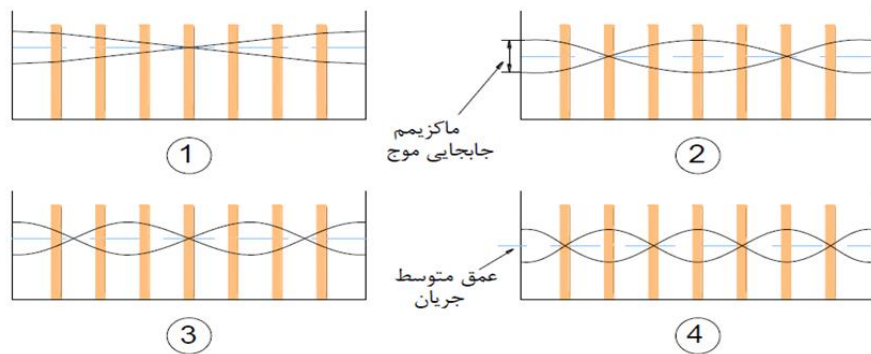
واژه‌های کلیدی: امواج عرضی، دامنه موج، گردابه، تراکم موانع، نوسان جریان

مقدمه

نوسان آب برابر شود و تشدید صورت پذیرد. سه طبقه بندی برای موج‌ها در نظر گرفته شده است که شامل، موج‌های طولی و عرضی، موج‌های خطی و غیر خطی و موج‌های پیشرونده و ایستا می‌باشد. طبقه بندی کلی بالا بر اساس تأثیر امواج در نحوه ی 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.

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 پائین 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



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

آزمایش آب بوده است. همچنین مزاحمت‌های سطحی شبیه موج در هنگام مطالعات بر روی مدل هیدرولیکی در موقع عبور جریان کانال از بین موانع با ساقه‌های عمودی توسط توجیموتو (۱۹۹۲)، و توجیموتو و کیتامورا (۱۹۹۲) مشاهده گردید. مطالعات توجیموتو در فلوم با طول ۱۲ متر و عرض ۰/۴ متر صورت گرفت. ۰/۳۰ متری فلوم بوسیله ساقه‌های بامبو به قطر ۱/۲ میلیمتر پوشانده شده بود. عزیز و قمشی (۱۳۸۹) مطالعات خود را با موانع با قطر ۲۵ میلیمتر و در دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه انجام دادند و امواج نوع یک، دو، سه و چهار را مشاهده نمودند. رابطه ۱ برای تعیین عدد استروهل توسط این محققین هنگامی که سیال آب است ارائه شده است:

$$\frac{A}{h} = \frac{N}{S^2} \frac{D}{P} \left(\frac{D}{b}\right)^2 K \quad [1]$$

در این رابطه A دامنه موج، N تعداد استوانه‌ها، در یک ردیف، P فاصله بین ردیف‌های موانع و K ضریب ثابت برابر با ۲/۲۵۵ می‌باشد. قمشی 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 و توانستند امواج نوع یک، دو، سه و چهار را در فلوم آزمایشگاهی مشاهده نمایند. اعداد

لام و تو (۲۰۰۳) 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 غیر خطی معادلات انتشار پیچیده‌تری دارند که این معادلات تابعی از فرکانس و دامنه این امواج می‌باشند. مثال آشنای امواج غیر خطی، امواج شکسته شده در ساحل اقیانوس‌ها و دریاها می‌باشد. هنینبرگ و همکاران (۱۹۹۳) در امواج طولی (تراکمی) تغییر شکل و جابجایی ذرات محیط به موازات جهت انتشار موج است. 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. لام و تو (۲۰۰۳) با بررسی معادله پروفیل سطح آب، چنانکه شکل موج با زمان حرکت کند، در این صورت نوع موج پیشرونده خواهد بود. استون (۱۹۹۷) و استون و شن (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 بوده و سیال مورد

متربر ثانیه، بوده است. همچنین نسبت $(AR = \frac{\Delta b}{L_b})$ شکل حفرات ΔB که در آن عرض یا بعد جانبی حفرات و L_b طول یا بعد در راستای جریان حفره می باشد، که در محدوده ی $0.5/0$ الی $0.8/0$ قرار داشت. بیش از ۱۲ دبی مختلف برای هر پیکره بندی دیواره ی مسیر در شرایط مختلف جریان مورد آزمایش قرار گرفت. درنتیج ارائه شده توسط آنها، نوسان متناوب سطح آب حاصل از گردابه های ایجاد شده در حفرات موجود در دیواره در شرایط مختلف آزمایشگاهی قابل توجه می باشد. آنها همچنین بیان نمودند که اگر هیچ نوسان متناوبی در سطح آب مشاهده نشود ارتفاع متوسط امواج وابسته در دیواره های جانبی فلوم کمتر از $0.3/0$ و اگر نوسانات قوی و بزرگی در سطح آب پدیدار شود، ارتفاع متوسط امواج می تواند تا $0.3/0$ عمق متوسط جریان افزایش یابد. فرکانس های مشاهده شده از نوسانات سطح آب مطابق است با فرکانس طبیعی آب موجود در عرض محدود کانال، که آنها این فرکانس طبیعی را در یک کانال با مقطع مستطیل شکل، با در نظر گرفتن نوع موج (n) عرضی تشکیل شده با استفاده از فرمول ارائه شده توسط اهمتو و همکاران (۲۰۰۵) معادله ی ۲ را محاسبه نمودند.

$$f^n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{n\pi g}{w} \tanh\left(\frac{n\pi h}{w}\right)} \quad [2]$$

با توجه به اینکه برای عمق کم آب (h) نسبت به عرض ($h/w < 1$) : (w) فوق به شکل معادله ی ۳ قابل نویسی است.

$$f^n = \frac{n\sqrt{gh}}{2w} \quad [3]$$

که در آن f_n فرکانس طبیعی آب در عرض محدوده ی از کانال، n شماره موج عرضی g شتاب گرانشی زمین، h عمق متوسط جریان و w عرض جریان یا فلوم می باشد. همچنین آنها معتقد بودند که پیش بینی دامنه نوسانات سطح آب به سادگی فرکانس

رینولدز در این آزمایشات در محدوده از ۱۰۰۰ تا ۴۴۰۰ قرار داشته و حداکثر دامنه موج مشاهده ۴۰ درصد عمق متوسط جریان بوده است. جاسمی و همکاران (۱۳۹۲) تاثیر حضور موانع بر میزان دبی عبوری در یک فلوم آزمایشگاهی مستطیلی شکل در شرایط وجود امواج عرضی را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور آنها از موانع چوبی استوانه ای به قطر ۱۲ میلیمتر و یک دیواره ی جداکننده به طول ۴ و ارتفاع $0.6/0$ متر جهت مقایسه ی میزان دبی عبوری در حالت حضور و عدم حضور موانع استفاده کردند. آزمایشات با دو آرایش موازی و زیگزاگی و سه دبی مختلف ۲۵، ۳۰، ۳۵ لیتر بر ثانیه انجام شد. اندازه گیری و مقایسه های انجام شده در اعماقی صورت گرفت که موج با حداکثر دامنه تشکیل شده است. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که با افزایش شماره موج و همچنین تغییر نحوه آرایش موانع از حالت موازی به زیگزاگی میزان دبی عبوری از قسمت بدون موانع افزایش یافته است. جعفری و همکاران (۲۰۱۰) با توجه به استفاده از ۴ قطر مختلف ۵، ۱۲، ۲۵، ۴۲ میلیمتر در دبی های متغیر، ده نوع موج عرضی را در فلوم مشاهده نمودند.

میل و همکارانش (۲۰۱۱) پژوهش خود را در فلوم آزمایشگاهی به طول $38/33$ و عرض $0.485/0$ متر با شیب متوسط $1/14\%$ به طوری که با ایجاد حفرات مستطیل شکل در دیواره و تشکیل امواج عرضی و مطالعه روی مشخصات آن نمودند. به طوری که طول اسمی این حفره ها $0.5/0$ ، ۱ و ۲ متر در نظر گرفتند، که به این ترتیب آزمایش ها را در ۳۶ حالت مختلف و در مجموع به تعداد ۴۲۹ برنامه ریزی و به انجام رساندند. سایر مشخصات پارامترهای استفاده شده در این آزمایشات از قرار ذیل است:

دبی جریان در محدوده ی $0.037/0$ الی $0.1255/0$ متر مکعب بر ثانیه، عدد فرود $0.37/0$ تا $0.64/0$ عدد رینولدز 6800 الی 110000 عمق متوسط جریان $0.03/0$ متر و سرعت متوسط جریان از $0.25/0$ تا $0.8/0$

از سطح زمین قرار دارد. مسیر ورودی مستقیم (جهت ایجاد جریان یکنواخت و توسعه یافته)، کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت ۳ میلیمتر و دیواره ها از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۱۰ میلیمتر و به طول ۴/۵ متر ساخته شده که هم اثر زبری جداره را کاهش می دهد و هم پدیده های هیدرولیکی در محفظه قابل رویت می باشند، مسیر خروجی نیز مستقیم، کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت ۳ میلیمتر و دیواره آن از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلیمتر به طول ۲/۵ متر می باشد، کف فلوم به صورت بستر ثابت و بدون شیب و در حد دقت اجرایی به صورت افقی ساخته شده است، (شکل ۲).

آن نبوده، به این منظور آزمایشات طوری هدایت شدند که با حداکثر دامنه نوسانات، که در نزدیکی اعداد استرومال بحرانی ۰/۸۴ و ۴۲/۰ اتفاق می افتد، باشند. مواد و روش ها

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. کانال های ورودی و خروجی فلوم ساخته شده، روباز مستطیلی با جداره ورق پلکسی گلاس می باشد، بطوریکه که طول کانال های مستقیم ورودی در ابتدای فلوم و خروجی در انتهای فلوم بترتیب ۴/۵ و ۲/۵ متر است، عرض و ارتفاع فلوم نیز به ترتیب ۰/۶ و ۰/۵ متر بوده و بدنه فلوم در ارتفاع ۰/۷ متری



شکل ۲ - نمایی از فلوم و شماتیک آن

برای چرخش آب در فلوم آزمایشگاهی با توجه به دبی مورد نظر از یک پمپ سانتریفیوژ به قدرت ۳ کیلووات، قطر لوله مکش و دهش ۴ اینچ استفاده شد. ارتفاع مکش پمپ تقریباً ۲ متر و ارتفاع دهش آن حدود ۲۰ متر و حد اکثر دبی قابل انتقال توسط پمپ ۱۵ لیتر در ثانیه است.

بدین منظور برای انجام این تحقیق از یک سری استوانه های 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

بعد از مخزن فلوم، یک دریچه کشویی جهت تنظیم دبی ورودی به فلوم و یک سرریز مثلثی ۹۰ درجه برای اندازه گیری دبی ورودی و یک دریچه کشویی در ابتدای آبگیر جانبی جهت باز و قطع جریان ورودی به آبگیر جانبی و همچنین سرریز مثلثی ۹۰ درجه در انتهای فلوم، جهت اندازه گیری دبی خروجی از فلوم، از جنس ورق فلزی در نظر گرفته شده است. و برای جلوگیری از ورود امواج به کانال از یک توری مشبک، بعد از سرریز ابتدایی استفاده شده است.

۱۰ میلیمتر جمعاً ۲۰۰ مانع استفاده شد. که به دو آرایش موازی و زیگزاگ قرار گرفته است. نمونه ای از این موانع در شکل ۳ نشان داده شده است:

سانتی متر به تعداد ۵۰ و ۵۰ عدد مانع با مقطع مثلث شکل به طول اضلاع ۲۵ میلیمتر و ۵۰ عدد مانع با مقطع مستطیل شکل به طول اضلاع ۳۰ میلیمتر در



شکل ۳- نمونه ای از موانع مربعی

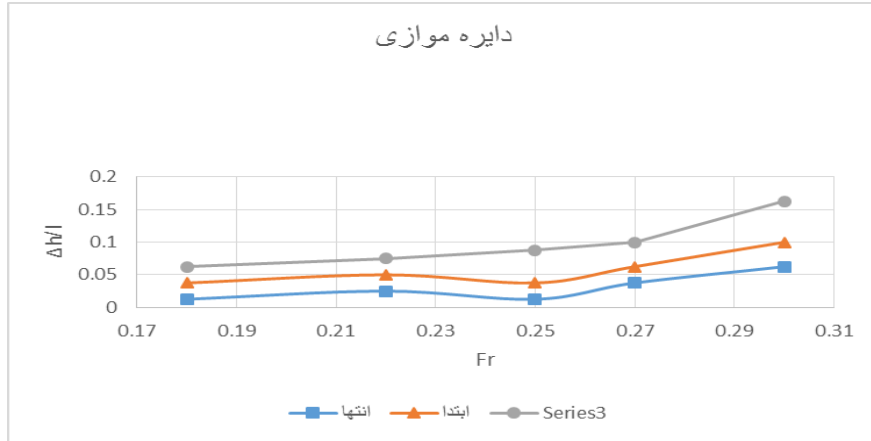
و رتکس ناشی از موانع (f_s)، شتاب ثقل g ، لزجت دینامیکی μ ، جرم واحد حجم سیال ρ با توجه به پارامترهایی که ذکر شد می توان نتایج را به صورت زیر بیان کرد:

نتایج و بحث

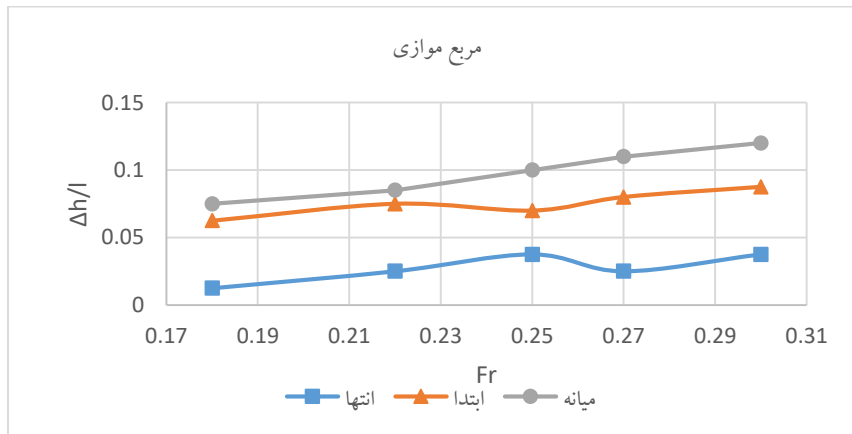
آزمایش ها بصورت قرار گیری موانع با آرایش موازی و نیز تعیین ارتفاع امواج تشکیل شده در قوس می باشد، که در این فصل نتایج و پیشنهادات ارائه می شود.

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 می باشند:

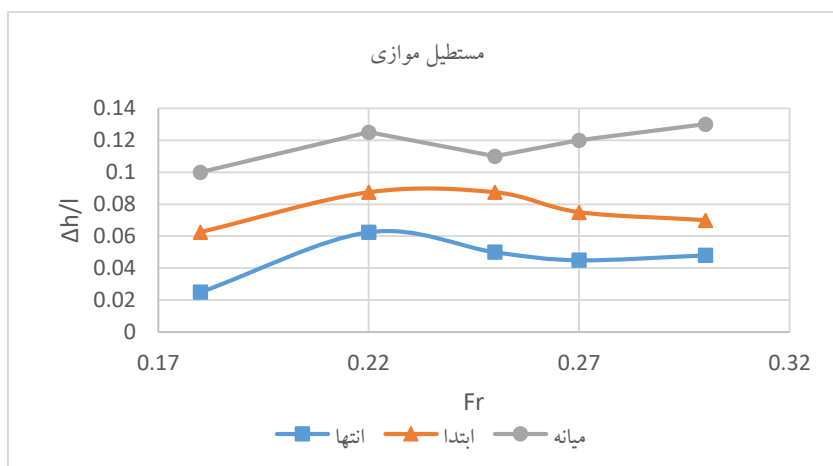
طول ضلع موانع D ، فاصله ردیف های موانع از یکدیگر P ، فاصله بین موانع در یک ردیف T شکل موانع Γ ، عرض فلوم b تعداد موانع در یک ردیف N ، نوع آرایش موانع ps دبی جریان Q عمق جریان H سرعت جریان u ، نوع موج n ، دامنه موج عمود بر جریان A ، فرکانس موج (f) ، فرکانس کشش



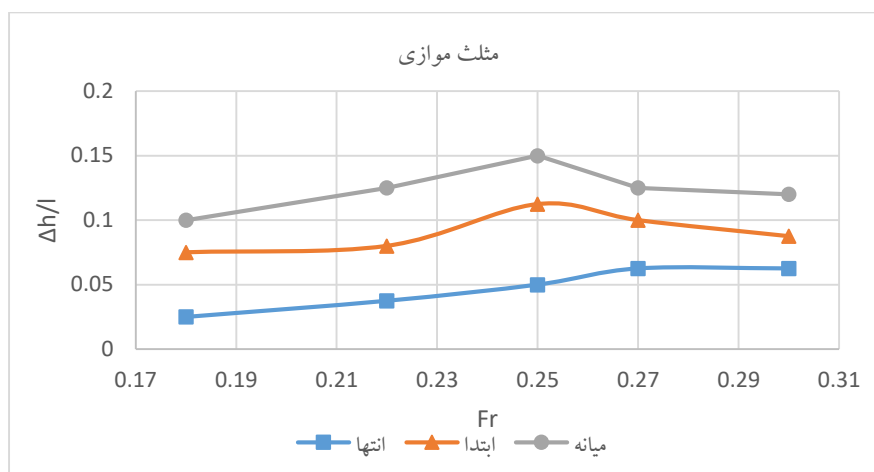
شکل ۴- نمودار متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش موازی مقطع دایره در ابتدا، میانه و انتهای قوس



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 ۸- نمودار متوسط اختلاف ارتفاع موج در آرایش موازی مقطع مثلث در ابتدا، میانه و انتهای قوس

بردار سرعت به پایه های چوبی می باشد. به عبارت دیگر در انتها و ابتدای قوس ارتفاع امواج کمتر بوده. همچنین در این شرایط نیز شکل مثلث بیشترین تولید $\Delta h/l$ را داشت.

مطابق نمودارهای تحلیل امواج در ابتدا، میانه و انتهای قوس مشاهده شد که در تمام اشکال پایه ها ارتفاع $\Delta h/l$ به دست آمده در میانه ی قوس از دو حالت دیگر بیشتر بوده که علت آن اثر مستقیم برخورد

منابع

۱. ملاباشی ۱۳۸۹، ارتعاشات و امواج، چاپ ششم (ترجمه)، دانشگاه علم و صنعت.
۲. پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۳)، بررسی آزمایشگاهی امواج عمود بر جریان ناشی از کشش ورتکس پشت موانع منشوری شکل در کانالهای روباز پایان نامه دکتری دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳. مصطفوی و همکاران (۱۳۹۴)، بررسی بیشترین دامنه ی نسبی موج ایجاد شده ناشی از موانع مثلثی در حالت مستغرق، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم آب دانشگاه چمران اهواز.
۴. علیرضا مسجدی (۱۳۸۹)، مبانی و کاربرد مدل‌های فیزیکی - هیدرولیکی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.
5. Aboutorabi, M.Ghomeshi, Kamanbedast, A.A (2010). "Experimental Investigation of Height Preventing Structures for Vertical Wave against Flow in Open channels". World Applied Sciences Journal, 9, p1067-1074.
6. Behara, S. and Mittal, S., (2010). "Flow past a circular cylinder at low reynolds number: Oblique vortex shedding", Physics of Fluid, Volume 22, Issue 5, American Institute of Physics (AIP).
7. 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, Volume 29, pp.62-68.
8. Etienne, S., and Pelletier, D., (2012). "The low Reynolds number limit of vortex-induced vibrations", Journal of Fluids and Structures, Volume 31, pp. 18-29.
9. Blevins, R. D., (1977). "Flow-induced vibrations", Van Nostrand Reinhold, London, Toronto, Melbourne.
10. Carmoa, 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, Volume 27, Issue 4, pp. 503-522.
11. Cohen, B., et al., (2006), "Experimental study of the flow-induced vibration of a flexible duct", American Physical Society.

12. Dean, G. D., and Dalrymple, R. A., (1984). "Water wave mechanics for engineers and scientists", World Scientific, London.
13. Euler, T. and Herget, J., (2011). " Controls on local scour and deposition induced by obstacles in fluvial environments", Journal of Hydrodynamics.
14. Ghomeshi, M., Mortazavi-Dorcheh, S.A. and Falconer, R., (2007), "Wave Formation by Vortex Shedding in Open Channel", Journal of Applied Sciences 7 (24): pp. 3927-3934.
15. 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.
16. 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.
17. 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, Vol.8 (2), Helsinki, Finland, pp. 949-955.
18. Kiua, K. Y., Stappenbelta, B. and Thiagarajan, K. P., (2011). "Effects of uniform surface roughness on vortex-induced vibration of towed vertical cylinders", Western Australia.
19. Nakagawa, T., et al., (1987). "Vortex shedding behind a square cylinder in transonic flows", Journal of Fluid mechanics.
20. Neary, V. S., (1992). "Flow structure at an open channel diversion", MS thesis, Civil and Environmental Engineering, University of Iowa City, Iowa.
21. Neary, V. S., and Odgaard, A. J., (1993), "Three Dimensional Flow Structure at Open Channel Diversions," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.119, No 11, pp. 1223-1230.
22. Nysi, H., & Kamanbedast, A. A. (2014). Experimental investigation of vertical simple plates for controlling waves in bridge piers in river band. Advances in Environmental Biology, 133-139.