

An experimental study on the effects of transverse waves modes 1, 2, 3 and 4 on suspended sediment transport

N. Poustizadeh^{1*}, M. Ghomeshi²
and M. Mahmoodian Shooshtari³

Abstract

In present study the effects of transverse waves modes 1, 2, 3 and 4 in a staggered obstacles arrangement on suspended sediment load transport in a rectangular flume was investigated. The results show that in no transverse wave condition, the concentration of suspended sediment at downstream obstacles zone is more than the part of no obstacles zone but it was reduced in the case of existing transverse wave. In the same condition of discharge, diameter and perpendicular and transversal distances of obstacles, increasing of transverse wave mode caused to decrease of this difference. Also, the percentage of decreased suspended sediment concentration in obstacles zone rather than no transverse wave condition was decreased. In fact the concentration of the transported suspended sediment in obstacles zone for wave modes 1, 2, 3 and 4 rather than no transverse wave condition was decreased about 6.2%, 3.9%, 3.6% and 3.1%, respectively and in this condition, suspended sediment was deposited at upstream of the obstacles zone for transverse wave modes 3 and 4. However, 1% and 3% of this sediment was transported to no obstacles zone for wave mode 1 and 2. Also, according to findings, the ability of wave for decreasing of suspended sediment concentration at downstream obstacles zone rather than part of no obstacles zone is increased by increasing of the wave amplitude.

Keywords: Suspended sediment concentration, transverse wave, vortex.

Received: July 3, 2013

Accepted: April 16, 2014

بررسی آزمایشگاهی تأثیر امواج عمود بر جریان نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ بر انتقال رسوبات معلق

ندا پوستی‌زاده^{۱*}، مهدی قمشی^۲
و محمد محمودیان شوشتاری^۳

چکیده

در تحقیق حاضر تأثیر امواج عمود بر جریان نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ بر انتقال رسوبات معلق در آرایش زیگزاگی موانع، در یک فلوم مستطیلی بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در حالت عدم وجود موج عمود بر جریان، غلظت رسوبات معلق در انتهای بازه موانع بیشتر از انتهای بازه بدون موانع هست اما در حالت وجود موج، عکس این قضیه اتفاق می‌افتد. در شرایط یکسان از دبی، قطر و فاصله‌ی طولی و عرضی موانع، افزایش شماره موج باعث کاهش اختلاف غلظت رسوبات معلق در پایین‌دست بازه موانع نسبت به بازه بدون موانع شده است. همچنین درصد کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بازه موانع، نسبت به شرایط عدم وجود موج، کاهش یافته است. به گونه‌ای که غلظت رسوبات معلق منتقل شده، تحت اثر امواج نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب $6/2\%$ ، $3/9\%$ ، $3/6\%$ و $3/1\%$ کاهش یافته است و در این شرایط، تحت اثر موج نوع ۳ و ۴، رسوبات معلق در بالادست بازه موانع ته نشین شده‌اند اما ۱ و ۳ درصد از رسوبات منتقل شده در بازه موانع، به ترتیب تحت اثر موج نوع ۱ و ۲ به بازه بدون موانع منتقل شده‌اند. همچنین نتایج نشان داده است که با افزایش دامنه موج، توانایی موج در کاهش غلظت رسوبات معلق پایین‌دست موانع نسبت به بازه بدون موانع افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: غلظت رسوبات معلق، موج عمود بر جریان، ورتکس.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۲ تیر ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۷ فروردین ۱۳۹۳

1- Ph.D Student of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University (SCU), Ahwaz, Iran. Email: Nedapzh@gmail.com

2-Professor, Faculty of Water Structures Engineering, Shahid Chamran University (SCU), Ahwaz, Iran

3-Professor, Faculty of Civil engineering, Shahid Chamran University (SCU), Ahwaz, Iran

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

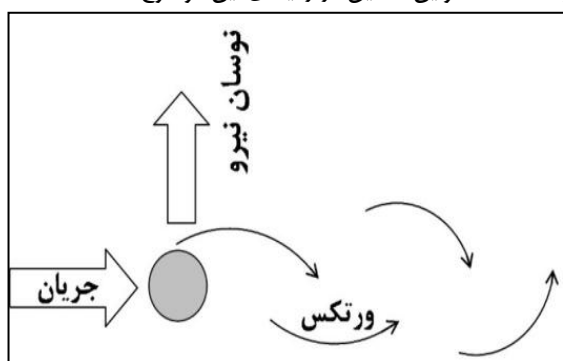
۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

۳- استاد گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

آن در محیط آب پرداخته باشد بسیار کم است. Crasse (1939) یافته‌های خود را در مورد امواج تولیدشده در کانال‌های باز منتشر کرده است که اولین تحقیق در زمینه‌ی این موضوع هست.



شکل ۱- نمای شماتیک تشکیل ورتکس در یک سمت مانع

Schuster (1967) نوسانات ناشی از پایه‌های پل را بررسی کرده است. همچنین Falvey (1980) تولید موج توسط پایه‌های پل را در یک کانال دوزنقه‌ای بررسی کرده است.

Multu Sumer et al. (1992) درباره تأثیر موج در فرسایش اطراف موانع عمودی واقع در مسیر جریان، تحقیقات آزمایشگاهی انجام داده‌اند.

Zima and Ackermann (2002) تحقیقاتی را در دبی ثابت و موانع با قطرهای مختلف در آب انجام داده‌اند و امواج نوع ۱ و در برخی آزمایش‌ها امواج نوع ۲ را مشاهده کرده‌اند و در نهایت فرمولی برای شبیه‌سازی مقادیر ماکزیمم دامنه‌ی امواج عرضی به صورت بی بعد ارائه کرده‌اند. Ghomeshi et al. (2007) در تحقیق دیگری آزمایش‌های خود را با استفاده از موانعی به قطر ۲۴ میلی‌متر در آب انجام داده‌اند و توانستند امواج نوع یک، دو، سه و چهار را در فلوم آزمایشگاهی مشاهده نمایند و روابطی را برای محاسبه‌ی دامنه و فرکانس امواج پیشنهاد کنند. Jafari et al. (2010) در تحقیق خود رابطه‌ای جهت محاسبه‌ی دامنه‌ی نسبی ماکزیمم امواج عمود بر جریان و رابطه‌ای جهت محاسبه‌ی عدد استروهل مربوط به مجموعه‌ای از موانع که در مسیر جریان قرار دارند ارائه کرده‌اند.

در زمینه‌ی تأثیر امواج عمود بر جریان بر انتقال رسوبات در مجاری روباز تا کنون تحقیقات زیادی انجام نشده است.

عزیزی و قمشی (۱۳۸۹) دو رابطه برای تعیین فرکانس امواج حاصل از پدیده ارتعاش ناشی از ورتکس در مجاری روباز ارائه کرده‌اند. از

در جریان مجاری روباز تغییر در اندازه سرعت یا عمق جریان نسبت به زمان یا مکان را موج می‌نامند. به عبارت دیگر جریان‌های غیر ماندگار در مجاری روباز که تحت تأثیر نیروی ثقل قرار می‌گیرند، جریان‌هایی تحت عنوان امواج آب را ایجاد می‌کنند. امواج بلند، امواج جزر و مد امواج ناگهانی (خیزاب) در نتیجه عملکرد سازه‌های مصنوعی موجود در مسیر جریان، شکست سد و موج سیل از جمله مثال‌هایی هستند که در جریان‌های غیر ماندگار با سطح آزاد ایجاد می‌شوند. در تمام موارد فوق، امتداد انتشار امواج به موازات جهت جریان سیال هست. در این تحقیق، امواج سطحی عمود بر جریان مورد بررسی قرار گرفته است که مهم‌ترین تفاوت آن با موارد فوق، امتداد انتشار امواج هست. امواج عمود بر جریان در امتداد عرض آبراهه (عمود بر جهت جریان) منتشر می‌شوند. مکانیسم تشکیل امواج عمود بر جریان به صورت زیر هست.

در جریان‌های آزاد یا تحت فشار سیالات، هنگامی که جسم جامدی در مسیر جریان سیال (اعم از گازها و مایعات) قرار می‌گیرد، با رسیدن ذره سیال به لبه جلویی جسم جامد، سرعت صفر می‌شود و فشار ذره از فشار اولیه سیال تا حد فشار دینامیک در نقطه سکون افزایش می‌یابد. فشار بالای سیال در نزدیکی مرز جسم جامد باعث تشکیل لایه مرزی در طرفین جسم جامد می‌شود. با رشد لایه مرزی و پس از طی مسافتی در روی مرز جسم جامد، در اثر گرادیان فشار، پدیده جدایی خطوط جریان رخ می‌دهد. در پایین‌دست خطوط جریانی که از مرز جدا می‌شوند دنباله و ورتکس به وجود می‌آید.

در شکل ۱، نمای شماتیک تشکیل ورتکس در یک سمت مانع استوانه‌ای نشان داده شده است که در نتیجه همپوشانی ورتکس ناشی از موانع، امواج عمود بر جریان در سطح جریان و در امتداد عرض آبراهه تشکیل می‌شوند. امواج عمود بر جریان، امواج نوسانی (تناوبی) ایستا و عرضی هستند و با توجه به دامنه کم آن‌ها، خطی فرض می‌شوند.

بیشتر یافته‌ها و تحقیقات در مورد گرداب‌های حاصل از عبور سیالات از پیرامون موانع موجود در مسیر جریان به گازها مربوط می‌شود.

عمده‌ی تحقیقات در این زمینه توسط Fitz-Hugh (1973)، Hamakawa et al. (2006)، Zukauskas et al. (1988) و Blevins (1977) و Ziada (2006) صورت گرفته است. در مقابل این موضوع، تحقیقاتی که به تشکیل گرداب و پدیده‌های مرتبط با

تحقیق دیگری، قمشی (۱۳۸۸) تأثیر امواج عمود بر جریان را بر شکل بستر مورد مطالعه قرار داده و با توجه به مشاهدات خود چنین بیان کرده است که در فاصله‌ی حدود ۷۰ سانتی‌متری موانع، برای برخی مصالح تشکیل فرم بستر ریپل مشاهده می‌شود، همچنین برای مصالح بسیار ریز کاهش حجم مصالح و معلق شدن آن‌ها را اظهار داشته است.

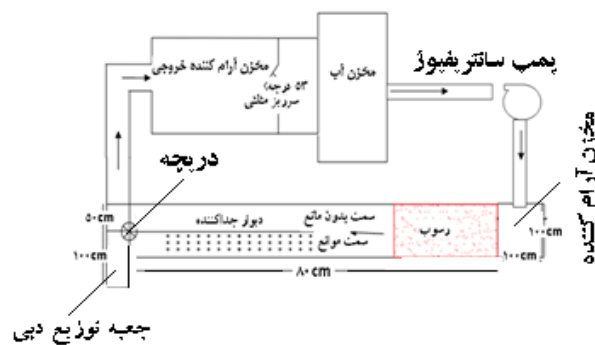
در میان مطالعات صورت گرفته، تأثیر امواج عمود بر جریان ناشی از موانع بر رسوبات معلق تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته است، با توجه به اینکه مساله فرسایش، آبستگي و انتقال رسوبات در مجاری روباز همواره از مسایل مورد توجه بوده است، لذا ضرورت دارد تأثیر این امواج بر انتقال رسوبات معلق مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۸ متر، عرض ۱۰۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر و شیب صفر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است. موانع مورد استفاده در مسیر جریان، استوانه‌های چوبی به قطر ۱۲ میلی‌متر و دبی جریان در طول آزمایش‌ها ثابت و برابر ۲۵ لیتر بر ثانیه بوده است. جریان آب خروجی از فلوم پس از تخلیه در حوضچه‌ی کوچک موجود در پایین‌دست فلوم، به حوضچه‌ی بزرگتری که در انتهای آن سرریز مثلی ۵۳/۸ درجه جهت تنظیم دبی عبوری ساخته شده است، هدایت گردیده و با قرائت ارتفاع آب روی سرریز و با استفاده از رابطه‌ی دبی اشل مربوط به سرریز مثلی موجود، دبی مورد نظر تنظیم شده است. به منظور استهلاک انرژی جریان ورودی، یک آرام‌کننده در ابتدای فلوم و جهت کنترل عمق و سرعت جریان از یک دریچه کشویی در انتهای فلوم استفاده شده است. در هر آزمایش ارتفاع دریچه کشویی از یک مقدار حداکثر (متناسب با عمق جریانی که امواج عمود بر جریان شکل می‌گیرند) تا ارتفاع صفر با گام‌های ۵ میلی‌متر تغییر کرده است.

برای انجام این تحقیق از فاصله‌ی ۴ متری از انتهای فلوم، عرض فلوم توسط یک دیوار جداکننده به طول ۴ متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر به دو قسمت مساوی تقسیم شده است به طوری که بخشی از جریان آب ورودی از سمت راست دیواره و بقیه آن از سمت دیگر عبور می‌کند. برای اندازه‌گیری دبی عبوری از هر طرف دیواره، بر روی حوضچه‌ی کوچک انتهای فلوم یک جعبه توزیع دبی به عرض ۵۰ سانتی‌متر، طول ۱ متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر ساخته شده است. جعبه به گونه‌ای قرار داده شده است که جریان آب عبوری از سمت موانع

پس از سرریز شدن از دریچه کشویی انتهای فلوم، وارد جعبه شده درحالی‌که جریان آب عبوری از قسمت بدون مانع پس از سرریز شدن از روی دریچه، به طور مستقیم وارد حوضچه کوچک مذکور شده و به سمت حوضچه‌ی سرریز مثلی هدایت شود و در آن تخلیه شود. جهت هدایت جریان آب خروجی از بازه موانع به محیطی خارج از حوضچه‌ی سرریز مثلی، یک حفره به قطر ۸ اینچ که در امتداد آن لوله‌ای با همان قطر تعبیه شده است، در نظر گرفته شده است. در شکل ۲، نمای شماتیک از بخش‌های مختلف فلوم و تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در آزمایش‌ها انجام‌شده در تحقیق حاضر نشان داده شده است. برای تنظیم دبی کل ورودی می‌بایست کل جریان خروجی از فلوم به سمت حوضچه‌ی سرریز مثلی هدایت شود، لذا می‌بایست جریان ورودی به جعبه، از حفره خارج نشود. بدین منظور یک شیر کشویی ۸ اینچی جهت باز و بسته کردن حفره خروجی جعبه قرار داده شده است. به این ترتیب هنگامی که شیر بسته هست کل جریان خروجی از فلوم به حوضچه حاوی سرریز مثلی هدایت و هنگامی که شیر باز هست فقط جریان خروجی از بازه بدون موانع به سمت حوضچه هدایت خواهد شد. در شکل ۳، عملکرد جعبه‌ی توزیع دبی هنگامی که شیر باز و بسته است نشان داده شده است.



شکل ۲- نمای شماتیک از فلوم و تجهیزات آزمایشگاهی

به منظور تثبیت موانع استوانه‌ای در مسیر جریان، از صفحات پلکسی گلاس به ضخامت ۱۰ میلی‌متر استفاده شده است. به این ترتیب که تمام سطح این صفحات با فواصل طولی و عرضی ۳۰ میلی‌متر، شبکه بندی و سپس رزوه شده است تا بتوان موانع استوانه‌ای را روی آن‌ها پیچ نمود. سپس این صفحات در کف فلوم آزمایشگاهی قرار گرفته‌اند و بر روی این صفحات، موانع استوانه‌ای چوبی به ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و قطر ۱۲ میلی‌متر با استفاده از پیچ‌هایی که در انتهای آن‌ها قرار دارند، در امتداد یک سمت دیوار جداکننده با فواصل طولی (P) و عرضی (T) ثابت و برابر با ۶۰ میلی‌متر در دو آرایش ردیفی و زیگزگی پیچ شده‌اند. آرایش زیگزگی موانع و فواصل طولی و عرضی

هر یک از آزمایش‌ها این تحقیق در طی دو مرحله صورت گرفته است، در مرحله اول پس از ایجاد آرایش مورد نظر موانع و تنظیم دبی، با تغییر ارتفاع دریچه کشویی (گام ۵ میلی‌متر در هر مرحله) و تغییر شرایط هیدرولیکی جریان، مشخصات هیدرولیکی جریان در شرایطی که موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه تشکیل می‌شود تعیین و ثبت شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۵- نمونه‌ای از نحوه قرارگیری موانع در فلوم

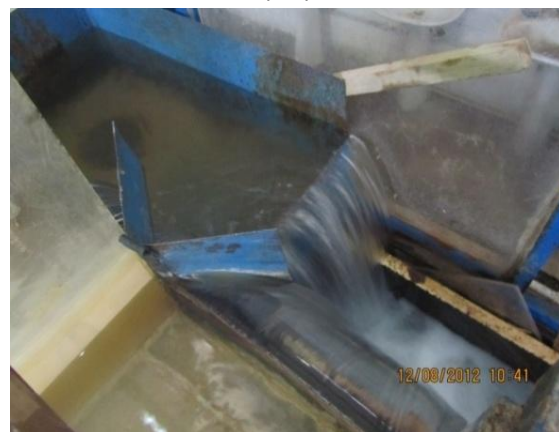
در این شرایط دامنه امواج (به صورت حداکثر و حداقل عمق جریان روی دیواره فلوم) و عمق جریان توسط خط‌کش‌هایی که در ۳ مقطع متفاوت با فواصل یکسان از یکدیگر در طول ناحیه مانع‌گذاری شده قرار داده شده‌اند، اندازه‌گیری شده است. سپس متوسط دامنه‌های قرائت شده در مقطع دوم و سوم که تشدید به صورت کامل رخ داده است به عنوان متوسط دامنه‌ی موج تشکیل‌شده و متوسط اعماق قرائت شده در سه مقطع به عنوان متوسط عمق جریان ارائه شده است و نوع موج مشاهده شده نیز ثبت شده است. پس از مشخص شدن حداکثر دامنه برای هر نوع موج عمود بر جریان تشکیل شده در فلوم در دبی مورد نظر، ارتفاع آب روی راس سرریز مثلثی قرائت شده است. به این ترتیب با استفاده از رابطه دبی اشل، دبی عبوری از قسمت بدون موانع محاسبه شده است و سپس اختلاف دبی کل ورودی و دبی عبوری از قسمت بدون موانع، دبی عبوری از قسمت

آن‌ها در شکل ۴ و نمونه‌ای از قرارگیری موانع در فلوم آزمایشگاهی در شکل ۵ نشان داده شده است.

از ابتدای مخزن آرام‌کننده تا فاصله یک متری از ابتدای دیوار جداکننده کف فلوم توسط ذرات سیلیس ریز (دانسیته ۲/۶۵) با قطر متوسط ۰/۱۲ میلی‌متر به ضخامت ۳۰ میلی‌متر پوشانده شده است.

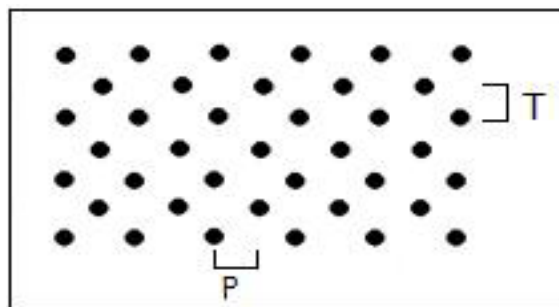


(الف)



(ب)

شکل ۳- جعبه توزیع دبی (الف) شیر باز (ب) شیر بسته



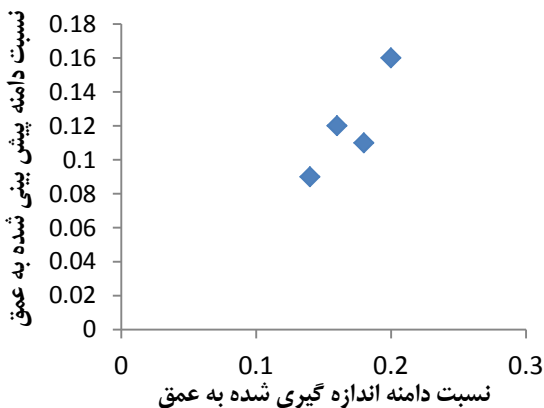
شکل ۴- آرایش زیگزاگی موانع

سمت دیواره جداکننده و در ستون ۱۱، عدد استروهمال که بر اساس رابطه ۱، محاسبه شده است، ارائه شده است.

$$S = \frac{f_s D}{U} \quad (1)$$

در رابطه فوق U سرعت جریان هست.

جهت مقایسه دامنه‌ی محاسبه شده بی بعد امواج نسبت به عمق جریان با روابط تجربی ارائه شده توسط محققین دیگر، مقادیر ذکر شده در جدول ۱ و نتایج حاصل از رابطه جعفری و همکاران (۱۳۸۹) که جهت محاسبه دامنه نسبی ماکزیمم امواج عمود بر جریان ناشی از ورتکس مجموعه‌ای از موانع استوانه‌ای در کانال‌های روباز ارائه شده است (رابطه ۲)، در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- مقایسه A/h اندازه‌گیری شده با A/h پیش‌بینی شده

$$\frac{A}{h} = K \frac{\left(\frac{D}{T}\right)^{1.4} \left(\frac{D}{P}\right)^{0.4}}{N^{1.2} S^{1.7}} n^{0.4} \quad (2)$$

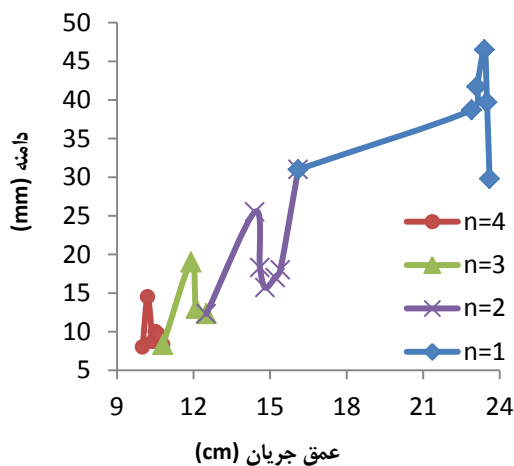
در رابطه فوق k مقدار ثابت و حدود 0.8 و S عدد استروهمال هست. همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود مقادیر A/h اندازه‌گیری شده با مقادیر A/h پیش‌بینی شده نزدیک هستند.

موانع را مشخص کرده است. در جدول ۱ مشخصات کلی آزمایش صورت گرفته در تحقیق حاضر و همچنین مشخصات هیدرولیکی جریان در شرایط تشکیل موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه ارائه شده است. در ستون ۱ از جدول ۱، شماره‌ی آزمایش مشخص شده است. در ستون ۲، فاصله بین استوانه‌های متوالی در هر ردیف، در ستون ۳، فاصله بین ردیف‌های موانع، در ستون ۴، دبی جریان، در ستون ۵، تراکم موانع (میانگین مجموع موانع در دو ردیف متوالی)، در ستون ۶، تعداد ردیف‌های موانع، در ستون ۷، آرایش موانع، در ستون ۸، نوع موج عمود بر جریان، در ستون ۹، عمق جریان در بالادست فلوم، در ستون‌های ۱۰ و ۱۱، دامنه موج تشکیل شده در ناحیه مانع‌گذاری شده و در ستون ۱۲، متوسط دامنه موج نشان داده شده است. در ستون ۱۳، دامنه‌ی بی بعد امواج نسبت به عمق جریان ارائه شده است. همچنین در ستون‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب متوسط عمق جریان در ناحیه موانع (از میانگین عمق‌های قرائت شده در ۳ مقطع ناحیه مانع‌گذاری شده مشخص شده است) و متوسط عمق جریان در ناحیه بدون موانع نشان داده شده است. در ستون ۱۶ فرکانس اندازه‌گیری شده موج (f_s) (که از تقسیم تعداد نوسان‌های موج بر زمان این نوسان‌ها به دست آمده است) بر حسب هرترز ارائه شده است.

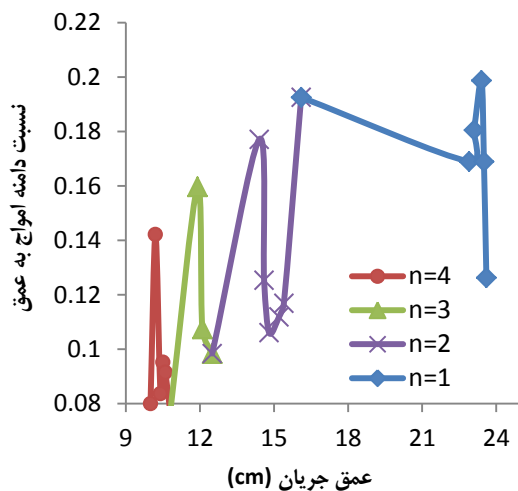
در جدول ۲، مقادیر دبی و سرعت جریان عبوری از دو سمت دیواره جداکننده در آزمایش انجام گرفته و همچنین عدد بدون بعد استروهمال ارائه شده است. در ستون‌های ۲ و ۳، نسبت‌های بدون بعد T/D و P/D مشخص شده است که D قطر موانع استوانه‌ای هست. در ستون‌های ۶ و ۷ به ترتیب دبی عبوری از ناحیه موانع و بدون موانع که توسط جعبه توزیع اندازه‌گیری شده است، مشخص شده است. در ستون‌های ۸ و ۹ به ترتیب سرعت جریان عبوری از ناحیه موانع و بدون موانع و در ستون ۱۰، اختلاف سرعت جریان عبوری از دو

جدول ۱- مشخصات کلی آزمایش انجام گرفته و مشخصات هیدرولیکی جریان در شرایط تشکیل موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه

۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	شماره آزمایش
f_s HZ	h_{av2} cm	h_{av1} cm	A/h	A_{av} mm	A_2 mm	A_1 mm	h_u cm	n	آرایش موانع	L	N	Q L/s	P mm	T mm		
...	۳۳/۵	۳۲/۹	...	...	...	...	۳۳/۸	...	زیگزاگی	۳۹	۶.۵	۲۵	۶۰	۶۰	۱
۱/۱۷۷	۲۳	۲۲/۴	-۰/۲۰	۴۶/۵	۵۰	۴۳	۲۳/۴	۱	زیگزاگی	۳۹	۶.۵	۲۵	۶۰	۶۰	۱	
۱/۷۰۱	۱۴	۱۳	-۰/۱۸	۲۵/۵	۲۸	۲۳	۱۴/۴	۲	زیگزاگی	۳۹	۶.۵	۲۵	۶۰	۶۰	۱	
۲/۱۲۵	۱۱/۱	۹/۵	-۰/۱۶	۱۹	۱۷	۲۱	۱۱/۹	۳	زیگزاگی	۳۹	۶.۵	۲۵	۶۰	۶۰	۱	
۲/۴۵	۹/۳	۷/۸	-۰/۱۴	۱۴/۵	۱۷	۱۲	۱۰/۲	۴	زیگزاگی	۳۹	۶.۵	۲۵	۶۰	۶۰	۱	



شکل ۸- تغییرات دامنه امواج در مقابل تغییرات عمق جریان



شکل ۹- تغییرات دامنه بی بعد امواج در مقابل عمق جریان

مطابق شکل ۸، حداکثر دامنه موج نوع ۱، $46/5$ میلی‌متر در عمق جریان $23/4$ سانتی‌متر، حداکثر دامنه موج نوع ۲، $25/5$ میلی‌متر در عمق جریان $14/4$ سانتی‌متر، حداکثر دامنه موج نوع ۳، 19 میلی‌متر در عمق جریان $11/9$ سانتی‌متر و حداکثر دامنه موج نوع ۴، $14/5$ میلی‌متر در عمق جریان $10/2$ سانتی‌متر اتفاق افتاده است و شکل ۹ نشان می‌دهد که حداکثر دامنه مشاهده شده، برای موج نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر 20 ، 18 ، 16 و 14 درصد عمق متوسط جریان می‌باشد.

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود از بازه بدون موانع دبی بیشتری نسبت به بازه‌ای که موانع نصب شده‌اند عبور کرده است دلیل این امر را می‌توان چنین بیان کرد که خطوط جریان بیشتر تمایل

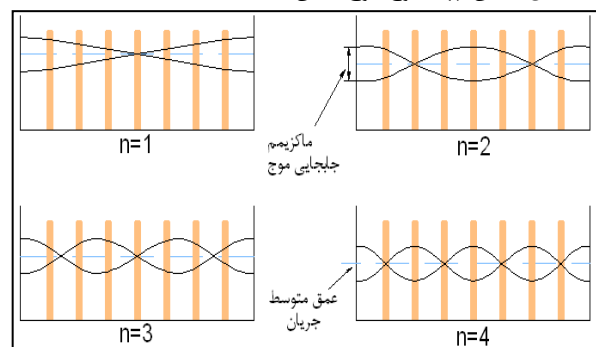
بر اساس جدول ۱، در آزمایش انجام شده در تحقیق حاضر، چهار نوع موج عمود بر جریان در فلوم تشکیل شده است. این موج با حرف n و شماره‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ شماره‌گذاری می‌شوند. این امواج با حداکثر دامنه زمانی شکل می‌گیرند که بسامد نیروی ناشی از ورتکس موانع با یکی از بسامدهای طبیعی نوسان آب در حالت دو سر باز برابر شود و تشدید صورت پذیرد. در این حالت تعداد صحیح از گره‌ها در عرض فلوم جا می‌گیرند که تعداد آن‌ها نوع موج هست به عنوان مثال در موج نوع ۲، دو گره در عرض فلوم جا دارد.

عدد موج نسبتی است که تعداد نقاط پیک در واحد طول را بیان می‌کند (عطایی آشتیانی و بهشتی، (۱۳۸۶)).

رابطه‌ی بین عرض فلوم (b) با طول موج تولید شده (λ) و عدد موج (n) در رابطه ۳ آورده شده است.

$$\frac{n\lambda}{2} = b \quad (3)$$

در شکل ۷ این چهار نوع موج نشان داده شده‌اند.



شکل ۷- انواع امواج عمود بر جریان مشاهده شده در فلوم

به طور کلی با کاهش تدریجی عمق جریان (با کاهش ارتفاع دریچه کشویی) موج $n=1$ با دامنه کم شروع به نوسان می‌کند، با کاهش بیشتر عمق جریان دامنه موج $n=1$ بیشتر می‌شود تا اینکه به یک مقدار حداکثر در حالت تشدید، می‌رسد. با کاهش مجدد عمق جریان، دامنه موج به تدریج کاهش می‌یابد تا اینکه موج $n=1$ به طور کامل محو می‌شود. با کاهش بیشتر عمق جریان به تدریج موج $n=2$ تشکیل می‌شود، این موج هم پس از رسیدن به یک دامنه نوسان حداکثر، با کاهش بیشتر عمق جریان، محو می‌شود. موج‌های $n=3$ و $n=4$ نیز در صورت وجود، با همین روند شکل می‌گیرند. برای نشان دادن شرایط هیدرولیکی جریان در حالت حداکثر دامنه، نمودار تغییرات دامنه موج در مقابل عمق جریان و همچنین نمودار دامنه‌ی بی بعد امواج نسبت به تغییرات عمق جریان برای آزمایش انجام شده در این تحقیق به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ رسم شده است.

دارند از بازه‌ای عبور کنند که موانعی در مقابل آن‌ها قرار نگرفته باشد. همچنین مشاهده می‌شود برای یک دبی ورودی ثابت با افزایش شماره موج، میزان دبی عبوری از بازه بدون موانع افزایش یافته است زیرا با افزایش شماره موج، عمق جریان کاهش یافته و در نتیجه سرعت جریان بنا بر قانون پیوستگی افزایش می‌یابد و در نتیجه، انحراف خطوط جریان به بازه بدون موانع افزایش یافته است.

پس از ثبت مشخصات هیدرولیکی جریان در شرایطی که موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه تشکیل می‌شود، در این مرحله غلظت رسوبات معلق در سه عمق ۰/۲h، ۰/۶h و ۰/۸h در ۳ مقطع در بالادست بازه موانع و متقابلاً در بالادست بازه بدون موانع و همچنین در ۱ مقطع در پایین دست بازه موانع و متقابلاً بدون موانع، اندازه‌گیری شده است. در شکل ۱۰، مقاطع مورد استفاده در فلوم آزمایشگاهی جهت اندازه‌گیری غلظت رسوبات معلق در آزمایش انجام شده در این تحقیق نشان داده شده است.

در مرحله دوم آزمایش، ارتفاع درپچه کشویی تا جایی بالا آورده شده است که موج عمود بر جریان موجود کاملاً حذف شود. در این مرحله غلظت رسوبات معلق مشابه مرحله قبل اندازه‌گیری شده است. در تحقیق حاضر برای اندازه‌گیری غلظت رسوبات معلق از دستگاه کدورت سنج که مقادیر کدورت جریان را بر حسب واحد NTU اندازه‌گیری می‌کند استفاده شده است و بر اساس منحنی کالیبراسیون دستگاه (شکل ۱۱) می‌توان مقادیر کدورت را به غلظت بر حسب واحد گرم بر لیتر تبدیل کرد. در جدول ۳، مقادیر کدورت جریان و غلظت رسوبات معلق اندازه‌گیری شده در مقاطع ذکر شده در شرایط عدم وجود موج و همچنین تشکیل موج با حداکثر دامنه ارائه شده است.

۳- بحث و نتایج

جدول ۳، نشان می‌دهد که در مرحله‌ی اول آزمایش یعنی در حالتی

که موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه در فلوم آزمایشگاهی تشکیل شده است، غلظت رسوبات معلق در انتهای دیوار جداکننده در بازه موانع کمتر از بازه بدون موانع شده است و در مرحله‌ی دوم آزمایش یعنی در حالتی که موج عمود بر جریان در فلوم کاملاً از بین رفته است، عکس این حقیقت اتفاق افتاده است و غلظت رسوبات معلق در انتهای بازه موانع بیشتر از انتهای بازه بدون موانع هست. علت این امر این است که در بازه بدون موانع سرعت جریان بیشتر از بازه موانع هست و چون چگالی آب از چگالی ذرات رسوب کمتر هست لذا خطوط جریان بیشتر از رسوبات به سمت بازه بدون موانع منحرف می‌شوند و رسوبات بیشتری به بازه موانع هدایت می‌شود بنابراین در شرایطی که در فلوم موج عمود بر جریان وجود نداشته باشد، غلظت رسوبات معلق در بازه موانع بیشتر از بازه بدون موانع خواهد بود درحالی‌که در شرایط حضور امواج عمود بر جریان در فلوم رسوبات موجود در بازه موانع به پایین دست منتقل نشده و در اثر موج به بالادست این بازه انتقال داده می‌شود و در آنجا ته نشین شده و یا به بازه بدون موانع منتقل خواهد شد. به منظور بررسی و مقایسه تأثیر انواع موج عمود بر جریان بر غلظت رسوبات معلق پایین دست موانع، نمودار تغییرات درصد کاهش غلظت رسوبات معلق در پایین دست بازه موانع نسبت به پایین دست بازه بدون موانع در شرایط وجود موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه برای آزمایش انجام گرفته در تحقیق حاضر در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

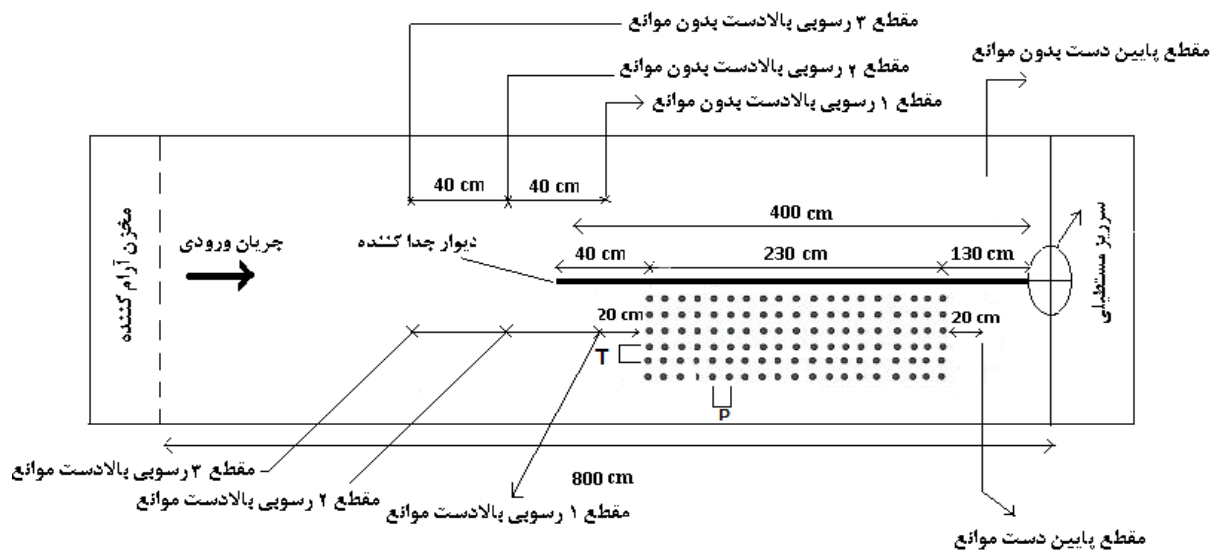
همان‌گونه که در نمودار شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، هر چه شماره موج افزایش یابد اختلاف غلظت رسوبات معلق انتهای دو سمت دیوار جداکننده کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که اختلاف غلظت رسوبات معلق انتهای دو سمت دیوار جداکننده برای موج نوع ۱، ۲/۴ درصد، برای موج نوع ۲، ۱/۶ درصد، برای موج نوع ۳، ۱ درصد و برای موج نوع ۴، ۰/۷ درصد بوده است. به منظور بررسی و مقایسه تأثیر دامنه امواج عمود بر جریان بر غلظت رسوبات معلق پایین دست بازه موانع، نمودار تغییرات درصد کاهش غلظت رسوبات

جدول ۲- مقادیر دبی و سرعت جریان عبوری از دو سمت دیواره جداکننده در آزمایش انجام گرفته

شماره آزمایش	T/D	P/D	Q	n	Q ₁	Q ₂	V ₁	V ₂	ΔV	S
۱	۵	۵	۲۵	...	۷/۲۷	۱۷/۷۳	۰/۰۴۴	۰/۱۰۶	۰/۰۶۲	...
۱	۵	۵	۲۵	۱	۷/۰۸	۱۷/۹۲	۰/۰۶۳	۰/۱۵۶	۰/۰۹۳	۰/۲۳۵
۱	۵	۵	۲۵	۲	۶/۸۶	۱۸/۱۴	۰/۱۰۵	۰/۲۵۹	۰/۱۵۴	۰/۱۸۶
۱	۵	۵	۲۵	۳	۶/۲۹	۱۸/۷۱	۰/۱۳۲	۰/۳۳۷	۰/۲۰۵	۰/۱۹۶
۱	۵	۵	۲۵	۴	۵/۴۸	۱۹/۵۲	۰/۱۴۰	۰/۴۲۰	۰/۲۸	۰/۳۲۷

جدول ۳- مقادیر کدورت جریان و غلظت رسوبات معلق اندازه‌گیری شده در مقاطع مورد نظر برای آزمایش

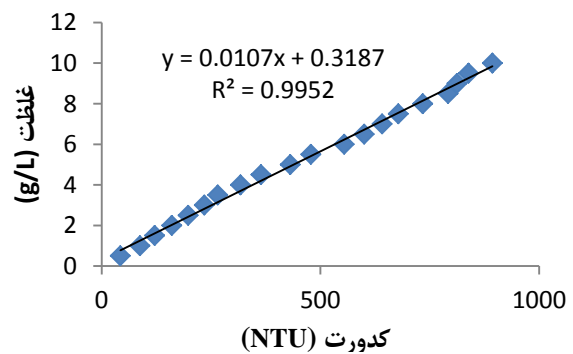
Q (L/s)	D (mm)	T	P	آرایش موانع	H (mm)	A (mm)	n	Points	کدورت در ۰.۲h (NTU)	کدورت در ۰.۶h (NTU)	کدورت در ۰.۸h (NTU)	متوسط کدورت (NTU)	متوسط غلظت (g/L)
۲۵	۱۲	۶۰	۶۰	زیگزاگی	۳۳۸	...	...	۱ رسوبی بالادست موانع	۳۲/۱۵	۲۹/۱۵	۲۸/۳۸	۲۹/۸۹	۰/۶۳۸۵
								۲ رسوبی بالادست موانع	۲۹	۲۷/۷	۲۵	۲۷/۲۳	۰/۶۱۰۱
								۳ رسوبی بالادست موانع	۲۸/۵۵	۲۷/۴	۲۶/۳۵	۲۷/۴۳	۰/۶۱۲۲
								۱ رسوبی بالادست بدون موانع	۳۳/۸۵	۲۷/۸۵	۲۷/۷۲	۲۹/۸	۰/۶۳۷۶
								۲ رسوبی بالادست بدون موانع	۳۵/۱	۲۷/۲	۲۵/۴۵	۲۹/۲۵	۰/۶۳۱۷
								۳ رسوبی بالادست بدون موانع	۳۲/۱	۲۷/۸	۲۶/۵۵	۲۸/۸۲	۰/۶۲۷۱
								پایین دست موانع	۳۱/۱۵	۲۶/۱۵	۲۴/۶۵	۲۷/۳۲	۰/۶۱۱
								پایین دست بدون موانع	۳۰/۷۵	۲۵/۹۵	۲۵/۲	۲۷/۳	۰/۶۱۰۸
۲۵	۱۲	۶۰	۶۰	زیگزاگی	۲۳۴	۴۶/۵	۱	۱ رسوبی بالادست موانع	۳۱/۸۵	۲۸	۲۶/۳	۲۸/۷۲	۰/۶۲۶۰
								۲ رسوبی بالادست موانع	۲۶/۸۵	۲۴/۹۵	۲۴/۵	۲۵/۴۳	۰/۵۹۰۸
								۳ رسوبی بالادست موانع	۲۹/۵	۲۶/۱۵	۲۴/۴۵	۲۶/۷	۰/۶۰۴۴
								۱ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۵/۴۳	۲۴/۳	۲۵/۰۲	۲۴/۹۱	۰/۵۸۵۲
								۲ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۶/۶۵	۲۵/۶۵	۲۳/۴	۲۵/۲۳	۰/۵۸۸۷
								۳ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۷/۱۵	۲۶/۴	۲۳/۹۵	۲۵/۸۳	۰/۵۹۵۱
								پایین دست موانع	۲۳/۶۷	۲۲/۲۵	۲۱/۸	۲۲/۵۷	۰/۵۶۰۲
								پایین دست بدون موانع	۲۴/۷۲	۲۳/۵	۲۳/۴۵	۲۳/۸۹	۰/۵۷۴۳
۲۵	۱۲	۶۰	۶۰	زیگزاگی	۱۴۴	۲۵/۵	۲	۱ رسوبی بالادست موانع	۲۹/۲	۲۷	۲۴/۱۵	۲۶/۷۸	۰/۶۰۵۳
								۲ رسوبی بالادست موانع	۲۵/۹	۲۲/۹	۲۳/۴	۲۴/۰۷	۰/۵۷۶۲
								۳ رسوبی بالادست موانع	۲۶	۲۲/۸۵	۲۲/۶۵	۲۳/۸۳	۰/۵۷۳۷
								۱ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۵	۲۳/۴۵	۲۲/۸۲	۲۳/۷۶	۰/۵۷۲۹
								۲ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۳/۱۵	۲۲/۹	۲۲/۳۵	۲۲/۸	۰/۵۶۲۷
								۳ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۴	۲۳/۰۵	۲۲/۵۵	۲۳/۲	۰/۵۶۶۹
								پایین دست موانع	۲۲/۸۵	۲۱/۹۵	۲۱/۷	۲۲/۱۷	۰/۵۵۵۹
								پایین دست بدون موانع	۲۳/۶	۲۳/۰۷	۲۲/۳۲	۲۳	۰/۵۶۴۸
۲۵	۱۲	۶۰	۶۰	زیگزاگی	۱۱۹	۱۹	۳	۱ رسوبی بالادست موانع	۳۰	۲۷/۲۵	۲۴/۳۵	۲۷/۲	۰/۶۰۹۷
								۲ رسوبی بالادست موانع	۳۱/۶	۲۳/۶	۲۳	۲۶/۰۷	۰/۵۹۷۶
								۳ رسوبی بالادست موانع	۲۸/۱	۲۳/۳	۲۲/۵	۲۴/۶۳	۰/۵۸۲۲
								۱ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۶/۹	۲۲/۷	۲۲/۴	۲۴	۰/۵۷۵۵
								۲ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۵/۹	۲۳/۱	۲۲/۳۵	۲۳/۷۸	۰/۵۷۳۱
								۳ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۷/۹	۲۴/۹۵	۲۴/۵	۲۵/۷۸	۰/۵۹۴۵
								پایین دست موانع	۲۴/۴۵	۲۲/۰۵	۲۱/۶	۲۲/۷	۰/۵۶۱۶
								پایین دست بدون موانع	۲۵/۷۵	۲۲/۶	۲۴/۷۵	۲۳/۲۳	۰/۵۶۷۳
۲۵	۱۲	۶۰	۶۰	زیگزاگی	۱۰۲	۱۴/۵	۴	۱ رسوبی بالادست موانع	۳۰/۷	۲۷/۴۳	۲۴/۵۱	۲۷/۵۵	۰/۶۱۳۴
								۲ رسوبی بالادست موانع	۲۹/۱۵	۲۵/۴۵	۲۴/۴۵	۲۶/۳۵	۰/۶۰۰۶
								۳ رسوبی بالادست موانع	۲۷/۳	۲۳/۸۵	۲۳/۴	۲۴/۸۵	۰/۵۸۴۶
								۱ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۶/۷	۲۳/۳۵	۲۳/۸	۲۴/۶۲	۰/۵۸۲۱
								۲ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۶/۹	۲۳/۱۵	۲۳/۲	۲۴/۴۲	۰/۵۸
								۳ رسوبی بالادست بدون موانع	۲۹/۶	۲۵/۸	۲۳/۸	۲۶/۴	۰/۶۰۱۲
								پایین دست موانع	۲۴/۹	۲۲/۷	۲۲/۳	۲۳/۳	۰/۵۶۸۰
								پایین دست بدون موانع	۲۵/۶	۲۲/۷۷	۲۲/۶۵	۲۳/۶۷	۰/۵۷۲۰



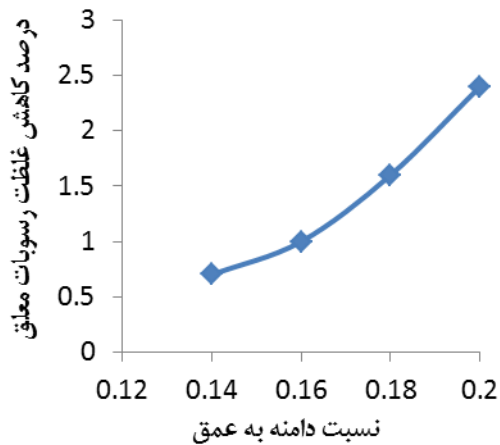
شکل ۱۰- نمایی شماتیک از محل قرارگیری دیوار جداکننده و مقاطع اندازه‌گیری غلظت

بعد موج در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

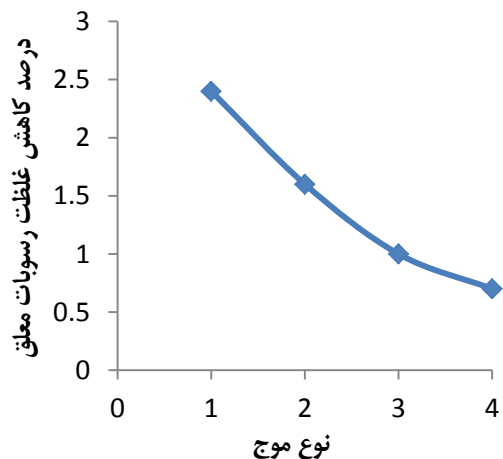
همان طور که نمودار شکل ۱۳ نشان می‌دهد، با افزایش دامنه موج، توانایی موج در کاهش رسوبات معلق پایین دست موانع نسبت به بازه بدون موانع افزایش می‌یابد و تأثیر موج نوع ۱ در کاهش غلظت رسوبات معلق بیشتر از موج نوع ۲، ۳ و ۴ هست، دلیل این امر را می‌توان چنین بیان نمود که با توجه به اینکه امواج بر اساس نسبت عمق جریان به طول موج به ۳ دسته امواج آب عمیق ($h/\lambda > 0.5$)، کم عمق ($0.1 < h/\lambda < 0.5$) و بینابین ($0.05 < h/\lambda < 0.1$) طبقه‌بندی می‌شوند و همان طور که در شکل ۱۴ نشان داده شده است در امواج آب عمیق فقط لایه سطحی جریان آب بر اثر حرکت



شکل ۱۱- منحنی کالیبراسیون دستگاه کدورت سنج



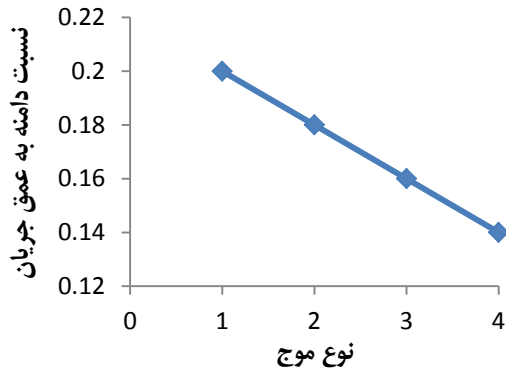
شکل ۱۳- تغییرات درصد کاهش غلظت رسوبات در پایین دست موانع در مقابل دامنه بی بعد موج



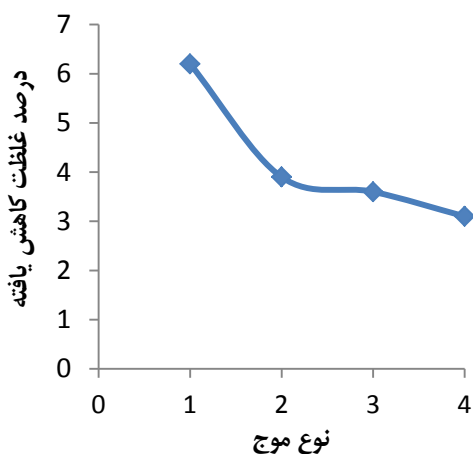
شکل ۱۲- تغییرات درصد کاهش غلظت رسوبات معلق در پایین دست بازه موانع نسبت به بدون موانع در اثر موج

در پایین دست موانع نسبت به پایین دست بازه بدون موانع در شرایط وجود موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه در مقابل تغییرات دامنه بی

به منظور بررسی این پدیده، نمودار تغییرات درصد کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه موانع در شرایط وجود موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه نسبت به شرایط عدم وجود موج در فلوم در شکل ۱۶ نشان داده شده است.



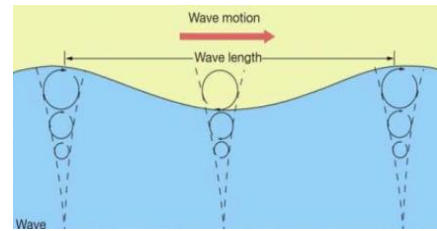
شکل ۱۵- تغییرات نسبت عمق جریان به طول موج در مقابل تغییرات نسبت دامنه به عمق جریان



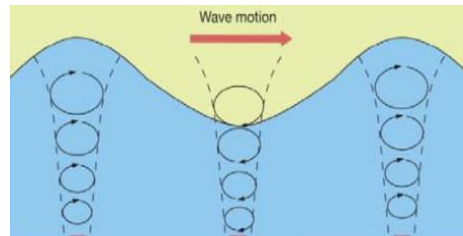
شکل ۱۶- تغییرات درصد کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به پایین دست موانع تحت اثر امواج

همان گونه که در شکل ۱۶ مشاهده می شود، هر چه شماره موج عمود بر جریان افزایش یابد درصد کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه موانع نسبت به شرایط عدم وجود موج کاهش یافته است. به گونه ای که برای امواج نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بازه مذکور نسبت به شرایطی که موج عمود بر جریان در بازه وجود نداشته است، به ترتیب ۲/۶٪، ۳/۹٪، ۳/۶٪ و ۳/۱٪ کاهش یافته است.

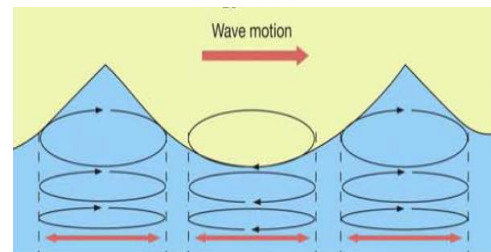
همچنین جهت بررسی میزان غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه بدون موانع در شرایط وجود موج



(الف)



(ب)



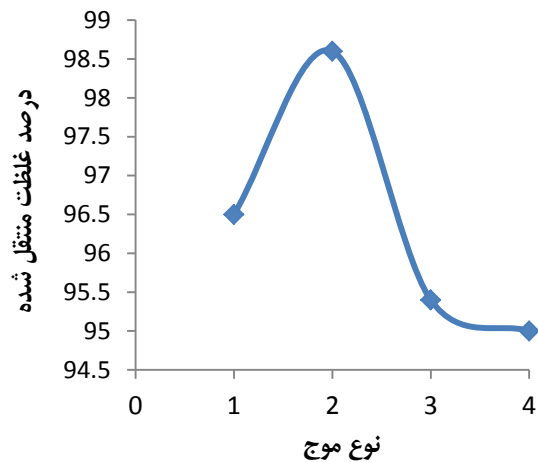
(ج)

شکل ۱۴- (الف) امواج عمیق، (ب) امواج بینابین، (ج) امواج کم عمق

موج متأثر می گردد، در صورتی که در امواج آب کم عمق، کل عمق جریان آب با حرکت موج تحت تأثیر قرار می گیرد (عطایی آشتیانی و بهشتی ۱۳۸۶)، بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق و محاسبه h/λ همان طور که شکل ۱۵ نیز نشان می دهد، مقادیر h/λ برای موج ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۰/۴۷، ۰/۵۸، ۰/۷۱ و ۰/۸۲ می باشد بنابراین موج نوع ۱ در دسته امواج بینابین و موج نوع ۲، ۳ و ۴ در دسته امواج عمیق قرار دارند، در نتیجه تأثیر موج نوع ۱ در عمق، بیشتر از سایر موج های عمود بر جریان است که این مسئله باعث می شود موج نوع ۱ سبب کاهش بیشتر غلظت رسوبات معلق در پایین دست موانع گردد.

همان گونه که نتایج نشان داده است غلظت رسوبات معلق در پایین دست بازه موانع نسبت به پایین دست بازه بدون موانع در شرایط تشکیل موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه، کاهش یافته است. لذا می توان نتیجه گرفت که در اثر تشکیل این امواج غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست بازه موانع به سمت پایین دست بازه مذکور کاهش یافته و ته نشین شدن ذرات در بالادست این بازه و یا انتقال رسوبات مذکور به بازه بدون موانع را به همراه خواهد داشت.

عمود بر جریان در فلوم نسبت به شرایطی که موج وجود ندارد، تغییرات درصد غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بازه مذکور برای امواج نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ در شکل ۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۷- تغییرات درصد غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به پایین دست بازه بدون موانع تحت اثر امواج عرضی

همان گونه که در شکل ۱۷ مشاهده می شود، غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه بدون موانع برای امواج نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب $96/5\%$ ، $98/6\%$ ، $95/4\%$ و 95% بوده است در حالی که بر اساس جدول ۳، غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه مذکور برای شرایطی که موج عرضی در فلوم تشکیل نشده است $95/8\%$ می باشد. لذا می توان نتیجه گرفت که تحت اثر موج نوع ۱ و ۲ به ترتیب حدود ۱ و ۳ درصد از رسوبات موجود در بازه موانع به بالادست بازه پس زده شده و سپس به بازه بدون موانع منتقل شده است اما تحت اثر موج نوع ۳ و ۴ رسوبات معلق موجود در بازه موانع به بالادست بازه پس زده شده و ته نشین شده اند.

۴- نتیجه گیری

هدف از انجام این تحقیق بررسی و مقایسه تأثیر امواج نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ بر غلظت رسوبات معلق بالادست و پایین دست موانع بوده است و همان گونه که نتایج این تحقیق در آزمایش انجام گرفته نشان می دهد، با ثابت نگه داشتن دبی، قطر و فاصله طولی و عرضی موانع و مقایسه تغییر غلظت رسوبات معلق در پایین دست بازه موانع نسبت به بازه بدون موانع برای مرحله اول و دوم آزمایش می توان نتیجه گرفت که امواج عمود بر جریان بر انتقال رسوبات معلق به سمت پایین دست موانع تأثیر دارد و با کاهش انتقال رسوبات معلق، باعث کاهش غلظت رسوبات معلق در پایین دست موانع می گردند.

بطوری که در حالت وجود موج عمود بر جریان، غلظت رسوبات معلق در انتهای بازه موانع کمتر از انتهای بازه بدون موانع است و در حالت عدم وجود موج عمود بر جریان عکس این قضیه اتفاق می افتد و غلظت رسوبات معلق در انتهای بازه موانع بیشتر از انتهای بازه بدون موانع می باشد و هر چه شماره موج افزایش یابد اختلاف غلظت رسوبات معلق انتهای دو سمت دیوار جدا کننده کاهش می یابد. اختلاف غلظت رسوبات معلق انتهای دو سمت دیوار جدا کننده برای موج نوع ۱، $2/4\%$ ، برای موج نوع ۲، $1/6\%$ ، برای موج نوع ۳، 1% و برای موج نوع ۴، $0/7\%$ بوده است. همچنین نتایج نشان داده است که با افزایش دامنه موج، توانایی موج در کاهش غلظت رسوبات معلق پایین دست موانع نسبت به بازه بدون موانع افزایش می یابد و تأثیر موج نوع ۱ در کاهش غلظت رسوبات معلق بیشتر از موج نوع ۲، ۳ و ۴ هست.

تفاوت مقادیر غلظت رسوبات معلق دو سمت دیوار جدا کننده تحت اثر این امواج، نشانه کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست بازه موانع به سمت پایین دست بازه مذکور و ته نشینی رسوبات معلق در بالادست این بازه و یا انتقال آن ها به بازه بدون موانع هست و هر چه شماره موج عمود بر جریان افزایش یابد درصد کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه موانع نسبت به شرایط عدم وجود موج کاهش یافته است. به گونه ای که برای امواج نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بازه مذکور نسبت به شرایطی که موج عمود بر جریان در بازه وجود نداشته است، به ترتیب $6/2\%$ ، $3/9\%$ ، $3/6\%$ و $3/1\%$ کاهش یافته است و رسوبات معلق در بالادست بازه موانع ته نشین شده اند و تحت اثر موج ۱ و ۲ به ترتیب ۱ و ۳ درصد از این رسوبات به بازه بدون موانع منتقل شده اند.

۵- مراجع

جعفری، ا، قمشی م، بینا م (۱۳۸۹) تأثیر تعداد ردیف موانع بر روی دامنه امواج عرضی ناشی از ورتکس موانع در جریان روباز. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، آبان ماه.

عزیزی ر، قمشی م (۱۳۸۹) رابطه فرکانس امواج عمود بر جریان در مجاری روباز با مشخصات جریان و موانع. تحقیقات منابع آب ایران، سال ۶ شماره ۲: ۵۷-۶۵.

عطایی آشتیانی ب، بهشتی ع (۱۳۸۶) مکانیک امواج آب (ترجمه). جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

- Jafari A, Ghomeshi M, and Kashefipour SM (2010) Comparing of ten modes of oscillation occurring across the open channels. IAHR-APD Congress, 21-24 February, the School of Engineering, The University of Auckland, New Zealand.
- Multu Sumer B, Fredsoe J and Christiansen N (1992) Scour around vertical pile in waves. *Journal of Waterway* 118(1): 15-31.
- Schuster JC (1967) Canal capacity studies, Wave formation by bridge piers. *Hydraulics Branch Rep, HYD-485, U.S. Bureau of Reclamation.*
- Ziada S (2006) Vortices shedding and acoustic resonance in tube bundles. *Journal of the Braz. Soc. of Mec& Eng.* 28(2).
- Zima L and Ackermann SN (2002) Wave generation in open channels by vortex shedding from channel obstruction. *J Hydraulic Engineering, ASCE* 128(6): 596-603.
- Zukauskas A, Ulinskas R and Katinas V (1988) Flow dynamics and flow-induced vibrations of tube banks. *Experimental and Applied Heat Transfer Guide Books.*
- قمشی ع (۱۳۸۸) امواج عمود بر جریان ناشی از ورتکس موانع در مجاری روباز و تأثیر آن بر شکل بستر. مجموعه مقالات هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز، بهمن‌ماه.
- Blevins RD (1977) *Flow-induced Vibration VNR.* London, England.
- Crassé D (1939) About oscillation phenomenon on water surface part 1: Flow around obstacle from piles of bridge, 209p.
- Falvey HT (1980) *Practical Experiences with Flow Induced Vibrations.* E. Naudascher and Rockwell, eds., Springer, New.
- Fitz-hugh JS (1973) Flow induced vibration in heat exchangers. In: *proc. UKAEA/NPL International Symposium on vibration problems in industry, Keswick, England, paper 427, 1-17.*
- Ghomeshi M, Mortazavi-Dorcheh SA and Falconer R (2007) Wave formation by vortex shedding in open channel. *Cardiff University, Cardiff, UK.*
- Hamakawa H, Fukano T, Nishida E and Ishida H (2006) Effect of Flow Induced Acoustic Resonance on Vortex Shedding from Staggered Tube Bank. *International Journal Series B, 49(1).*