

# بررسی تأثیر فاصله‌ی عرضی موانع در شرایط وجود موج عمود بر جریان ناشی از گردابه بر انتقال رسوبات معلق

ندا پوستی زاده<sup>۱\*</sup> و مهدی قمشی<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> - نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران nedapzh@gmail.com

<sup>۲</sup> - استاد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۵

## چکیده

در تحقیق حاضر تأثیر فاصله‌ی عرضی موانع در آرایش موازی و زیگزایی بر انتقال رسوبات معلق در شرایط تشکیل موج‌های مختلف عمود بر جریان، در یک فلوم مستطیلی بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که در حالت عدم وجود موج عمود بر جریان، غلظت رسوبات معلق در انتهای بازه موانع بیشتر از انتهای بازه بدون موانع می‌باشد اما در حالت وجود موج عمود بر جریان عکس این قضیه اتفاق می‌افتد و در شرایط یکسان از دبی، قطر و فاصله‌ی طولی موانع، افزایش فاصله‌ی عرضی باعث افزایش اختلاف غلظت رسوبات معلق در پایین دست بازه موانع از بازه بدون موانع در شرایط وجود موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه نسبت به شرایطی که موجی در فلوم تشکیل نشده است، می‌شود اما این تغییرات در سطح پنج درصد بی معنی بوده است. حال آنکه در شرایط مذکور، افزایش فاصله عرضی در آرایش موازی به طور معنی دار باعث کاهش درصد غلظت رسوبات معلق منتقل شده در بازه موانع شده است اما در آرایش زیگزایی درصد کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده برای موج نوع یک و دو، کاهش یافته است ولیکن در سطح پنج درصد معنی دار نگردید. در بازه بدون موانع نیز با افزایش فاصله عرضی، در آرایش موازی و زیگزایی، درصد افزایش غلظت رسوبات معلق منتقل شده برای موج نوع یک نسبت به شرایط عدم وجود موج تغییری نداشته است. حال آنکه برای موج نوع دو در آرایش زیگزایی، غلظت رسوبات معلق منتقل شده افزایش یافته است اما در آرایش موازی، کاهش یافته است، لذا در این شرایط رسوبات معلق در بالادست بازه موانع ته- نشین شده‌اند.

کلید واژه‌ها: غلظت رسوبات معلق، فاصله‌ی عرضی موانع، موج عمود بر جریان، گردابه.

## Effect of Obstacles Transversal Distances on Suspended Sediment Transport in The Case of Transverse Wave Occur

N. Poustizadeh<sup>1\*</sup> and M. Ghomeshi<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> - Ph. D. Student of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University (SCU), Ahvaz, Iran  
[Nedapzh@gmail.com](mailto:Nedapzh@gmail.com)

<sup>2</sup> - Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University (SCU), Ahvaz, Iran

Received: 15 June 2013

Accepted: 22 October 2013

## Abstract

In present study the effect of obstacles transversal distances in a staggered and an in-line arrangement on suspended sediment load transport in a rectangular flume was investigated. The results show that in 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 and in the same condition of discharge, diameter and perpendicular distances, increasing of obstacles transversal distances causes to increase of this difference but with no significance at 5% level. Although, in mentioned condition, increasing of obstacles transversal distances caused to decrease the percentage of transported suspended sediment concentration in obstacles zone in an in-line arrangement and this decreases was significant at 5% level. But the percentage of decreased suspended sediment concentration was decreased with no significance at 5% level in a staggered arrangement for wave modes 1 and 2. By increasing of obstacles transversal distances, the percentage of increased suspended sediment concentration which transported in no obstacles zone for wave mode 1 was not

changed in both staggered and in-line arrangement. Although, the transportation of suspended sediment concentration was increased for wave mode 2 in a staggered arrangement but it was decreased in an in-line arrangement, so in this condition, suspended sediment was deposited at upstream of obstacles zone.

**Keywords:** Suspended sediment concentration, Obstacles transversal distance, Transverse wave, Vortex.

#### مقدمه

بلوین<sup>۱۳</sup> (۱۹۷۷) و زوکاسکاس و همکاران<sup>۱۴</sup> (۱۹۸۸) و ... صورت گرفته است. در مقابل این موضوع، تحقیقاتی که به تشکیل گرداب و پدیده‌های مرتبط با آن در محیط آب پرداخته باشد بسیار کم است. کراس<sup>۱۵</sup> (۱۹۳۹) یافته‌های خود را در مورد امواج تولید شده در کانال‌های باز منتشر کرده است که احتمالاً اولین تحقیق در زمینه‌ی این موضوع می‌باشد.

زیمما و اکرم<sup>۱۶</sup> (۲۰۰۲) تحقیقاتی را در دبی ثابت و موانع با قطرهای مختلف در آب انجام داده‌اند و امواج نوع یک و در برخی آزمایش‌ها، امواج نوع دو را مشاهده کرده‌اند و در نهایت فرمولی برای شبیه‌سازی مقادیر حداکثر دامنه‌ی امواج عرضی به صورت بی بعد ارائه کرده‌اند.

قمشی و همکاران (۲۰۰۷) 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 مشاهده و روابطی را برای محاسبه‌ی دامنه و فرکانس امواج پیشنهاد کنند. جعفری و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق خود رابطه‌ی جهت محاسبه‌ی دامنه‌ی نسبی ماکزیمم امواج عمود بر جریان و رابطه‌ی برای محاسبه‌ی عدد استروهال مربوط به مجموعه‌ای از موانع که در مسیر جریان قرار دارند ارائه کرده‌اند. عزیزی و قمشی (۱۳۸۹) دو رابطه برای تعیین فرکانس امواج حاصل از پدیده ارتعاش ناشی از ورتکس در مجاری باز ارائه کرده‌اند.

عزیزی (۱۳۸۷) تأثیر امواج عرضی ناشی از موانع را بر انتقال رسوبات مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفته است که انتقال رسوبات به پایین‌دست بازه مانع‌گذاری، در نتیجه اثر جمعی آبشستگی موضعی، نیروی برشی جریان و معلق شدن رسوبات در نتیجه امواج صورت می‌گیرد. در 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 فاصله عرضی موانع در شرایط وجود امواج عمود بر جریان بر انتقال رسوبات معلق در بالادست و پایین‌دست بازه موانع به ویژه در فلوم با عرض زیاد تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته است، لذا تحقیق حاضر در فلوم با عرض ۱۰۰ سانتی‌متر و به منظور بررسی تأثیر فاصله عرضی موانع در شرایط وجود امواج عمود بر جریان بر انتقال رسوبات معلق انجام می‌شود.

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

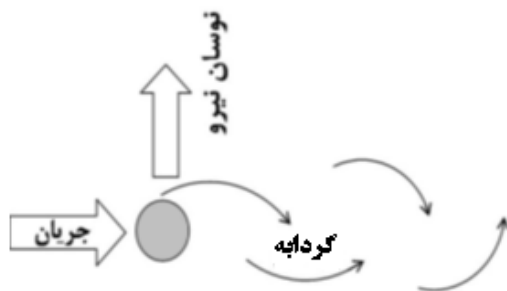
در جریان مجاری روباز تغییر در اندازه سرعت یا عمق جریان نسبت به زمان یا مکان را موج می‌نامند. به عبارت دیگر جریان‌های غیر ماندگار در مجاری روباز که تحت تأثیر نیروی ثقل قرار می‌گیرند، جریان‌هایی تحت عنوان امواج آب<sup>۱</sup> را ایجاد می‌کنند. امواج بلند<sup>۲</sup>، امواج جزر و مد<sup>۳</sup>، امواج ناگهانی<sup>۴</sup> (خیزاب) در نتیجه عملکرد سازه‌های مصنوعی موجود در مسیر جریان، شکست سد<sup>۵</sup> و موج سیل<sup>۶</sup> 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 می‌باشد. در این تحقیق، امواج سطحی عمود بر جریان مورد بررسی قرار گرفته است که مهمترین تفاوت آن با موارد فوق، امتداد انتشار امواج می‌باشد. امواج عمود بر جریان در امتداد عرض آبراهه (عمود بر جهت جریان) منتشر می‌شوند. مکانیسم تشکیل امواج عمود بر جریان به صورت زیر می‌باشد.

در جریان‌های آزاد و 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، سرعت صفر می‌شود و فشار ذره از فشار اولیه سیال تا حد فشار دینامیک در نقطه سکون<sup>۷</sup> افزایش می‌یابد. فشار بالای سیال در نزدیکی مرز جسم جامد باعث تشکیل لایه مرزی در طرفین جسم می‌شود. با رشد لایه مرزی و پس از طی مسافتی در روی مرز جسم جامد، در اثر گرادیان فشار، پدیده جدایی خطوط جریان<sup>۸</sup> رخ می‌دهد. در پایین‌دست خطوط جریانی که از مرز جدا می‌شوند دنباله<sup>۹</sup> و گردابه<sup>۱۰</sup> به وجود می‌آید. در شکل (۱) نمای شماتیک تشکیل گردابه 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<sup>۱۱</sup> و عرضی هستند و با توجه به دامنه کم آنها، خطی فرض می‌شوند (عزیزی، ۱۳۸۷).

بیشتر یافته‌ها و تحقیقات در مورد گرداب‌های حاصل از عبور سیالات از پیرامون موانع موجود در مسیر جریان به گازها مربوط می‌شود، عمده تحقیقات در این زمینه توسط افرادی چون نظیر فیتزهاگ<sup>۱۲</sup> (۱۹۷۳)،

- 1- Water waves
- 2- Long wave
- 3- Estuary flow
- 4- Surge
- 5- Dam break
- 6- Flood wave
- 7- Stagnation point
- 8- Separation
- 9- Wake
- 10- Vortex
- 11- Standing oscillatory waves
- 12- Fitz-hugh

- 13- Blevins
- 14- Zukauskas et al.
- 15- Crass
- 16- Zima and Ackermann



شکل ۱- نمای شماتیک تشکیل گردابه در یک سمت مانع



(ب)

(الف)

شکل ۲- الف: جعبه توزیع دبی با شیر باز، ب: جعبه توزیع دبی با شیر بسته

### مواد و روش‌ها

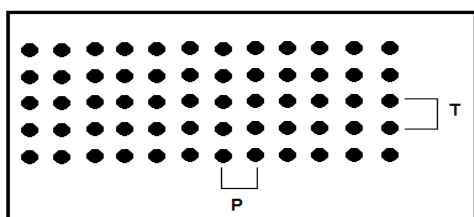
تحقیق حاضر در یک فلوم آزمایشگاهی به طول هشت متر، عرض ۱۰۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر و شیب صفر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است. موانع مورد استفاده در مسیر جریان استوانه‌های چوبی به قطر ۲۵ میلی‌متر و دبی جریان در طول آزمایش‌ها ثابت و برابر ۳۰ لیتر 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 برای 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 برای 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 پنج میلی‌متر تغییر کرده است. برای انجام این تحقیق از فاصله‌ی چهار متری از انتهای فلوم، عرض فلوم توسط یک دیوار جدا کننده به طول چهار 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 یک 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 در حالی که 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. برای هدایت جریان آب خروجی از سمت موانع به محیطی خارج از حوضچه‌ی سرریز مثلی، یک حفره به قطر هشت اینچ که در امتداد آن لوله‌ای با همان قطر تعبیه شده است، در نظر گرفته 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 مذکور، از حفره خارج نشود. بدین منظور یک شیر کشویی هشت اینچی برای باز و بسته کردن حفره خروجی جعبه قرار داده شده است. به این ترتیب هنگامی که شیر بسته می‌باشد کل جریان خروجی از فلوم به سمت حوضچه حاوی سرریز مثلی هدایت می‌شود و هنگامی که شیر باز می‌باشد فقط جریان خروجی از سمت بدون موانع به سمت حوضچه هدایت خواهد شد. به این ترتیب با قرائت ارتفاع آب روی تاج سرریز و با استفاده از رابطه‌ی دبی اشل مربوط به سرریز مثلی موجود، دبی عبوری از قسمت بدون موانع قابل محاسبه و سپس اختلاف دبی کل ورودی و دبی عبوری از قسمت بدون موانع، دبی عبوری از قسمت موانع را مشخص می‌کند. در شکل (۳) عملکرد جعبه‌ی توزیع دبی هنگامی که شیر باز و بسته است نشان داده شده است.

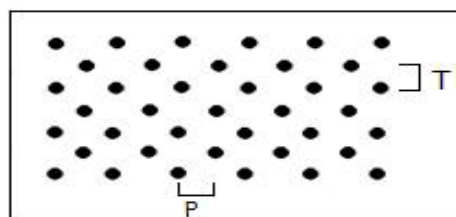
یوستی زاده و قمشی: بررسی تأثیر فاصله‌ی عرضی موانع در شرایط وجود موج...

تغییر شرایط هیدرولیکی جریان، مشخصات هیدرولیکی جریان در شرایطی که موج عمود بر جریان با حداکثر دامنه تشکیل می‌شود تعیین و ثبت شده است. در این شرایط توسط خط‌کش‌هایی که در سه مقطع متفاوت با فواصل یکسان از یکدیگر در طول بازه مانع‌گذاری شده قرار داده شده‌اند، دامنه امواج (به صورت حداکثر و حداقل عمق جریان روی دیواره فلوم) و عمق جریان اندازه‌گیری شده است و متوسط دامنه‌های قرائت شده از خط‌کش‌هایی که در سه مقطع قرار دارند و همچنین متوسط اعماق قرائت شده به ترتیب به عنوان دامنه‌ی هر موج تشکیل شده و متوسط عمق جریان ارائه شده است و نوع موج مشاهده شده نیز ثبت شده است. در جدول (۱) مشخصات کلی چهار آزمایش انجام شده در تحقیق حاضر ارائه شده است. در ستون (۱) از جدول (۱) شماره‌ی آزمایش‌ها مشخص شده است. در ستون (۲) فاصله بین استوانه‌های متوالی در هر ردیف، در ستون (۳) تراکم موانع (میانگین مجموع موانع در دو ردیف متوالی)، در ستون (۴) آرایش موانع، در ستون (۵) نوع موج عمود بر جریان، در ستون (۶) متوسط دامنه موج تشکیل شده در بازه مانع‌گذاری شده و در ستون (۷) دامنه‌ی بی بعد امواج نسبت به عمق جریان نشان داده شده است.

به منظور تثبیت موانع استوانه‌ای در مسیر جریان، از صفحات پلکسی گلاس به ضخامت ۱۰ میلی متر استفاده شده است. به این ترتیب که تمام سطح این صفحات با فواصل طولی و عرضی ۳۰ میلی متر، 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 ۲۵ میلی متر با استفاده از پیچ‌هایی که در انتهای آنها قرار دارند، در امتداد یک سمت دیوار جدا کننده در ۲۰ ردیف با فواصل طولی (P) ثابت و برابر با ۱۲۰ میلی متر و فواصل عرضی (T) مختلف در دو آرایش موازی و زیگزاگی پیچ شده‌اند. آرایش‌های موازی و زیگزاگی موانع و فواصل طولی و عرضی آنها در شکل (۳) و نمونه‌ای از قرارگیری موانع در فلوم آزمایشگاهی در شکل (۴) نشان داده شده است. از ابتدای مخزن آرام کننده تا فاصله یک متری از ابتدای دیوار جدا کننده کف فلوم توسط ذرات سیلیس ریز یکنواخت (چگالی نسبی ۲/۶۵) با قطر متوسط ۰/۱۲ میلی متر به ضخامت ۳۰ میلی متر پوشانده شده است. هر یک از آزمایش‌های این تحقیق در طی دو مرحله صورت گرفته است، در مرحله اول پس از ایجاد آرایش مورد نظر موانع تنظیم دبی، با تغییر ارتفاع دریچه کشویی (گام پنج میلی‌متر در هر مرحله) و



(ب)

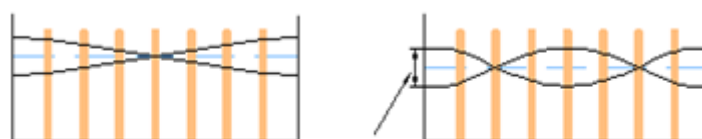


(الف)

شکل ۳- الف: آرایش زیگزاگی، ب: آرایش موازی



شکل ۴- نمونه‌ای از نحوه نصب و قرارگیری موانع در فلوم آزمایشگاهی



موج نوع دو

موج نوع یک

شکل ۵- موج نوع یک و دو در فلوم آزمایشگاهی (عزیزی، ۱۳۸۲)

جدول ۱- مشخصات کلی آزمایش‌های انجام گرفته در تحقیق

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شماره آزمایش	T	N	آرایش موانع	n	$A_{av}$ (mm)	A/h
....	....	....	....	۰	....	....
یک	۱۲۰	۴	موازی	۱	۳۰/۳	۰/۱۹
....	....	....	....	۲	۲۶/۳	۰/۲۵
....	....	....	....	۰	....	....
دو	۱۲۰	۳/۵	زیگزاگی	۱	۲۵	۰/۱۵
....	....	....	....	۲	۲۳	۰/۲۳
....	....	....	....	۰	....	....
سه	۱۸۰	۳	موازی	۱	۲۵/۷	۰/۱۷
....	....	....	....	۲	۱۷	۰/۱۸
....	....	....	....	۰	....	....
چهار	۱۸۰	۲/۵	زیگزاگی	۱	۲۶/۷	۰/۱۶
....	....	....	....	۲	۱۹/۷	۰/۱۹

جدول ۲- مقادیر حداقل و حداکثر پارامترهای هیدرولیکی اندازه گیری شده و محاسبه شده جریان در آزمایش‌های انجام شده

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
شماره آزمایش	$h_u$ (cm)	$h_{av1}$ (cm)	$h_{av2}$ (cm)	$Q_1$ (lit/s)	$Q_2$ (lit/s)	$V_1$ (m/s)	$V_2$ (m/s)
حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر
حدافل	حدافل	حدافل	حدافل	حدافل	حدافل	حدافل	حدافل
یک	۱۱/۶	۱۹/۳	۱۰/۴	۱۸/۱	۱۱	۱۸/۸	۸/۲
دو	۱۱/۴	۱۷/۲	۹/۹	۱۶/۱	۱۰/۵	۱۲/۷	۷/۳
سه	۱۰/۹	۱۸/۹	۹/۵	۱۷/۹	۱۰	۱۸/۳	۹
چهار	۱۱/۸	۲۴	۱۰/۵	۲۳	۱۱/۲	۲۳/۶	۸/۸
حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر
حدافل	حدافل	حدافل	حدافل	حدافل	حدافل	حدافل	حدافل
یک	۱۱/۶	۱۹/۳	۱۰/۴	۱۸/۱	۱۱	۱۸/۸	۸/۲
دو	۱۱/۴	۱۷/۲	۹/۹	۱۶/۱	۱۰/۵	۱۲/۷	۷/۳
سه	۱۰/۹	۱۸/۹	۹/۵	۱۷/۹	۱۰	۱۸/۳	۹
چهار	۱۱/۸	۲۴	۱۰/۵	۲۳	۱۱/۲	۲۳/۶	۸/۸

پوستی زاده و قمشی: بررسی تأثیر فاصله‌ی عرضی موانع در شرایط وجود موج...

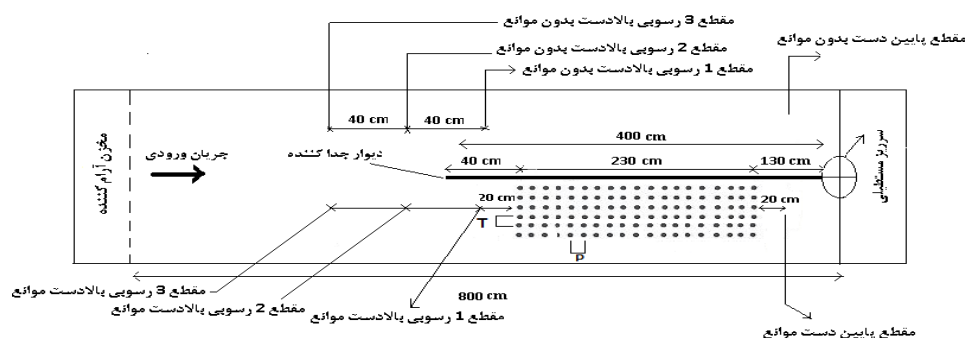
سه مقطع در بالادست بازه موانع و متقابلاً در بالادست بازه بدون موانع و همچنین در یک مقطع در پایین دست بازه موانع و متقابلاً بدون موانع، اندازه‌گیری شده است. در مرحله دوم هر یک از آزمایش‌ها، بدون تغییر هیچ یک از پارامترهای موجود ارتفاع دریچه کشویی تا جایی بالا آورده شده است که موج عمود بر جریان موجود کاملاً حذف شود. در این مرحله غلظت رسوبات معلق مشابه مرحله قبل اندازه‌گیری شده است. در جدول (۳) به منظور بررسی تأثیر فاصله عرضی موانع در شرایط وجود امواج عمود بر جریان بر انتقال رسوبات معلق در بازه موانع و بدون موانع نسبت به شرایطی که موج در فلوم وجود ندارد، در ستون (۳) درصد کاهش غلظت رسوبات معلق در انتهای بازه موانع نسبت به بازه بدون موانع، در ستون (۴) درصد کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده در بازه موانع و در ستون (۵) درصد افزایش غلظت رسوبات معلق منتقل شده در بازه بدون موانع ارائه شده است. در شکل (۶) مقاطع مورد استفاده در فلوم آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری غلظت رسوبات معلق در تمامی آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق نشان داده شده است.

در تحقیق حاضر غلظت رسوبات معلق توسط دستگاه کدورت سنج اندازه‌گیری شده است. این دستگاه مقادیر کدورت جریان را بر حسب واحد NTU اندازه‌گیری می‌کند و بر اساس منحنی واسنجی دستگاه می‌توان مقادیر کدورت جریان را به غلظت بر حسب واحد گرم بر لیتر تبدیل کرد. شکل شماره (۷) منحنی واسنجی دستگاه و معادله‌ی استخراج شده را نشان می‌دهد.

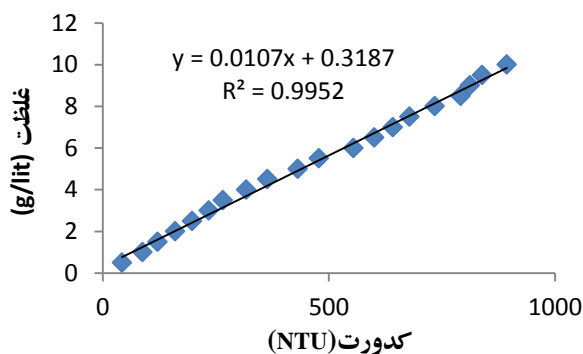
همان‌گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود در آزمایش‌های انجام شده در تحقیق حاضر، دو نوع موج عمود بر جریان در فلوم آزمایشگاهی تشکیل شده است. این امواج با حداکثر دامنه، زمانی شکل می‌گیرند که بسامد نیروی ناشی از گردابه موانع با یکی از بسامدهای طبیعی نوسان آب برابر شود و تشدید صورت پذیرد. در این حالت تعداد صحیحی از گره‌ها در عرض فلوم جا می‌گیرند که تعداد آنها، همان نوع موج می‌باشد. این دو نوع موج با حرف  $\Pi$  و شماره‌های یک و دو شماره گذاری می‌شوند. در شکل (۵) این دو نوع موج نشان داده شده‌اند.

در جدول (۲) مقادیر حداقل و حداکثر مربوط به پارامترهای هیدرولیکی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده جریان در آزمایش‌های انجام گرفته ارائه شده است. در ستون‌های (۲)، (۳) و (۴) به ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر مربوط به عمق جریان در بالادست فلوم ( $h_{av}$ )، متوسط عمق جریان عبوری از بازه موانع ( $h_{av1}$ ) (از میانگین عمق‌های قرائت شده در سه مقطع بازه مانع‌گذاری شده مشخص شده است) و بدون موانع ( $h_{av2}$ ) نشان داده شده است. در ستون‌های (۵) و (۶) به ترتیب دبی عبوری از بازه موانع ( $Q_1$ ) و بدون موانع ( $Q_2$ ) که توسط جعبه توزیع اندازه‌گیری شده است، مشخص شده است و در ستون‌های (۷) و (۸) به ترتیب سرعت جریان عبوری از بازه موانع ( $V_1$ ) و بدون موانع ( $V_2$ ) ارائه شده 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  $0.2h$ ،  $0.6h$  و  $0.8h$  از کف فلوم در



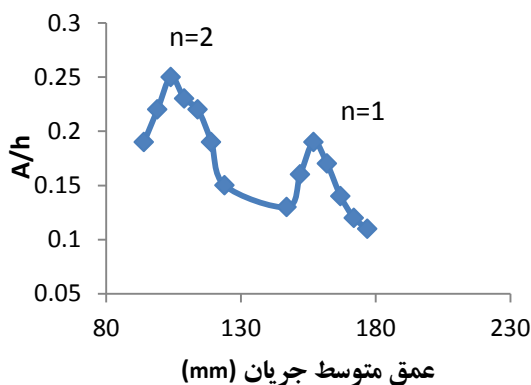
شکل ۶- نمای شماتیک از محل قرارگیری دیوار جدا کننده و مقاطع اندازه‌گیری غلظت رسوبات معلق در فلوم



شکل ۲- منحنی واسنجی دستگاه کدورت سنج

جدول ۳- اختلاف غلظت رسوبات معلق اندازه‌گیری شده در بازه موانع و بدون موانع در آزمایشات انجام شده

شماره آزمایش	n	$\Delta C$ (درصد)	$\Delta T_1$ (درصد)	$\Delta T_2$ (درصد)
یک	۱	۰/۱	۰/۳	۱/۳
	۲	۰/۱۹	۳/۷	۳/۲
دو	۱	۰/۵۰	۴/۷	۳/۲
	۲	۰/۲۲	۸/۱	۰
سه	۱	۱	۲/۸	۱/۲
	۲	۰/۵۲	۶/۵	۲/۵
چهار	۱	۱/۶۸	۳/۶	۳/۳
	۲	۱/۰۷	۳/۹	۳



شکل ۸- تغییرات دامنه بدون بعد امواج در مقابل تغییرات عمق متوسط جریان برای آزمایش شماره یک

موج  $n=2$  تشکیل می‌شود، این موج هم پس از رسیدن به یک دامنه نوسان حداکثر، با کاهش بیشتر عمق جریان محو می‌شود. برای نشان دادن شرایط هیدرولیکی جریان در حالت حداکثر دامنه، به عنوان نمونه نمودار دامنه‌ی بی بعد امواج نسبت به تغییرات عمق جریان برای آزمایش شماره (۱) در شکل (۸) رسم شده است. شکل (۸) نشان می‌دهد که حداکثر دامنه مشاهده شده در آزمایش شماره یک، برای موج نوع یک و دو به ترتیب برابر ۱۹ و ۲۵ درصد

### نتایج و بحث

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

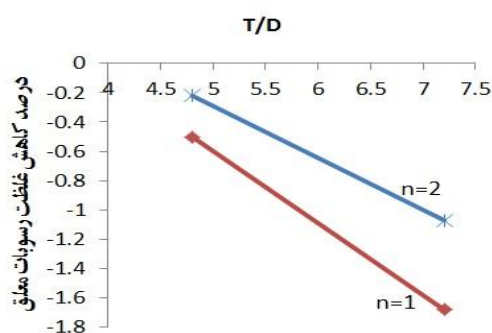
یوستی زاده و قمشی: بررسی تأثیر فاصله‌ی عرضی موانع در شرایط وجود موج...

می‌شوند و در آنجا ته نشین شده و یا به بازه بدون موانع منتقل خواهند شد و این پدیده سبب کاهش غلظت رسوبات معلق در انتهای بازه موانع نسبت به بازه بدون موانع در شرایط موج عمود بر جریان نیز می‌شود.

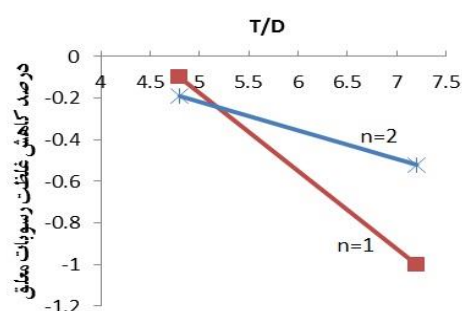
به منظور بررسی تأثیر فاصله‌ی عرضی موانع در شرایط وجود موج عمود بر جریان بر غلظت رسوبات معلق پایین دست موانع، نمودار تغییرات درصد کاهش غلظت رسوبات معلق انتهای دو سمت دیوار جدا کننده (پایین دست بازه موانع نسبت به پایین دست بازه بدون موانع) در شرایط وجود موج عمود بر جریان در مقابل تغییرات فاصله‌ی عرضی موانع برای چهار آزمایش انجام گرفته در تحقیق حاضر، برای آرایش موازی موانع در شکل (۹-الف) و برای آرایش زیگزاگی موانع در شکل (۹-ب) نشان داده شده است.

عمق متوسط جریان می‌باشد. بر اساس جدول (۱)، بیشترین دامنه موج مشاهده شده در آزمایش‌ها، ۲۵ درصد عمق متوسط جریان می‌باشد که در آزمایش شماره یک تشکیل شده است.

مقادیر موجود در ستون (۴) از جدول (۳)، نشان می‌دهد که در اثر وجود موج غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست بازه موانع به سمت پایین دست بازه موانع کاهش یافته است. علت این امر این است که چون چگالی آب از چگالی ذرات رسوب کمتر می‌باشد، خطوط جریان بیشتر از رسوبات به بازه بدون موانع که سرعت جریان بیشتر از بازه موانع می‌باشد منحرف می‌شوند بنابراین غلظت رسوبات معلق در بازه موانع بیشتر از بازه بدون موانع در شرایطی که در فلوم موج عمود بر جریان وجود نداشته باشد، خواهد بود درحالی که با تشکیل امواج عمود بر جریان در فلوم رسوبات موجود در بازه موانع به پایین دست منتقل نشده و در اثر موج رسوبات به بالادست این بازه انتقال داده

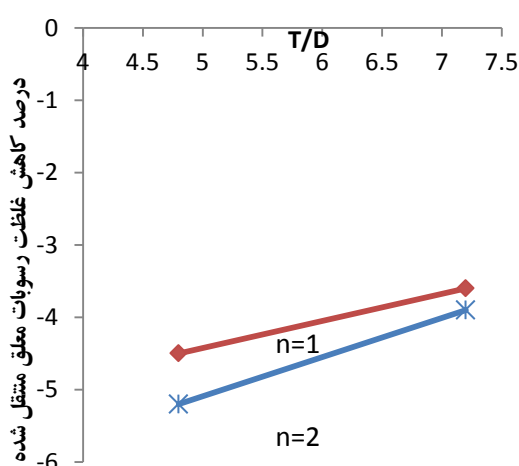


ب: آرایش زیگزاگی موانع برای آزمایش شماره دو و چهار

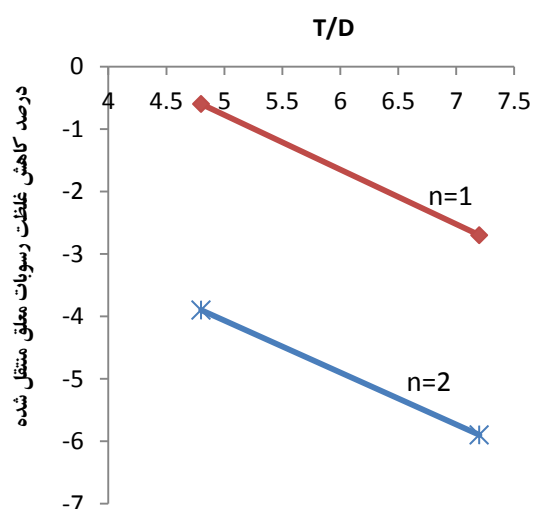


الف: آرایش موازی موانع برای آزمایش شماره یک و دو

شکل ۹- نمودار تغییرات درصد کاهش غلظت رسوبات معلق انتهای دو سمت دیوار جداکننده در مقابل تغییرات T/D



ب: آرایش زیگزاگی موانع برای آزمایش شماره دو و چهار



الف: آرایش موازی موانع برای آزمایش شماره یک و سه

شکل ۱۰- نمودار تغییرات درصد کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده از

بالادست به پایین دست فلوم در بازه موانع در مقابل تغییرات T/D



همچنین برای موج نوع دو در آرایش موازی، غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه بدون موانع نسبت به شرایط عدم وجود موج در فلوم حدود سه درصد افزایش یافته است اما هر چه فاصله‌ی عرضی موانع افزایش یابد، غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه مذکور برای موج نوع دو نسبت به شرایط عدم وجود موج کاهش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط موج نوع دو با آرایش موازی با افزایش فاصله‌ی عرضی موانع، رسوبات از بالادست بازه موانع به سمت بازه بدون موانع منتقل نشده‌اند و در بالادست بازه موانع ته نشین شده‌اند. اما در آرایش زیگزاگی برای موج نوع ۲، غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه بدون موانع نسبت به شرایط عدم وجود موج کاهش یافته است بنابراین رسوبات از بالادست بازه موانع به سمت بازه بدون موانع در شرایط موج نوع دو منتقل نشده است و در بالادست بازه موانع ته نشین شده‌اند اما با افزایش فاصله عرضی موانع غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه بدون موانع نسبت به شرایط عدم وجود موج افزایش یافته است.

### نتیجه‌گیری

هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی تأثیر فاصله‌ی عرضی موانع در شرایط وجود موج عمود بر جریان بر انتقال رسوبات معلق بوده است. همان‌گونه که نتایج نشان داده‌اند، با ثابت نگه داشتن دبی، قطر و فاصله‌ی طولی موانع، هر چه فاصله‌ی عرضی افزایش یابد اختلاف غلظت رسوبات معلق در پایین دست بازه بدون موانع در شرایط وجود موج نسبت به شرایطی که موجی در فلوم تشکیل نشده است، افزایش می‌یابد اما این تغییرات در سطح پنج درصد بی معنی بوده است. حال آنکه افزایش فاصله عرضی در آرایش موازی به طور معنی‌دار باعث کاهش درصد غلظت رسوبات معلق منتقل شده در بازه موانع در شرایط وجود موج عمود بر جریان نسبت به شرایط عدم وجود موج شده است اما در آرایش زیگزاگی، درصد کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده برای موج نوع یک و دو کاهش یافته است ولیکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نگردید. نتایج حاصل از بررسی میزان رسوبات معلق منتقل شده از بازه بدون موانع در شرایط وجود موج نسبت به شرایط عدم وجود موج دلالت بر این امر دارد که با افزایش فاصله عرضی، در آرایش موازی و زیگزاگی، درصد افزایش غلظت رسوبات معلق منتقل شده برای موج نوع یک نسبت به شرایط عدم وجود موج تغییری نداشته است. برای موج نوع دو در آرایش زیگزاگی غلظت رسوبات معلق منتقل شده نسبت به شرایط عدم وجود موج افزایش یافته است. اما در آرایش موازی، غلظت رسوبات معلق منتقل شده نسبت به شرایط عدم وجود موج افزایش یافته است. لذا در این شرایط رسوبات معلق از بازه بدون موانع منتقل نشده‌اند و در بالادست بازه موانع ته نشین شده‌اند.

مقادیر ارائه شده در ستون (۳) از جدول (۳) و همچنین نمودارهای شکل (۹) نشان می‌دهند که با افزایش فاصله‌ی عرضی موانع از ۱۲۰ میلی‌متر به ۱۸۰ میلی‌متر، اختلاف غلظت رسوبات معلق انتهای دو سمت دیوار جدا کننده افزایش می‌یابد. به گونه‌ای که در آرایش موازی با افزایش فاصله‌ی عرضی، کاهش غلظت رسوبات معلق انتهای دو سمت دیوار جدا کننده برای موج نوع یک از ۰/۱ درصد به ۱ درصد و برای موج نوع ۲ از ۰/۱۹ درصد به ۰/۵۲ درصد تغییر یافته است و در آرایش زیگزاگی برای موج نوع ۱ از ۰/۵ درصد به ۱/۶۸ درصد و برای موج نوع دو از ۰/۲۲ درصد به ۱/۰۷ درصد تغییر یافته است اما با استفاده از نرم افزار SPSS این تغییرات در سطح پنج درصد بی معنی نشان داده شده است.

همچنین به منظور بررسی تأثیر فاصله‌ی عرضی موانع بر کاهش غلظت رسوبات معلق منتقل شده در بازه موانع در شرایط وجود موج عمود بر جریان نسبت به شرایطی که موج عمود بر جریان در فلوم شکل نگرفته است، 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 برای چهار آزمایش انجام شده برای آرایش موازی در شکل (۱۰-الف) و برای آرایش زیگزاگی در شکل (۱۰-ب) نشان داده شده است.

همان‌گونه که در نمودارهای شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، در آرایش موازی، هر چه فاصله‌ی عرضی موانع افزایش یابد 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 افزایش یافته است. به گونه‌ای که در آرایش موازی برای موج نوع یک از ۰/۳ درصد به ۲/۸ درصد و برای موج نوع دو از ۳/۷ درصد به ۶/۵ درصد افزایش یافته است. اما در آرایش زیگزاگی هر چه فاصله‌ی عرضی موانع افزایش یابد 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 کاهش یافته است. به گونه‌ای که برای موج نوع یک از ۴/۷ درصد به ۳/۶ درصد و برای موج نوع دو از ۸/۱ به ۳/۹ درصد کاهش یافته است.

برای بررسی میزان غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه بدون موانع در شرایط وجود موج نسبت به شرایط عدم وجود موج در فلوم، مقادیر درصد افزایش غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بازه بدون موانع که در ستون (۵) از جدول (۳) ارائه شده، مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهند که در آرایش موازی و زیگزاگی، غلظت رسوبات معلق منتقل شده از بالادست به سمت پایین دست بازه بدون موانع برای موج نوع یک نسبت به شرایط عدم وجود موج در فلوم افزایش یافته است و با افزایش فاصله‌ی عرضی موانع از ۱۲۰ میلی‌متر به ۱۸۰ میلی‌متر، میزان غلظت رسوبات معلق منتقل شده تغییراتی نداشته است.

## منابع

- ۱- عزیزی، ر. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر امواج عمود بر جریان ناشی از گردابه موانع بر ظرفیت انتقال رسوبات در مجاری روباز. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- عزیزی، ر. و م. قمشی. ۱۳۸۹. رابطه فرکانس امواج عمود بر جریان در مجاری روباز با مشخصات جریان و موانع. مجله علمی- پژوهشی تحقیقات منابع آب ایران، ۶(۲): ۵۷-۶۵.
- ۳- قمشی، ع. ۱۳۸۸. امواج عمود بر جریان ناشی از گردابه موانع در مجاری روباز و تأثیر آن بر شکل بستر. مجموعه مقالات هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران، بهمن‌ماه.
- 4- Blevins, R. D. 1977. Flow-induced vibration. VNR, London, England, 377p.
- 5- Crass. C. 1939. About oscillation phenomenon on water surface part 1: Flow around obstacle from piles of bridge, coptes rendus de seances de l'Academie de sciences, 209p.
- 6- Fitz-hugh, J. S. 1973. Flow induced vibration in heat exchangers. UKAEA/NPL International Symposium on Vibration Problems in Industry, Keswick, England, 427: 1-17.
- 7- Ghomeshi, M., Mortazavi-Dorcheh, S. A. and R. Falconer. 2007. Wave formation by vortex shedding in open channel. Journal of Applied Sciences, 7 (24):3927-3934.
- 8- Jafari, A., Ghomeshi, M., Bina, M. and S. M. Kashefipour. 2010. Comparing of ten modes of oscillation occurring across the open channels. IAHR-APD Congress, The School of Engineering, The University of Auckland, New Zealand, 21 - 24 February.
- 9- Zima, L. and S. N. Ackermann. 2002. Wave generation in open channels by vortex shedding from channel obstruction. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 128(6) :596-603.
- 10- Zukauskas, A., Ulinskas, R. and V. Katinas. 1988. Flow dynamics and flow-induced vibrations of tube banks, experimental and applied heat transfer guide books. 317p.