

## بررسی تاثیر نوع شکل مانع بر روی خصوصیات امواج عرضی

محمد حسین پورمحمدی<sup>۱\*</sup>، مهدی قمشی<sup>۲</sup>، سید حبیب موسوی جهرمی<sup>۳</sup>، سید محمود کاشفی پور<sup>۴</sup> و منوچهر فتحی مقدم<sup>۵</sup>

۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۵- استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۸

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۱۲

### چکیده

در بسیاری از مواقع مجموعه ای از موانع در مقابل مسیر حرکت جریان آب قرار می گیرد. با عبور آب از بین این موانع در پایین دست آنها گردابه ایجاد شده و از هم پوشانی گردابه ایجاد شده از هر کدام از موانع امواج سطحی عمود بر جهت جریان تشکیل می شود. در تحقیق حاضر تاثیر سه نوع شکل مانع بر روی تشکیل امواج عرضی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور موانع استوانه ای، مکعبی (برخورد جریان به گوشه) و مکعبی (برخورد جریان به ضلع) استفاده شد. دبی ها ۵، ۱۵ و ۲۵ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. کارگذاری موانع به صورت موازی با چهار آرایش مختلف  $60 \times 60$ ،  $60 \times 120$ ،  $120 \times 120$  و  $180 \times 180$  در نظر گرفته شد. در مجموع ۳۶ آزمایش صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که شکل موانع تاثیر زیادی بر روی تشکیل امواج عرضی دارد. بیشترین میزان دامنه نسبی ( $A/H$ ) (دامنه نسبی که  $A$ : حداکثر دامنه امواج،  $H$ : عمق متوسط جریان) مربوط به موانع استوانه ای برای آرایش  $60 \times 120$  در دبی پنج لیتر بر ثانیه و به میزان  $61/10$  درصد و کمترین میزان  $A/H$  مربوط به موانع مکعبی برای برخورد جریان از ناحیه ضلع برای آرایش  $180 \times 180$  در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و به میزان شش درصد حاصل شد. روابطی به منظور تخمین عدد استراهل در شکل های مورد نظر با استفاده از نرم افزار SPSS ارائه گردید. بر اساس روابط تجربی ارائه شده مشخص گردید عدد استراهل با پارامتر  $P/D$  (فاصله بین ردیف های موانع به قطر موانع) در موانع استوانه ای نسبت مستقیم و در دو حالت موانع مکعبی مورد بررسی در این تحقیق نسبت عکس دارد.

کلید واژه ها: امواج عرضی، عدد استراهل، فرکانس امواج، تراکم موانع.

## The Study of Impact of Obstacle Shape on The Characteristics of Transverse Waves

M.H. Purmohammadi<sup>1\*</sup>, M. Ghomeshi<sup>2</sup>, S. H. Mosavi Jahromi<sup>3</sup>, S. M. Kashefipour<sup>4</sup>  
and M. Fathi Moghadam<sup>5</sup>

1\* -Ph.D. Student, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

3- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

4- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

5- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 3 September 2013

Accepted: 29 June 2014

### Abstract

In many cases the collection of obstacles stand against water flow direction and by passing water through these obstacles, vortexes are created in downstream of them and by overlapping of these vortexes, surface waves perpendicular to the flow direction are formed. In this study the impact of obstacle shape on the characteristics of transverse waves are investigated. For this purpose, cylindrical obstacle and cubic obstacle are used. Discharges 5, 15 and 25 l/s and

insertion of obstacles in parallel with ordering of  $60 \times 60$ ,  $60 \times 120$ ,  $120 \times 120$  and  $180 \times 180$  are considered. Totally 36 experiments were performed. The results showed that the shape of obstacles has high impact on the formation of transverse waves. The maximum amount of relative amplitude ( $A/H$ ) ( $A$ : The maximum wave amplitude,  $H$ : depth of flow) was occurred for cylindrical obstacle with amount of 61.10% in arrangement of obstacles of  $60 \times 120$  and discharge equal to 5 l/s and the minimum value of  $A/H$  was occurred for cubic obstacle for side current collision with amount of 6.00% in arrangement of obstacles of  $180 \times 180$  and discharge equal to 25 l/s. Equations for estimating of Strouhal Number were presented, using SPSS software developed. According to presented equations, Strouhal number has direct comparison with  $P/D$  ( $P$ : Distance between obstacles,  $D$ : Diameter of obstacles) in cylindrical obstacles and has inverse comparison in two situations of cubic obstacles.

**Keywords:** Transverse waves, Strouhal number, Frequency of waves, Density of obstacles.

می‌شوند و لایه‌های برشی ایجاد شده در داخل جریان در جهت پایین دست به دنبال هم ادامه می‌یابند. این دو سری لایه برشی ناحیه دنباله را محدود می‌کنند. درونی‌ترین لایه برشی نسبت به لایه برشی بیرونی که در تماس با جریان آزاد است حرکت بسیار آرامتری دارد. لایه‌های برشی بیرونی به صورت حرکت‌های ناپیوسته، چرخشی و گردابه خواهد بود (بلوینز<sup>۲</sup>، ۱۹۷۷). بنابراین با جریان سیال از پیرامون مانع استوانه‌ای که در مسیر جریان قرار گرفته، الگوی منظمی از گردابه‌ها در ناحیه دنباله و در پایین دست آن ایجاد شده و کشش گردابه به وجود می‌آید که در شکل (۱) نمایش داده شده است.

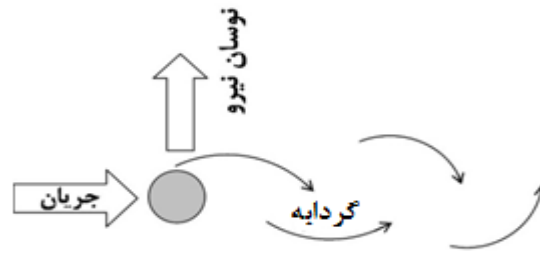
بیشتر یافته‌ها و تحقیقات در مورد گرداب‌های حاصل از عبور سیالات از پیرامون مانع موجود در مسیر جریان به گازها مربوط می‌شود، عمده تحقیقات در این زمینه توسط فیتز هاگ<sup>۳</sup> (۱۹۷۳)، بلوینز<sup>۴</sup> و برسلر<sup>۵</sup> (۱۹۹۳) و زوکاوسکاس<sup>۶</sup> و همکاران (۱۹۸۸) صورت گرفته است. در مقابل تحقیقاتی که به تشکیل گرداب و پدیده‌های مرتبط با آن در محیط آب پرداخته باشند بسیار کم است. اولین یافته‌ها به تحقیق کراس<sup>۶</sup> (۱۹۳۹) مربوط می‌شود. اسکوستر<sup>۷</sup> (۱۹۶۷) نوسانات ناشی از پایه‌های پل را بررسی کرده است. همچنین فلاوی<sup>۸</sup> (۱۹۸۰) تولید موج توسط پایه‌های پل را در یک کانال دوزنقه‌ای بررسی کرده است. در تحقیق دیگری زیما و اکرم (۲۰۰۲) فرمولی برای شبیه‌سازی دامنه نسبی امواج ( $A/h$ ) ارائه کرده‌اند. قمشی و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای بر روی تشکیل امواج عرضی روابطی به منظور تخمین عدد استراهل و دامنه نسبی امواج ارائه نمودند.

### مقدمه

در بسیاری از مواقع مجموعه‌ای از موانع با شکل‌های مختلف در مسیر حرکت آب قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه می‌توان به پایه‌های پل در مسیل‌های رودخانه، پایه‌های اسکله در دریا، گیاهان و تنه درختان در بستر رودخانه و پایه‌های هر سازه هیدرولیکی دیگر که در یک مجرای روباز قرار دارد اشاره نمود. با عبور آب از بین این موانع در پایین دست آنها گردابه ایجاد شده و از هم‌پوشانی گردابه ایجاد شده از هر کدام از موانع امواج سطحی که راستای انتشارشان عمود بر جهت جریان است تشکیل می‌شود که وضعیت ویژه‌ای را برای جریان رقم می‌زنند. لذا شناخت آن می‌تواند دلایل رویداد بسیاری از پدیده‌ها را روشن نماید. همچنین از جهت مسائلی مانند پایداری ساختمان‌های هیدرولیکی، فرسایش کناری و بستر و رسوبگذاری در بستر نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با شناخت بیشتر این پدیده می‌توان از آن در جهت‌های مثبت مانند تولید انرژی از ارتعاشات در حالت تشدید نیز استفاده نمود (به نقل از جعفری، ۱۳۸۹).

اولین بار تأثیر متقابل جریان و سازه بر روی یکدیگر بر اثر پدیده خرابی پل تاکوماناروز در سال ۱۹۴۰ مورد توجه قرار گرفت. این خرابی بسیار چشمگیر بود و دلیل آن عبور جریان هوا از بین دسته‌های پل و تولید گردابه بود (زیما و اکرم<sup>۱</sup> ۲۰۰۲). پس از آن تحقیقات فراوانی در رابطه با تشکیل گردابه و تشدید در برخورد سیالات (گازها و مایعات) با موانع مختلف صورت پذیرفت. زمانی که یک ذره سیال به سمت لبه ابتدایی یک مانع استوانه‌ای که در مسیر جریان قرار گرفته حرکت می‌کند، فشار ذره سیال از فشار سیال آزاد تا حد فشار دینامیک در نقطه سکون افزایش می‌یابد (به نقل از جعفری، ۱۳۸۹). فشار بالای سیال در نزدیکی لبه‌های جسم موجب رشد لایه مرزی در دو طرف استوانه می‌گردد. با توجه به نحوه جداسازی خطوط جریان، در هر دو لبه کناری مانع استوانه‌ای خطوط جریان از مانع استوانه‌ای جدا

- 
- 2- Blevins
  - 3 - Fitz-hugh
  - 4 - Blevins and Bressler
  - 5 - Zukauskas
  - 6 - Crasse
  - 7 - Schuster
  - 8 - Falvey



شکل ۱- شماتیک تشکیل گردابه پشت مانع استوانه ای

و رابطه‌ای برای محاسبه حداکثر دامنه نسبی امواج عرضی ناشی از گردابه در جریان آزاد بر روی موانع ارائه نمودند. کیو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) مطالعه‌ای آزمایشگاهی درباره تأثیر زبری یکنواخت بر روی ارتعاش ناشی از گردابه ناشی از استوانه‌ای که توسط کاغذ سنباده که با متوسط اندازه ذرات و زبری مشخصی ( $0.28 \times 10^{-3} < \frac{K}{D} < 1.38 \times 10^{-2}$ ) پوشیده شده است، انجام دادند. در این آزمایش‌ها جریان زیر بحرانی و  $4 < \frac{U}{f_s D} < 8$  و  $1.7 \times 10^4 < Re < 8.3 \times 10^4$  بود. این محققین نشان دادند که زبری استوانه باعث افزایش حداکثر دامنه امواج عرضی و کاهش حداکثر ضریب نیروی پسا شده است و عدد استراهل با زبری افزایش یافته است و در نهایت نشان دادند که زبری یکنواخت به طور مطلوب باعث کاهش ارتعاش ناشی از گردابه در محدوده عدد رینولدز آزمایش‌ها شده است.

لی و برنیتساس<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) جریان عبوری از چهار استوانه را در عدد رینولدز ۲۰۰ در جریان آرام با استفاده شبیه سازی عددی سه بعدی مورد بررسی قرار دادند و برای  $1.2 < \frac{T}{D} < 5$ ، الگوی جریان در برخورد با این موانع را مورد بررسی و به سه دسته طبقه بندی کردند.

کارموا و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۱) ارتعاش ناشی از جریان اطراف دو استوانه را در عدد رینولدز پایین به صورت عددی دو بعدی و سه بعدی مورد بررسی قرار دادند.

عدد استراهل در پدیده های متناوب گردابه ها، به عنوان اندازه فرکانس بی بعد نوسان های این پدیده در نظر گرفته می شود. در واقع عدد استراهل، رفتار وابسته به زمان این پدیده را توصیف می کند. لذا هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر شکل موانع بر روی چگونگی تشکیل و مشخصات امواج عرضی عمود بر جهت جریان در کانال های روباز با استفاده از مدل فیزیکی و ارائه روابطی به منظور تعیین فرکانس امواج حاصل از پدیده ارتعاش ناشی از گردابه، در موانع با مقاطع منشوری در مجاری روباز می باشد.

برای انجام محاسبات مربوط به فرکانس امواج، عدد بی عدد استراهل به صورت رابطه (۱) تعریف می شود (وایت، ۱۹۷۹):

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

که در این رابطه،  $S$ : عدد استراهل،  $f_s$ : فرکانس امواج،  $D$ : قطر موانع و  $U$ : سرعت متوسط جریان بالادست مانع می باشد. لینهارد<sup>۲</sup> (۱۹۶۶) در محدوده وسیعی از عدد رینولدز عدد استراهل را برای گازها برابر  $0.2$  محاسبه نمود. عدد رینولدز مطابق رابطه (۱) به صورت زیر تعریف می شود:

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (2)$$

که در این رابطه:  $Re$ : عدد رینولدز،  $U$ : سرعت متوسط جریان،  $D$ : قطر موانع و  $\nu$ : لزجت سینماتیک سیال است. همچنین فیتزهاگ (۱۹۷۳) عدد استراهل را برای آرایش های موازی و زیگزگی در موانع استوانه‌ای، بر حسب  $P/D, T/D$  (  $P$ : فاصله موانع در جهت طول،  $T$ : فاصله موانع در جهت عرض و  $D$ : قطر مانع می باشد) برای جریان های گازی تعیین نمودند.

ساحا و همکاران (۲۰۰۹) جریان عبوری از یک مانع چهارگوش را در عدد رینولدز پایین به صورت عددی مورد بررسی قرار داده اند. این تحقیق در عدد رینولدز ۱۰۰ تا ۳۲۵ انجام شده است. این محققان مشاهده کردند که جریان در عدد رینولدز برابر با ۱۶۰ دو بعدی و در عدد رینولدز  $163/5$  سه بعدی می باشد و در عدد رینولدز برابر با ۱۷۵ بسیار متمایز است و همچنین با افزایش عدد رینولدز طول موج تشکیل شده کاهش می یابد.

جعفری و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی آزمایشگاهی با استفاده از موانع استوانه‌ای، با قطرهای مختلف (۵، ۱۲ و ۲۵ میلی متر)، ده نوع موج را در فلوم آزمایشگاهی مشاهده نمودند. این محققین در مطالعه دیگری دامنه ده نوع موج عرضی را مورد بررسی قرار داده

3- Kiua et al.

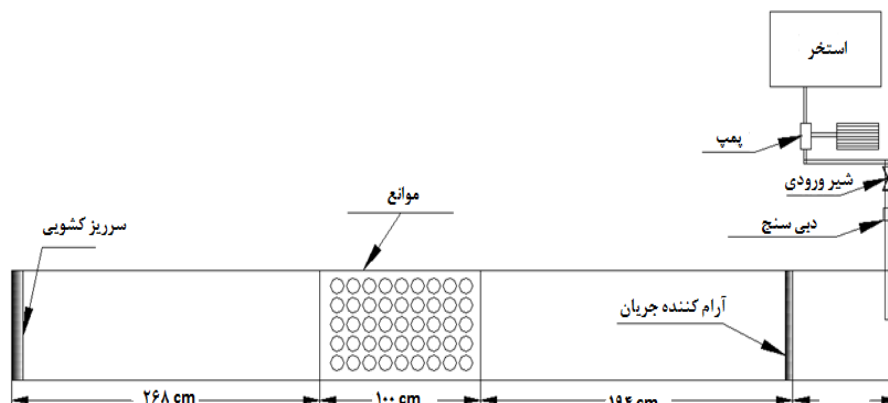
4- Lee and Bernitsas

5- Carmoa et al.

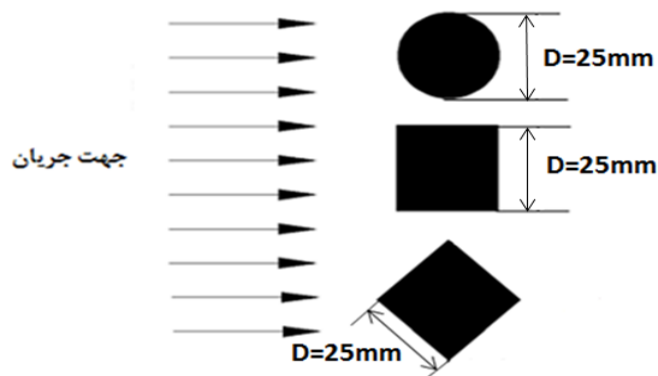
1- White

2- Lienhard

پور محمدی و همکاران: بررسی تاثیر نوع شکل مانع بر روی خصوصیات...



شکل ۲- شماتیکی از فلوم و تجهیزات مورد استفاده



شکل ۳- سه نوع شکل مانع استفاده شده در این مطالعه

شکل می گردد) تا ارتفاع صفر تغییر می کرد و با تغییر عمق و سرعت جریان، امواج مختلف در عرض فلوم شکل می گرفت. در شکل (۲) شماتیکی از فلوم و تجهیزات مورد استفاده نشان داده شده است.

موانع مورد استفاده در این تحقیق به صورت استوانه ای و مکعبی (برخورد جریان به گوشه) و مکعبی (برخورد جریان به ضلع) بوده است. این موانع منشوری عمود بر مسیر جریان نصب شدند. در شکل (۳) سه نوع مانع مورد استفاده در این مطالعه را نشان می دهد.

لازم به ذکر است در انجام آزمایش ها آرایش موانع به صورت زیگزاکی و با فواصل مشخص ۱۸۰، ۱۲۰، ۶۰ میلی متر و ۱۸۰، ۱۲۰، ۶۰ میلی متر نصب گردیدند. همچنین دبی های مورد استفاده ۵، ۱۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه و کارگذاری موانع به صورت موازی با آرایش ۶۰×۶۰، ۶۰×۱۲۰، ۱۲۰×۱۲۰ و ۱۸۰×۱۸۰ در نظر گرفته شد. در مجموع ۳۶ آزمایش صورت پذیرفت. در هر آزمایش با پایین آوردن دریچه انواع مختلف موج تشکیل شده و حداکثر و حداقل دامنه در هر موج از روی خط کش هایی نصب شده در محدوده موانع قرائت شده به همراه فرکانس موج (تعداد نوسانات در واحد زمان) قرائت می شد.

### مواد و روش ها

فلوم مورد استفاده برای انجام آزمایش ها یک فلوم با مقطع مستطیلی به عرض کف ۷۲ سانتی متر، طول ۵۳۷ سانتی متر، ارتفاع ۶۰ سانتی متر، طول مخزن آرام کننده جریان ۶۵ سانتی متر و جنس دیواره از شیشه و کف آن از ورق پلکسی گلاس بوده است. کارگذاری موانع در فاصله ۱۹۴ سانتی متری از آرام کننده و به طول ۱ متر صورت پذیرفت.

آب مورد نیاز برای انجام آزمایش ها، از یک استخر به وسیله پمپ تأمین می شد. به منظور اندازه گیری دبی های متغیر در آزمایش های انجام شده از یک فلومتر دیجیتالی استفاده گردید. برای نصب و باز و بستن موانع منشوری چوبی ابتدا سطح صفحات پلکسی گلاس با فواصل سه سانتی متر به گونه ای که فاصله نقاط متوالی از یکدیگر در هر ردیف و فاصله ردیفها از یکدیگر سه سانتی متر است. در کل بیش از ۷۹۰ محل روی صفحات پلکسی گلاس برای نصب موانع منشوری آماده سازی شد.

برای تنظیم ارتفاع آب، در پایین دست فلوم سرریز کشویی قرار داده شد. با استفاده از این دریچه کشویی، عمق و سرعت جریان تغییر داده شده و در هر آزمایش ارتفاع سرریز کشویی، از یک مقدار حداکثر (متناسب با عمق جریانی که امواج عمود بر جریان

آزمایش‌ها متعدد از ارائه کلیه شکل‌ها خودداری شده است. شکل (۵) برای دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه و آرایش ۱۲۰×۱۲۰ می باشد. همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، روند تغییرات دامنه امواج با عمق جریان مشابه می‌باشد. بدین صورت که با کاهش عمق در هر شکل مانع دامنه امواج افزایش یافته و بعد از رسیدن به یک مقدار بیشینه دوباره کاهش می‌یابد.

به منظور مقایسه بهتر نتایج حاصل از آزمایش‌ها در بیشینه امواج نسبی ( $A/H$ ) جدول (۲) ارائه شده است (N: تراکم مانع، n: نوع موج). با توجه به جدول (۲) مشاهده می‌شود که در آرایش ۶۰×۶۰ بیشینه و کمینه ( $A/H$ ) به ترتیب در موانع استوانه‌ای و مکعبی برای برخورد جریان از ناحیه گوشه مانع شکل گرفت. در آرایش ۶۰×۱۲۰ بیشینه و کمینه ( $A/H$ ) به ترتیب در موانع استوانه‌ای و مکعبی برای برخورد جریان از ناحیه ضلع شکل گرفت. در آرایش ۱۲۰×۱۲۰ بیشینه و کمینه ( $A/H$ ) به ترتیب در موانع مکعبی برای برخورد جریان از ناحیه گوشه و موانع مکعبی برای برخورد جریان از ناحیه ضلع شکل گرفت. در آرایش ۱۸۰×۱۸۰ بیشینه و

کمینه ( $A/H$ ) به ترتیب در موانع استوانه‌ای و مکعبی برای برخورد جریان از ناحیه ضلع شکل گرفت. همچنین با افزایش دبی از ۵ تا ۱۵ لیتر بر ثانیه میزان  $A/H$  برای شکل‌های متفاوت موانع در آرایش‌های متفاوت، کاهش یافت. بیشترین میزان  $A/H$  مربوط به موانع استوانه‌ای برای آرایش ۶۰×۱۲۰ در دبی ۵ لیتر بر ثانیه و به میزان ۶۱/۱۰ درصد و کمترین میزان  $A/H$  مربوط به موانع مکعبی برای برخورد جریان از ناحیه ضلع در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و به میزان شش درصد حاصل شد.

به منظور تحلیل ابعادی از روش  $\pi$  باکینگهام استفاده گردید. پارامترهای موثر و پارامترهای بی بعد در تعیین عدد استراهل مطابق رابطه (۳) و رابطه (۴) انتخاب گردید.

$$\phi_1(f_s, U, T, P, N, D, \mu, \rho) = 0 \quad (3)$$

$$\phi_2\left(\frac{f_s D}{U}, \frac{\rho U D}{\mu}, \frac{T}{D}, \frac{P}{D}, N\right) = 0 \quad (4)$$

که در آن،  $\rho$ : جرم مخصوص سیال،  $\mu$ : لزجت سیال و  $N$ : تراکم موانع (تعداد موانع در هر ردیف) می‌باشد. پس از انجام آنالیز ابعادی، اعداد بدون بعد مطابق رابطه (۵) حاصل شدند:

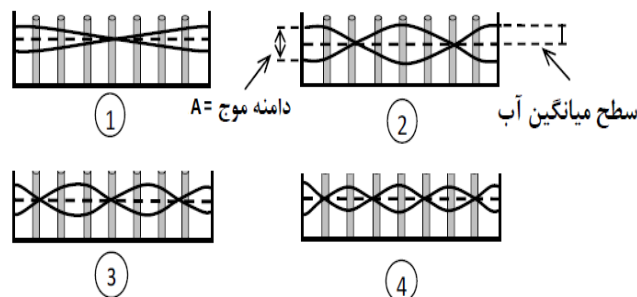
$$\phi_2(S, Re, \frac{T}{D}, \frac{P}{D}, N) = 0 \quad (5)$$

### نتایج و بحث

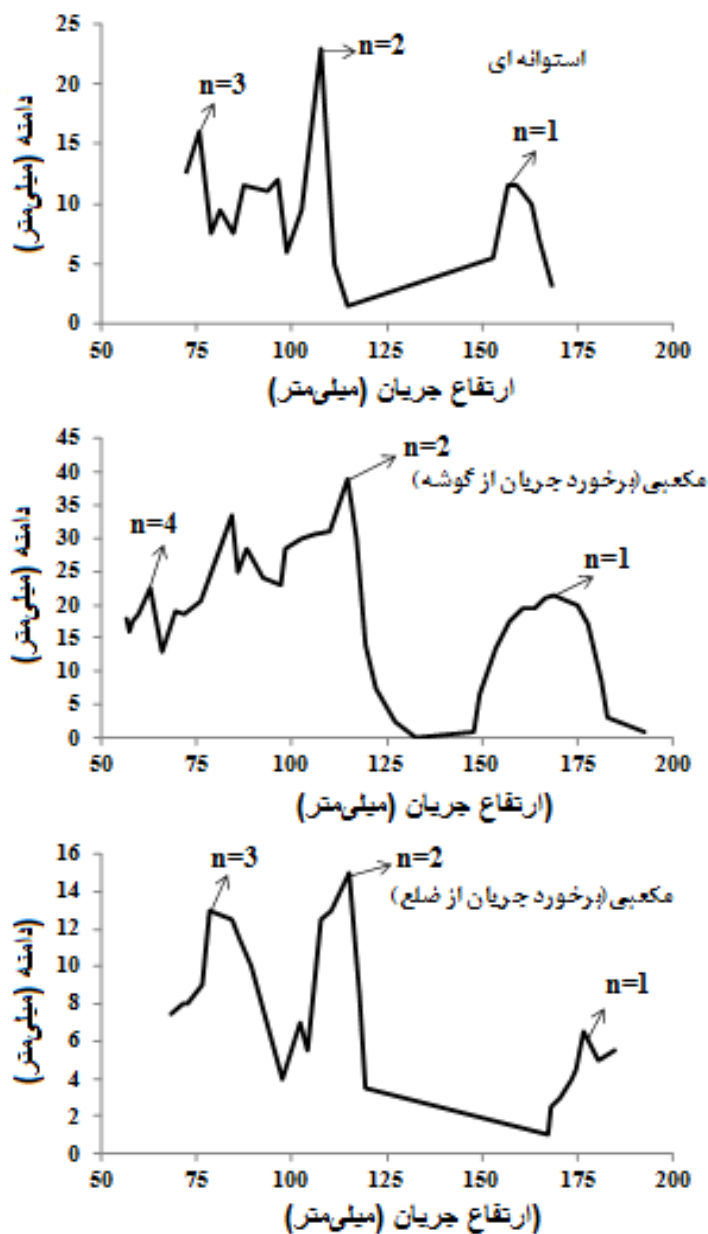
همانطور که عنوان شد هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر شکل موانع بر روی تشکیل امواج عرضی می‌باشد. آزمایش‌ها در شرایط زیر بحرانی و آشفتنه صورت پذیرفت. محدوده اعداد رینولدز و فرود در آزمایش‌ها انجام شده در جدول (۱) ارائه شده است. نوع موج مشاهده شده در فلوم با حرف  $\Pi$  و شماره گذاری آنها از یک تا پنج صورت پذیرفت. در شکل (۴) چند نوع از امواج تشکیل شده در عرض فلوم، نشان داده شده است. در شکل (۵) تغییرات دامنه امواج بر حسب عمق جریان برای مقاطع با شکل‌های مورد نظر ارائه شده است. به دلیل وجود

جدول ۱- محدوده اعداد رینولدز و فرود در انجام آزمایش‌ها

حداکثر	حداقل	
۲۶۴۸۳	۵۶۳۰	عدد رینولدز
۰/۵	۰/۱	عدد فرود



پور محمدی و همکاران: بررسی تاثیر نوع شکل مانع بر روی خصوصیات...



شکل ۵ - تغییرات دامنه امواج بر حسب عمق جریان (دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه و آرایش  $120 \times 120$ )

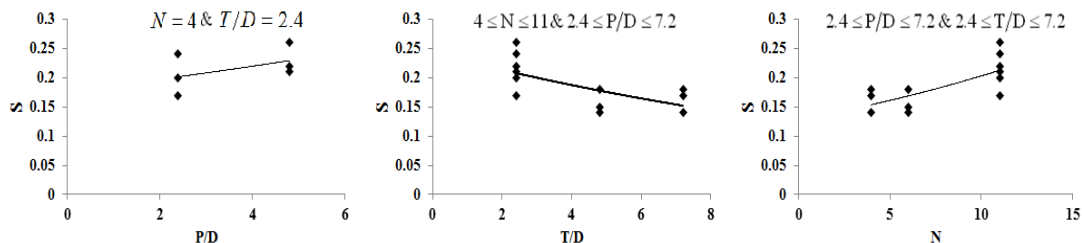
به منظور تعیین عدد استراغال با توجه به رابطه (۱) نیاز به تعیین فرکانس امواج می باشد. روابط و نمودارهایی به منظور تعیین فرکانس امواج ارائه شده که مربوط به گازها می باشند. لذا استفاده از آنها برای سیال آب ممکن است در نتایج خطا ایجاد کند. لذا در تحقیق حاضر فرکانس امواج با در نظر گرفتن تعداد نوسانات در واحد زمان محاسبه گردید. به منظور بررسی تأثیر پارامترهای  $P/D, T/D$  و  $N$  بر روی عدد استراغال، شکل‌های (۶) تا (۸) رسم شد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می شود روند تغییرات عدد استراغال در مقابل تغییرات پارامترهای  $P/D, T/D$  و  $N$  در محدوده‌های مورد نظر، مشابه می باشد. به این صورت که با افزایش  $P/D$  و  $N/D$  عدد استراغال کاهش یافته و با افزایش  $N$  عدد استراغال افزایش می یابد.

به منظور تعیین عدد استراغال با توجه به رابطه (۱) نیاز به تعیین فرکانس امواج می باشد. روابط و نمودارهایی به منظور تعیین فرکانس امواج ارائه شده که مربوط به گازها می باشند. لذا استفاده از آنها برای سیال آب ممکن است در نتایج خطا ایجاد کند. لذا در تحقیق حاضر فرکانس امواج با در نظر گرفتن تعداد نوسانات در واحد زمان محاسبه گردید. به منظور بررسی تأثیر پارامترهای

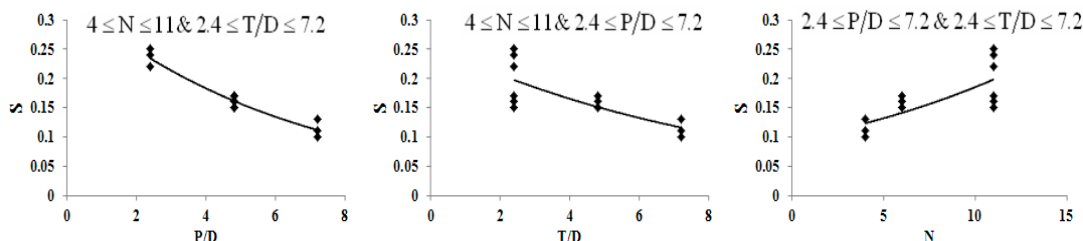
جدول ۲- خلاصه نتایج حاصله از انجام آزمایش ها

شماره	شکل	T( میلی)	D( میلی)	P/D(-)	T/D(-)	لیتر Q	N	A/H(درصد)	n(-)
۱	دایره	۶۰	۶۰	۲/۴	۲/۴	۵	۱۱	۵۵/۵	۴
۲	لوزی	۶۰	۶۰	۲/۴	۲/۴	۵	۱۱	۱۱/۱	۳
۳	مربع	۶۰	۶۰	۲/۴	۲/۴	۵	۱۱	۲۶/۸	۴
۴	دایره	۶۰	۶۰	۲/۴	۲/۴	۱۵	۱۱	۳۷/۵	۵
۵	لوزی	۶۰	۶۰	۲/۴	۲/۴	۱۵	۱۱	۷/۹۳	۲
۶	مربع	۶۰	۶۰	۲/۴	۲/۴	۱۵	۱۱	۸/۲۱	۴
۷	دایره	۶۰	۶۰	۲/۴	۲/۴	۲۵	۱۱	۲۹/۲	۲
۸	لوزی	۶۰	۶۰	۲/۴	۲/۴	۲۵	۱۱	۵/۱۲	۲
۹	مربع	۶۰	۶۰	۲/۴	۲/۴	۲۵	۱۱	۱۲/۹۸	۳
۱۰	دایره	۶۰	۱۲۰	۲/۴	۴/۸	۵	۱۱	۶۱/۱	۱
۱۱	لوزی	۶۰	۱۲۰	۲/۴	۴/۸	۵	۱۱	۳۲/۰۴	۲
۱۲	مربع	۶۰	۱۲۰	۲/۴	۴/۸	۵	۱۱	۱۸	۲
۱۳	دایره	۶۰	۱۲۰	۲/۴	۴/۸	۱۵	۱۱	۲۵/۶	۲
۱۴	لوزی	۶۰	۱۲۰	۲/۴	۴/۸	۱۵	۱۱	۲۴/۷۶	۲
۱۵	مربع	۶۰	۱۲۰	۲/۴	۴/۸	۱۵	۱۱	۱۶/۷۰	۲
۱۶	دایره	۶۰	۱۲۰	۲/۴	۴/۸	۲۵	۱۱	۲۱/۳۴	۲
۱۷	لوزی	۶۰	۱۲۰	۲/۴	۴/۸	۲۵	۱۱	۲۰/۵۸	۲
۱۸	مربع	۶۰	۱۲۰	۲/۴	۴/۸	۲۵	۱۱	۱۳/۶۵	۲
۱۹	دایره	۱۲۰	۱۲۰	۴/۸	۴/۸	۵	۶	۳۰/۶۶	۳
۲۰	لوزی	۱۲۰	۱۲۰	۴/۸	۴/۸	۵	۶	۵۲/۵	۳
۲۱	مربع	۱۲۰	۱۲۰	۴/۸	۴/۸	۵	۶	۱۸/۱۸	۴
۲۲	دایره	۱۲۰	۱۲۰	۴/۸	۴/۸	۱۵	۶	۲۱/۴۰	۲
۲۳	لوزی	۱۲۰	۱۲۰	۴/۸	۴/۸	۱۵	۶	۳۹/۸۰	۳
۲۴	مربع	۱۲۰	۱۲۰	۴/۸	۴/۸	۱۵	۶	۱۶/۶۰	۳
۲۵	دایره	۱۲۰	۱۲۰	۴/۸	۴/۸	۲۵	۶	۲۲	۲
۲۶	لوزی	۱۲۰	۱۲۰	۴/۸	۴/۸	۲۵	۶	۳۵/۶۰	۴
۲۷	مربع	۱۲۰	۱۲۰	۴/۸	۴/۸	۲۵	۶	۹/۷۳	۳
۲۸	دایره	۱۸۰	۱۸۰	۷/۲	۷/۲	۵	۴	۱۳/۶۰	۲
۲۹	لوزی	۱۸۰	۱۸۰	۷/۲	۷/۲	۵	۴	۱۸/۹۰	۴
۳۰	مربع	۱۸۰	۱۸۰	۷/۲	۷/۲	۵	۴	-	-
۳۱	دایره	۱۸۰	۱۸۰	۷/۲	۷/۲	۱۵	۴	۱۸/۲۶	۲
۳۲	لوزی	۱۸۰	۱۸۰	۷/۲	۷/۲	۱۵	۴	۲۰/۸۱	۴
۳۳	مربع	۱۸۰	۱۸۰	۷/۲	۷/۲	۱۵	۴	۴	۲
۳۴	دایره	۱۸۰	۱۸۰	۷/۲	۷/۲	۲۵	۴	۶/۲۰	۳
۳۵	لوزی	۱۸۰	۱۸۰	۷/۲	۷/۲	۲۵	۴	۲۰/۳۰	۴
۳۶	مربع	۱۸۰	۱۸۰	۷/۲	۷/۲	۱۸۰	۴	۶	۳

پور محمدی و همکاران: بررسی تاثیر نوع شکل مانع بر روی خصوصیات...

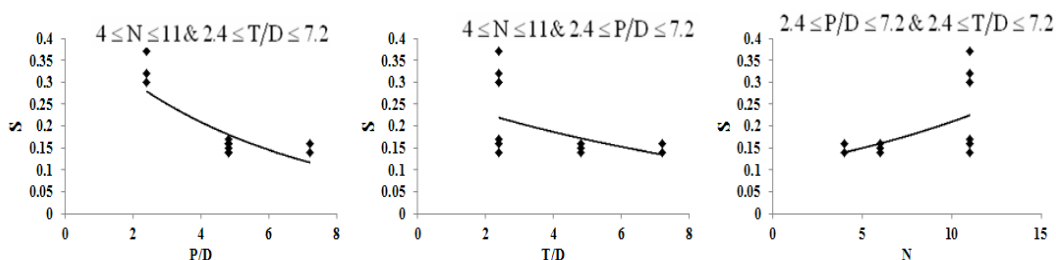


شکل ۶- روند تغییرات عدد استراغال در مقابل تغییرات  $P/D, T/D$  و  $N$  (مانع استوانه ای)



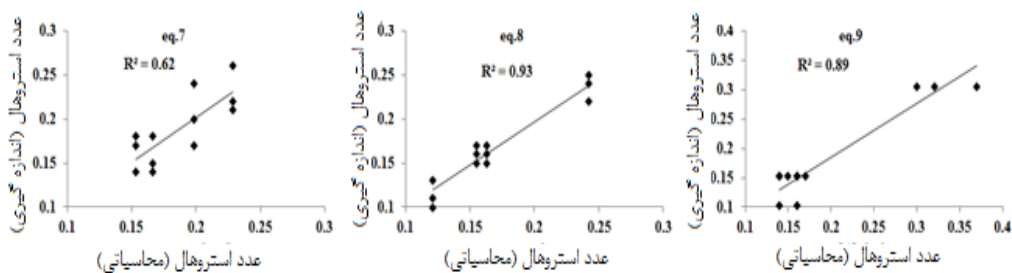
شکل ۷- روند تغییرات عدد استراغال در مقابل تغییرات  $P/D, T/D$  و  $N$

(مانع مکعبی، برخورد جریان به گوشه)



شکل ۸- روند تغییرات عدد استراغال در مقابل تغییرات  $P/D, T/D$  و  $N$

(مانع مکعبی، برخورد جریان به ضلع)



شکل ۹- بررسی دقت روابط پیشنهادی در پیش بینی عدد استراغال

با استفاده از نرم افزار SPSS و اطلاعات موجود اقدام به ثابت‌ها در رابطه (۸) گردید. از ۷۰ درصد از داده‌ها برای استخراج روابط و از ۳۰ درصد باقیمانده برای صحت‌سنجی استفاده گردید. لازم به ذکر است به دلیل تلاطم و زیر بحرانی بودن جریان از اعداد بدون بعد رینولدز و فرود صرف‌نظر گردید. روابط ارائه شده به صورت زیر می‌باشند:

به منظور تعیین رابطه‌ای برای تخمین عدد استراغال، با استفاده از رابطه (۵) می‌توان عدد استراغال را به صورت تابعی از  $N, \frac{P}{D}$  و  $\frac{T}{D}$  به صورت رابطه (۶) بیان نمود:

$$S = \left(\frac{T}{D}\right)^a \left(\frac{P}{D}\right)^b (N)^c \quad (6)$$



$$S = \frac{(P/D)^{0.20}}{N^{0.44}(T/D)^{0.84}} \quad \text{مانع استوانه ای} \quad (7)$$

$$S = \frac{1}{N^{0.27}(P/D)^{0.57}(T/D)^{0.31}} \quad \text{مانع مکعبی (برخورد جریان از گوشه)} \quad (8)$$

$$S = \frac{1}{N^{0.10}(P/D)(T/D)^{0.08}} \quad \text{مانع مکعبی (برخورد جریان از ضلع)} \quad (9)$$

در موانع دایره ای و مکعبی (برخورد جریان به گوشه) و مکعبی (برخورد جریان به ضلع) با سه دبی و چهار آرایش مورد بررسی قرار گرفت. مهمترین نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر می باشد:

شکل موانع تأثیر زیادی بر روی تشکیل امواج عرضی،  $A/H$  و عدد استراغال دارد. بیشترین میزان  $A/H$  مربوط به موانع استوانه ای برای آرایش  $60 \times 120$  در دبی پنج لیتر بر ثانیه و به میزان  $61/10$  درصد و کمترین میزان  $A/H$  مربوط به موانع مکعبی برای برخورد جریان از ناحیه ضلع در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و به میزان شش درصد حاصل شد.

همچنین با استفاده از اطلاعات موجود و استخراج روابط تجربی بر مبنای این اطلاعات مشخص گردید عدد استراغال با پارامتر  $P/D$  در موانع استوانه ای نسبت مستقیم و در دو حالت موانع مکعبی مورد بررسی در این تحقیق نسبت عکس دارد.

محدوده اعتبار روابط فوق به صورت

$$(4 \leq N \leq 11 \text{ و } 2.4 \leq P/D \leq 7.2 \text{ و } 2.4 \leq T/D \leq 7.2)$$

می باشد. با توجه به روابط فوق مشاهده می شود پارامترهای  $N$  و  $T/D$  در ایجاد فرکانس برای موانع استوانه ای با توان های بیشتر و برای موانع مکعبی در برخورد جریان به ضلع با توان های کمتری می باشند.

به منظور بررسی میزان دقت روابط (۷) تا (۹) شکل (۹) ترسیم گردید. با توجه به این شکل مشاهده می شود که این روابط دقت قابل قبولی در پیش بینی عدد استراغال برای موانع با شکل های موردنظر را دارا می باشند.

### نتیجه گیری

همان طور که عنوان شد هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر شکل موانع بر روی خصوصیات امواج عرضی و ارائه روابطی به منظور تعیین فرکانس امواج حاصل از پدیده ارتعاش ناشی از گردابه، در مجاری روباز می باشد. برای این منظور امواج عرضی

### منابع

- ۱- جعفری، ا.، ۱۳۸۹. بررسی امواج عمود بر جریان ناشی از کشش گردابه پشت موانع با قطرها و دبی های مختلف در کانالهای روباز با استفاده از مدل فیزیکی "پایان نامه دکتری، رشته سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- 2- Blevins, R. D., and M. M. Bressler.,1993. "Experiments on acoustic resonance in heat exchanger tube bundles." Journal of Sound and Vibration 164(3). 503-533.
- 3- Blevins, R. D. 1977. Flow-induced vibration. New York, Van Nostrand Reinhold Co., 377 pp.
- 4- Carmo, B. S., Sherwin, S. J., Bearman, P. W., & Willden, R. H. J. (2011). Flow-induced vibration of a circular cylinder subjected to wake interference at low Reynolds number. Journal of Fluids and Structures, 27(4):503-522.
- 5- Crasse, 1939. about a phenomenon of oscillation of water causes Plan Part 1 of Ecolement Around Obstacles shaped Batteries Bridge, Coptic records of meetings of the Academic of Sciences, 209, in French.
- 6- Fitz-Hugh, J. S. 1973. Flow induced vibration in heat exchangers. Atomic Energy Research Establishment.

- 7- Falvey, H. T. 1980. Bureau of reclamation experience with flow-induced vibrations. Practical Experiences with Flow-induced Vibrations (ed. E. Naudascher & D. Rockwell). Springer.
- 8- Ghomeshi, M., Mortazavi-Dorcheh, S. A., & Falconer, R. 2007. Amplitude of wave formation by vortex shedding in open channels. *Journal of Applied Sciences*, 7: 3927-3934.
- 9- Jafari, A., Ghomeshi, M., Bina, M., & Kashefipour, S. M. 2010. Experimental study on ten modes of transverse waves due to vertical cylinders in open channels. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2): 949-955.
- 10- Kiu, K. Y., Stappenbelt, B., & Thiagarajan, K. P. 2011. Effects of uniform surface roughness on vortex-induced vibration of towed vertical cylinders. *Journal of Sound and Vibration*, 330(20): 4753-4763.
- 11- Lienhard, J. H. 1966. Synopsis of lift, drag, and vortex frequency data for rigid circular cylinders. Technical Extension Service, Washington State University.
- 12- Lee, J. H., & Bernitsas, M. M. 2011. High-damping, high-Reynolds VIV tests for energy harnessing using the VIVACE converter. *Ocean Engineering*, 38(16): 1697-1712.
- 13- Sahu, A. K., Chhabra, R. P., & Eswaran, V. 2009. Two-dimensional unsteady laminar flow of a power law fluid across a square cylinder. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 160(2): 157-167.
- 14- Schuster, J. C., 1967, Canal Capacity Studies, Wave Formation by Bridge Piers, Hydraulics Branch Rep., HYD- 485 , U.S. Bureau of Reclamation.
- 15- White, F. M. McGraw-Hill, New York, 1979.
- 16- Zima, L., & Ackermann, N. L. 2002. Wave generation in open channels by vortex shedding from channel obstructions. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(6): 596-603.
- 17- Zhukauskas, A., Ulinskas, R., Katinas, V. and Karni, J., 1988. Fluid dynamics and flow-induced vibrations of tube banks. Hemisphere, New York.