

تشکیل امواج عمود بر جریان ناشی از موانع استوانه‌ای در مسیر مجاری روباز

رضا عزیزی^۱، مهدی قمشی^{۲*}

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

۲- استاد هیدرولیک، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

* اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز

m.ghomeshi@yahoo.com

چکیده- امواج عمود بر جریان در نتیجه همپوشانی گردابه‌های ناشی از عبور سیالات از پیرامون موانع موجود در مسیر جریان ایجاد می‌شوند. امتداد انتشار امواج، عمود بر جهت جریان سیال است. این امواج از نوع امواج نوسانی ایستا است. در مجاری طبیعی وجود پایه‌های پل و سیلاب دشتهایی با پوشش درختی می‌تواند موجب تشکیل امواج عمود بر جریان شود. در این تحقیق تشکیل امواج عمود بر جریان در فلوم آزمایشگاهی مطالعه شده است. از استوانه‌های چوبی به عنوان موانع در مسیر جریان استفاده شده است. پس از برقراری جریان، در حالتی که موانع استوانه‌ای مستغرق هستند، هیچ نوسانی در سطح جریان مشاهده نمی‌شود. با کاهش تدریجی عمق جریان، چهار نوع موج سطحی در امتداد عرض فلوم آزمایشگاهی تشکیل می‌شود. در این تحقیق تشکیل امواج در آرایش‌های مختلف موانع مقایسه شده است. نتایج این بررسی نسبت دامنه امواج با عمق متوسط جریان را مشخص می‌سازد. حداکثر دامنه موج مشاهده شده برابر با ۴۳ درصد عمق متوسط جریان است.

کلید واژگان: گردابه، موج عمود بر جریان، نوسان جریان، دامنه موج، مجاری طبیعی.

۱- مقدمه

در جریان مجاری روباز امواج سطحی مختلفی تشکیل می‌شود. جریانهای جزر و مدی^۱، امواج ناگهانی^۲ مثبت و منفی و موج سیل^۳ از جمله این موارد است. در تمامی موارد مذکور جهت انتشار امواج، موازی با جهت جریان

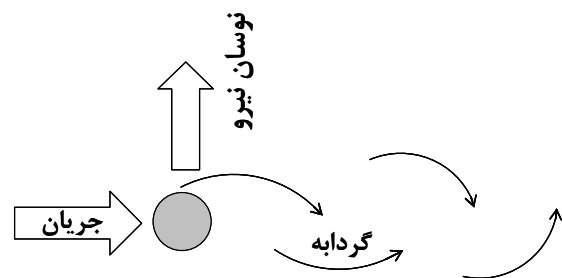
است. در امواج عمود بر جریان جهت انتشار در امتداد عرض آبراهه (عمود بر جهت جریان) است. در جریانهای داخلی و خارجی سیالات، هنگامی که جسم جامدی در مسیر جریان سیال قرار می‌گیرد، سرعت سیال در روی مرزهای آن برابر صفر می‌شود؛ در نتیجه در مجاورت مرز جسم گرادیان سرعت بزرگی به وجود می‌آید و لایه مرزی شکل می‌گیرد. با رشد لایه مرزی و پس از طی

1. Estuary Flow
2. Surge
3. Flood Wave

همچنین به این نکته پی برد که اگر فرکانس صدای تولید شده با فرکانس طبیعی سیم برابر شود، صدای تولید شده به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. تحقیقات مشابه دیگری توسط (Fitz-Hugh (1973, Blevins (1977, Weaver et al. (1986, Zukauskas et al. (1988, Ziada et al. (1989, Hamakawa et al. (2006 انجام شده است. بیشتر تحقیقات به مسائل جریان گازها در مبدل‌های حرارتی^۵ مربوط می‌شود.

در مقابل، تحقیقاتی که به تشکیل گردابه و پدیده‌های مرتبط با آن در محیط آب پرداخته باشد، بسیار کم است. Crasse (1939) یافته‌های خود را در زمینه امواج تولید شده در کانال‌های باز منتشر کرده است که احتمالاً اولین تحقیق در این زمینه است. (Schuster (1967 نوسانهای ایجاد شده توسط پایه‌های پل را بررسی کرده است. Falvey (1980 تولید موج توسط پایه‌های پل را در کانال دوزنقه‌ای بررسی کرده است. همچنین Rohde et al. (1980 نوسانهای ناشی از موانع غیر استوانه‌ای را در کانال مطالعه و عدد استروهال^۶ مربوط به این حالت خاص را تعیین کرده‌اند. در تحقیق دیگری Zima and Ackermann (2002 با استفاده از دو فلوم با عرض‌های ۰/۱۵ و ۰/۴۵ متر و به ترتیب با استفاده از دو سری میله چوبی با قطرهای ۰/۱۲۷ و ۰/۲۵۴ متر، رابطه‌ای را برای شبیه‌سازی مقادیر بیشتر دامنه امواج به صورت بدون بعد (A/h) پیشنهاد کرده است. در تحقیق جدیدی تشکیل امواج عمود بر جریان در کانالهای باز توسط Ghomeshi et al. (2007 بررسی شده و روابط جدیدی برای محاسبه دامنه بدون بعد امواج و نیز رابطه جدیدی برای محاسبه عدد استروهال در حالتی که سیال مورد نظر آب باشد پیشنهاد شده است.

مسافتی که لایه مرزی به سکون می‌رسد، جدایی^۱ خطوط جریان رخ می‌دهد (انتظاری، ۱۳۸۱). در پایین‌دست خطوط جریانی که از مرز جدا می‌شوند (ناحیه دنباله^۲) گردابه^۳ تشکیل می‌شود. در شکل ۱ طرحواره‌ای از تشکیل گردابه در یک سمت مانع استوانه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۱ نمای شماتیک تشکیل گردابه در یک سمت مانع استوانه‌ای

در جریان مجاری روباز موارد زیادی وجود دارد که جریان باید از مجموعه‌ای از موانع استوانه‌ای موجود در مسیر عبور کند. این موانع ممکن است پایه‌های پل، پایه‌های اسکله یا پوشش گیاهی درختی در حریم سیل‌گیر رودخانه‌ها باشند. با عبور سیال از اطراف موانع مسیر جریان، گردابه و لایه‌های برشی^۴ شکل می‌گیرد. تشکیل گردابه، بسته به مشخصات مجرا و شرایط هیدرولیکی جریان سبب تشکیل امواج عمود بر جریان می‌شود.

اولین یافته‌ها و تحقیقات در زمینه گردابه‌های حاصل از عبور سیالات از پیرامون موانع مسیر جریان، به گازها مربوط می‌شود. (Strouhal (1878 دریافت که صداهای تولید شده از سیم‌هایی که در معرض وزش باد قرار دارند، با نسبت سرعت باد به قطر سیم متناسب است. او

1. Separation
2. Wake
3. Vortex
4. Shear Layers

5. Heat Exchanger
6. Strouhal Number

ورق‌های پلکسی گلاس^۴ با ضخامت ۰/۰۱ متر پوشانده شد. ورق‌های پلکسی گلاس به صورت شبکه‌ای، در دو جهت طولی و عرضی با فواصل ۰/۰۳ متر رزوه شد به گونه‌ای که امکان نصب موانع استوانه‌ای در دو آرایش موازی^۵ و زیگزاگی^۶ و با فواصل طولی (P) و عرضی (T) مختلف وجود داشت. T فاصله بین موانع متوالی در یک ردیف و P فاصله ردیفها از یکدیگر در امتداد جریان است. در شکل ۲ چهار نمونه از نحوه نصب و آرایش موانع در فلوم آزمایشگاهی نشان داده شده است.

در این تحقیق ۲۲ آزمایش با فواصل طولی و عرضی مختلف (تراکم‌های مختلف) در دو آرایش موازی و زیگزاگی انجام شده است. با توجه به قطر موانع و ابعاد شبکه‌بندی کف فلوم، آرایش و فواصل موانع طوری انتخاب شد که محدوده مناسبی از تراکم موانع موجود باشد. در جدول ۱ مشخصات کلی آزمایشهای انجام شده در این تحقیق ارائه شده است. در ستون ۱ از جدول ۱ شماره آزمایشها مشخص شده است. در ستونهای ۲ و ۳ مقادیر T و P برحسب متر مشخص شده است. ستون ۴ آرایش موانع را مشخص می‌کند. در ستونهای ۵ و ۶ به ترتیب عرض فلوم آزمایشگاهی و دبی جریان مشخص شده است. در ستون ۷ تراکم موانع (N) در هر آزمایش مشخص شده است. تراکم موانع بصورت میانگین تعداد موانع در دو ردیف متوالی تعریف شده است. در ستونهای ۸ و ۹ مقدار دو پارامتر بدون بعد T/D و P/D محاسبه شده است. D قطر موانع استوانه‌ای است. در ستون ۱۰ مقادیر بیشتر نسبت بدون بعد دامنه امواج به عمق متوسط جریان (A/h) آورده شده است (در مورد این ستون در قسمت تجزیه و تحلیل نتایج توضیح داده شده است).

امواج عمود بر جریان در نتیجه همپوشانی گردابه‌های ناشی از جدایی خطوط جریان و نیروهای متقابل ایجاد شده، در امتداد عرضی مجرای جریان تشکیل می‌شوند و در مجاری با بستر فرسایشی، در انتقال رسوبها و تشکیل شکل بستر^۱ موثر خواهند بود. با توجه به اینکه پدیده امواج عمود بر جریان در مجاری روباز کمتر مطالعه شده، تحقیق حاضر با هدف بررسی امواج عمود بر جریان در مجاری روباز و شناخت خصوصیات این امواج انجام شده است.

۲- مواد و روشها

در این تحقیق از فلوم آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی به طول ۶ متر، عرض ۰/۷۲ متر و ارتفاع ۰/۶ متر استفاده شده است. شیب فلوم در طول آزمایشها ثابت و برابر ۰/۰۰۵ بود. دبی جریان در طول آزمایشها ثابت و برابر ۰/۰۱ متر مکعب در ثانیه تنظیم شد. دبی به وسیله جریان‌سنج مغناطیسی^۲ که در ورودی فلوم نصب شده، اندازه‌گیری و تنظیم می‌شد. جریان پس از عبور از مخزن آرام کننده به فلوم آزمایشگاهی وارد می‌شد. کنترل عمق (و سرعت) جریان توسط سرریز کشویی^۳ (سرریز با ارتفاع قابل تنظیم) در انتهای فلوم انجام می‌شد. در هر آزمایش ارتفاع سرریز کشویی از مقدار حداکثر (متناسب با عمق جریانی که امواج عمود بر جریان شکل می‌گیرند) تا ارتفاع صفر با گام‌های ۰/۰۰۵ متر تغییر می‌کرد.

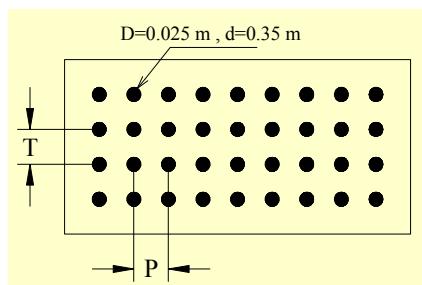
در این تحقیق در هر آزمایش به طور متوسط از ۲۵۰ عدد استوانه چوبی به عنوان موانع مسیر جریان در فلوم آزمایشگاهی استفاده شد. قطر موانع در طول آزمایشها ثابت و برابر ۰/۰۲۵ متر بود. کل کف فلوم با استفاده از

4. Plexiglass
5. In-Line
6. Staggered

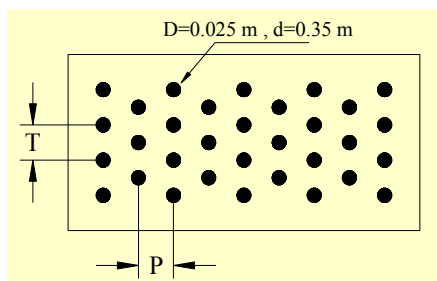
1. Bed Form
2. Magnetic Flowmeter
3. Weir Gate



شکل ۲ چهار نمونه از نحوه نصب و آرایش موانع در فلوم آزمایشگاه



(الف)



(ب)

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

در ستون ۱۱ حداکثر مقدار عدد فرود جریان و در ستون ۱۲ حداکثر مقدار عدد رینولدز موانع در هر آزمایش آورده شده است.

در شکل ۳ مشخصات آرایش موانع در فلوم آزمایشگاهی ارائه شده است.

با توجه به اینکه فاصله بین نقاط رزوه شده بر روی صفحات پلکسی گلاس در کف فلوم آزمایشگاهی برابر ۰/۰۳ متر است، تمام فواصل T و P مضربی از ۰/۰۳ متر خواهند بود. بنابراین در هر آزمایش طول ناحیه مانع‌گذاری با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$L = (N_r - 1) \cdot (P) \quad (1)$$

در رابطه بالا L طول ناحیه مانع گذاری، N_r تعداد ردیف موانع و P فاصله ردیفهای موانع است. در هر آزمایش با توجه به طول ناحیه مانع گذاری، موانع در قسمت میانی فلوم نصب شد. اندازه گیری ها در سه مقطع در طول ناحیه مانع گذاری شده انجام گرفت. در هر آزمایش برای ارتفاع مشخص سرریز کشویی پایین دست، در سه مقطع در طول ناحیه مانع گذاری شده حداکثر جابه جایی موج روی دیوار

فلوم به صورت حداکثر و حداقل عمق جریان روی دیوار فلوم (دو برابر دامنه موج، A) اندازه گیری شد. اندازه گیری جابه جایی امواج (تغییرات عمق جریان) با استفاده از خط کشهایی که بر روی دیوار فلوم نصب شده بود صورت گرفت. همچنین در هر حالت نوع موج مشاهده شده ثبت شد. یادآوری می شود که دبی جریان و شیب فلوم در طول آزمایشها ثابت بود.

جدول ۱ مشخصات کلی آزمایشهای انجام شده در این تحقیق

(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)	(۱۰)	(۱۱)	(۱۲)
شماره آزمایش	T (m)	P (m)	آرایش موانع	b (m)	Q (m ³ /s)	N ...	T/D ...	P/D ...	A/h (%)	Fr _{max} ...	Re _{max} ...
۱	۰/۰۹	۰/۱۲	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۸/۰	۳/۶	۴/۸	۳۱/۰	۰/۳	۵۶۸۴
۲	۰/۰۹	۰/۲۴	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۸/۰	۳/۶	۹/۶	۱۸/۰	۰/۴	۶۶۱۰
۳	۰/۰۹	۰/۳۶	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۸/۰	۳/۶	۱۴/۴	۱۴/۰	۰/۴	۷۴۱۶
۴	۰/۱۸	۰/۱۲	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۴/۰	۷/۲	۴/۸	۱۸/۰	۰/۵	۷۵۷۹
۵	۰/۱۸	۰/۲۴	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۴/۰	۷/۲	۹/۶	۸/۳	۰/۵	۸۲۱۰
۶	۰/۱۸	۰/۳۶	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۴/۰	۷/۲	۱۴/۴	۳/۰	۰/۶	۹۲۷۸
۷	۰/۲۷	۰/۱۲	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۳/۰	۱۰/۸	۴/۸	۷/۲	۰/۵	۸۲۱۰
۸	۰/۲۷	۰/۲۴	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۳/۰	۱۰/۸	۹/۶	۳/۰	۰/۶	۹۲۷۸
۹	۰/۲۷	۰/۳۶	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۳/۰	۱۰/۸	۱۴/۴	بدون موج	...	...
۱۰	۰/۰۶	۰/۱۲	زیگزاگی	۰/۷۲	۰/۰۱	۱۰/۵	۲/۴	۴/۸	۲۱/۰	۰/۳	۵۴۵۲
۱۱	۰/۰۶	۰/۲۴	زیگزاگی	۰/۷۲	۰/۰۱	۱۰/۵	۲/۴	۹/۶	۲۱/۰	۰/۴	۶۳۸۶
۱۲	۰/۰۶	۰/۳۶	زیگزاگی	۰/۷۲	۰/۰۱	۱۰/۵	۲/۴	۱۴/۴	۱۲/۰	۰/۴	۶۸۹۷
۱۳	۰/۰۶	۰/۰۶	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۱۱/۰	۲/۴	۲/۴	۴۳/۰	۰/۳	۶۰۲۳
۱۴	۰/۱۲	۰/۱۲	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۶/۰	۴/۸	۴/۸	۴۰/۰	۰/۳	۵۵۳۲
۱۵	۰/۰۹	۰/۰۹	زیگزاگی	۰/۷۲	۰/۰۱	۷/۵	۳/۶	۳/۶	۲۸/۰	۰/۲	۴۹۹۸
۱۶	۰/۰۹	۰/۰۶	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۷/۰	۳/۶	۲/۴	۳۴/۰	۰/۳	۶۱۵۸
۱۷	۰/۰۹	۰/۰۳	زیگزاگی	۰/۷۲	۰/۰۱	۷/۵	۳/۶	۱/۲	۲۰/۰	۰/۳	۵۵۸۴
۱۸	۰/۱۲	۰/۰۶	زیگزاگی	۰/۷۲	۰/۰۱	۵/۵	۴/۸	۲/۴	۲۳/۰	۰/۳	۵۱۶۰
۱۹	۰/۰۳	۰/۰۳	زیگزاگی	۰/۷۲	۰/۰۱	۲۲/۵	۱/۲	۱/۲	بدون موج	...	...
۲۰	۰/۰۳	۰/۰۶	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۲۳/۰	۱/۲	۲/۴	بدون موج	...	...
۲۱	۰/۰۳	۰/۰۹	زیگزاگی	۰/۷۲	۰/۰۱	۲۲/۵	۱/۲	۳/۶	بدون موج	...	...
۲۲	۰/۰۳	۰/۱۲	موازی	۰/۷۲	۰/۰۱	۲۳/۰	۱/۲	۴/۸	بدون موج	...	...

۳- مشاهدات

در فلوم آزمایشگاهی در حالتی که موانع مستغرق هستند، هیچ موجی تشکیل نمی‌شود. با کاهش تدریجی عمق جریان (با کاهش ارتفاع سرریز کشویی پایین‌دست با گام‌های ۰/۰۵ متر در هر مرحله) موج $n=1$ با دامنه کم شروع به نوسان می‌کند. با کاهش بیشتر عمق جریان دامنه موج $n=1$ بیشتر می‌شود تا اینکه به دامنه حداکثر، در حالت تشدید می‌رسد. با کاهش مجدد عمق جریان، دامنه موج روند نزولی را طی می‌کند تا اینکه موج $n=1$ به‌طور کامل محو می‌شود و نوسان سطح آب صفر می‌شود. با کاهش بیشتر عمق جریان به تدریج موج $n=2$ تشکیل می‌شود. در این موج هم پس از رسیدن به یک دامنه حداکثر، نوسان در کاهش‌های بعدی عمق جریان از بین می‌رود. موج‌های $n=3$ و $n=4$ نیز با همین روند شکل می‌گیرند (Ghomeshi et al., 2007). در شرایط هیدرولیکی خاص ممکن است پس از موج $n=3$ مجدداً موج $n=2$ مشاهده شود. در تحقیق حاضر این حالت در آزمایش شماره ۱۰ مشاهده شد. امواج عمود بر جریان از نوع امواج نوسانی^۲ ایستا^۳ هستند که توسط دیوارهای قائم فلوم آزمایشگاهی به‌طور کامل بازتاب می‌شوند. در شکل ۴ طرحواره تشکیل امواج در مقطع عرضی فلوم آزمایشگاهی نشان داده شده است.

در ۲۲ آزمایش انجام شده در این تحقیق، در آزمایش شماره ۹ به دلیل تراکم کم موانع و عدم همپوشانی گردابه‌های ناشی از جدایی خطوط جریان و در آزمایش‌های شماره ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲ به دلیل تراکم زیاد موانع و افت انرژی زیاد، موجی تشکیل نشد. مشخصات آرایش موانع در این پنج حالت در جدول ۱ ارائه شده است.

امواج بر اساس معیارهای متفاوتی تقسیم‌بندی می‌شوند. در تقسیم‌بندی موجها بر اساس تأثیری که بر نحوه جابه‌جایی و تغییر شکل ذرات محیط دارند و بر اساس اینکه موجب انتقال جرم می‌شوند یا نه، دسته‌بندی می‌شوند. امواج عمود بر جریان در مجاری روباز که در این تحقیق بررسی شده امواج عرضی هستند که در راستای عمود بر جهت جریان منتشر می‌شوند و موجب انتقال جرم نمی‌شوند.

موجها به‌وسیله تعاریفی مانند دامنه موج، طول موج و فرکانس از یکدیگر تفکیک می‌شوند. در امواج عمود بر جریان، در حالت حداکثر دامنه امواج (تشدید^۱ امواج)، طول موج امواج رابطه‌ای مستقیم با عرض فلوم آزمایشگاهی دارد (Zima and Achermann, 2002). بر اساس این رابطه چهار نوع موج تشخیص داده می‌شود. این چهار نوع موج با حرف n و شماره‌های ۱ تا ۴ نامگذاری می‌شوند (جدول ۲).

در ستون ۱ جدول ۲ نوع امواج مشخص شده است. در ستون ۲ رابطه طول موج امواج با عرض فلوم آزمایشگاهی و در ستون ۳ عرض فلوم آزمایشگاهی مشخص شده است. در ستون ۴ طول موج امواج سطحی عمود بر جریان محاسبه شده است.

جدول ۲ رابطه طول موج با عرض فلوم

در امواج در حالت تشدید

(۴)	(۳)	(۲)	(۱)
λ_n (m)	b (m)	رابطه (λ) با (b)	نوع موج (n)
۱/۴۴	۰/۷۲	$\lambda = (2/0) b$	۱
۰/۷۲	۰/۷۲	$\lambda = (1/0) b$	۲
۰/۴۸	۰/۷۲	$\lambda = (0/67) b$	۳
۰/۳۶	۰/۷۲	$\lambda = (0/5) b$	۴

1. Oscillatory
2. Standing

1. Resonance

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

بر اساس مطالعات Lienhard (1966) گردابه‌های پایین‌دست موانع زمانی به وجود می‌آیند که عدد رینولدز موانع (Re) در یکی از دو محدوده زیر قرار داشته باشد.

$$40 < Re < 3 \times 10^5, \quad Re > 3.5 \times 10^6 \quad (2)$$

عدد رینولدز موانع به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Re = \frac{D \cdot U}{\nu} \quad (3)$$

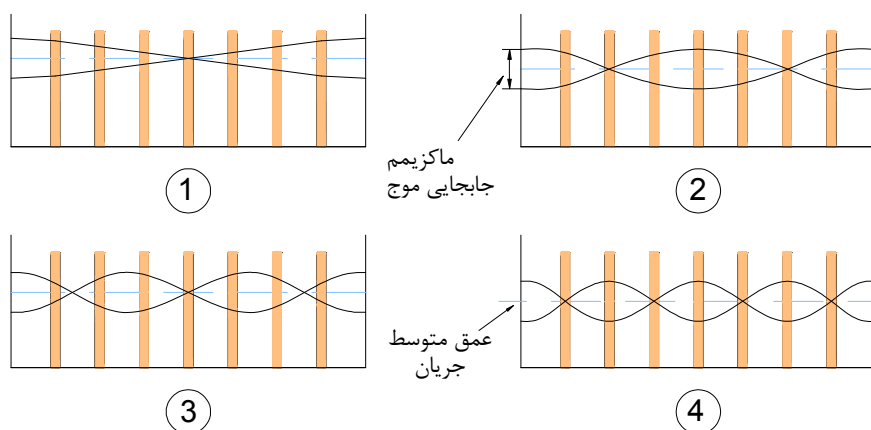
در رابطه بالا D قطر مانع استوانه‌ای، U سرعت متوسط جریان و ν لزجت سینماتیکی سیال است.

در ۲۲ آزمایش انجام شده در این تحقیق حداکثر و حداقل عدد رینولدز موانع به ترتیب برابر ۹۲۷۸ و ۱۹۴ محاسبه شد. همچنین رژیم جریان در طول آزمایشها زیر بحرانی بود (حداکثر عدد فرود جریان ۰/۶ محاسبه شد). برای نشان دادن حداکثر دامنه امواج و نوع امواج، نمودار دامنه امواج در مقابل عمق جریان (نمودار A-h) ترسیم شد.

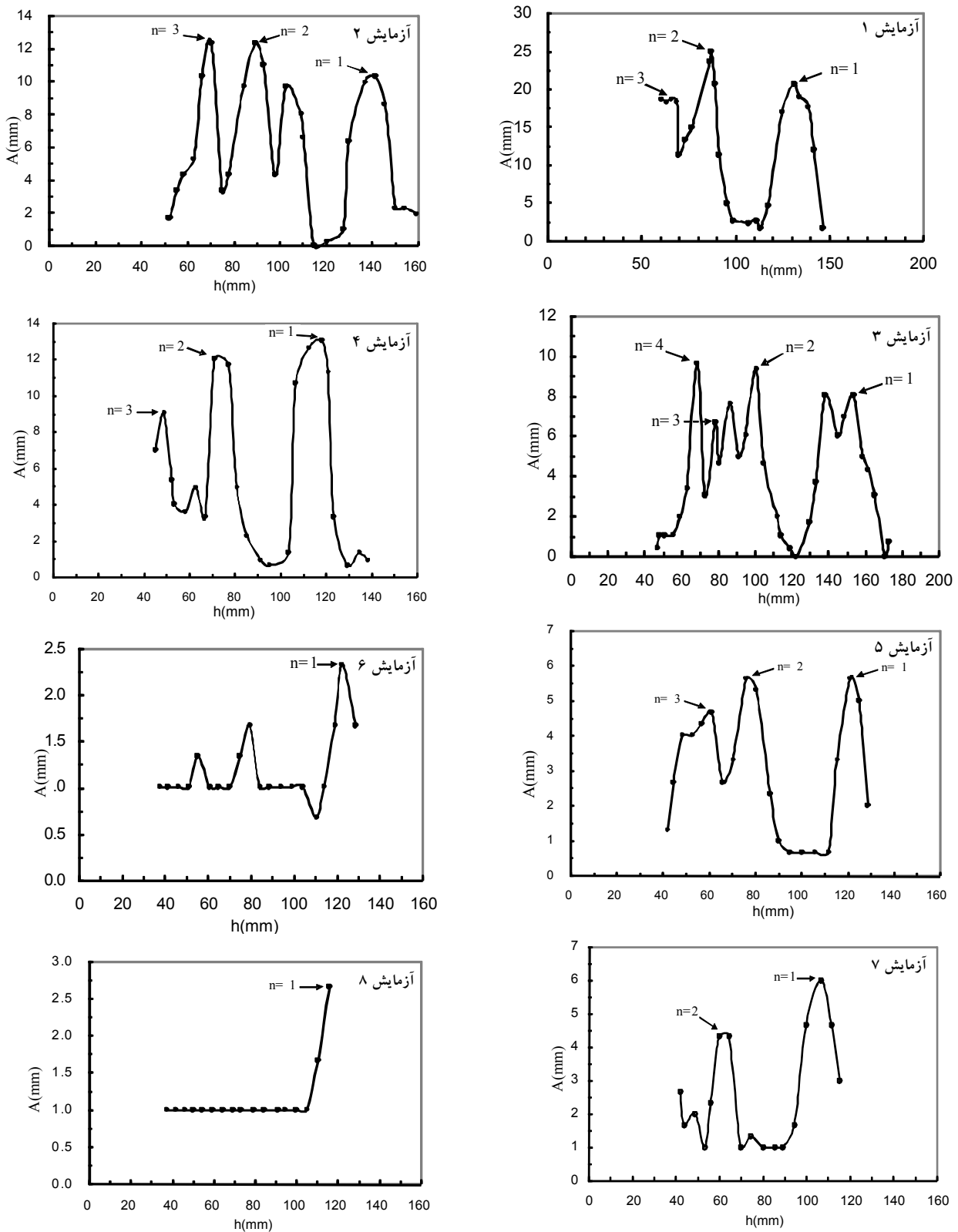
در شکل (۵) نمودارهای A-h مربوط به ۱۷ آزمایش، به استثنای ۵ آزمایشی که در آنها موجی تشکیل نمی‌شود، ارائه شده است.

به منظور تعیین بیشترین دامنه موج مشاهده شده در هر آزمایش، مقادیر نسبت بدون بعد دامنه امواج به عمق جریان (A/h) در مقابل عمق جریان (h) ترسیم شد. نمودار مربوط به بزرگترین دامنه مشاهده شده در تحقیق حاضر در شکل ۶ ارائه شده است. با توجه به شکل ۶ حداکثر دامنه مشاهده شده در طول آزمایشها ۴۳ درصد عمق متوسط جریان بود. این نسبت حداکثر در آزمایش شماره ۱۳ به دست آمده است. بیشترین مقدار نسبت A/h به دست آمده در سایر آزمایشها نیز به صورت خلاصه در ستون ۱۰ جدول ۱ ارائه شده است.

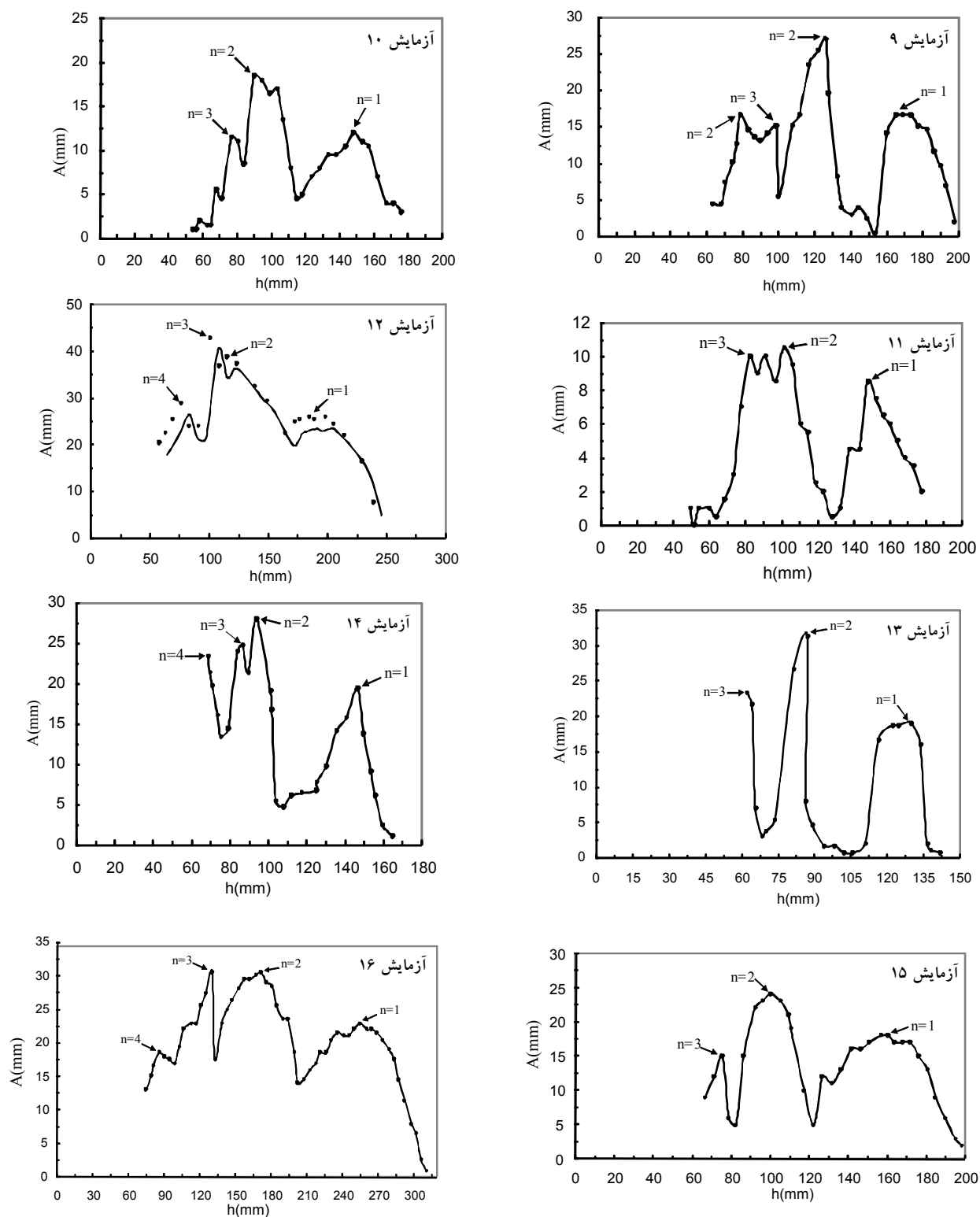
در تحقیقات Zima and Ackermann (2002) بزرگترین دامنه مشاهده شده امواج ۳۵ درصد عمق متوسط جریان تعیین شده است. همچنین در مشاهدات Ghomesi et al. (2007) حداکثر دامنه امواج ۴۰ درصد عمق متوسط جریان گزارش شده است.

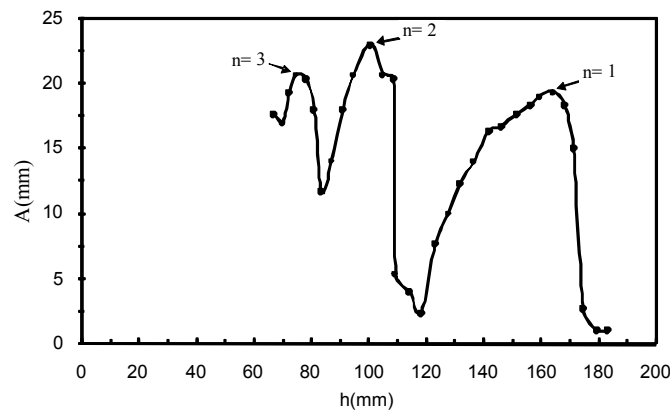


شکل ۴ انواع امواج عمود بر جریان در مجاری روباز

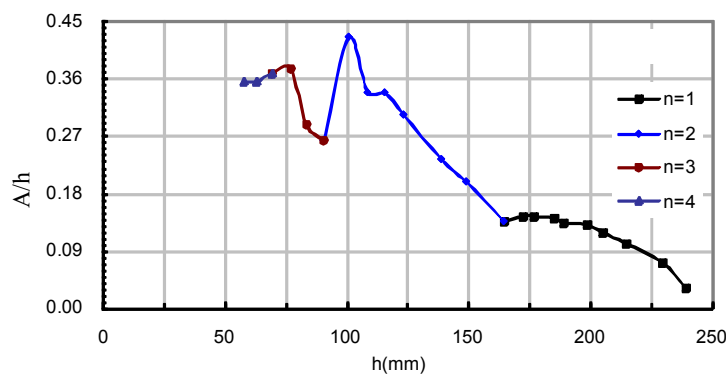


شکل ۵ نمودارهای دامنه امواج (A) در مقابل عمق جریان (h)


 شکل ۵ ادامه نمودارهای دامنه امواج (A) در مقابل عمق جریان (h)



شکل ۵ ادامه نمودارهای دامنه امواج (A) در مقابل عمق جریان (h)



شکل ۶ نمودار دامنه بدون بعد (A/h) در مقابل عمق متوسط جریان (h)

۵- نتیجه گیری

موارد بسیار زیادی از جریان سیالات وجود دارد که سیال باید از مجموعه ای از موانع، که به صورت عمود بر مسیر جریان سیال قرار گرفته اند عبور کند. در این شرایط در اثر هم پوشانی گردابه های ناشی از جدایی خطوط جریان، امواج عمود بر جریان تشکیل می شود. امواج عمود بر جریان از نوع امواج نوسانی ایستا و عرضی هستند که توسط دیوارهای قائم فلوم آزمایشگاهی بطور کامل بازتاب می شوند. در مجاری روباز با توجه به شرایط هیدرولیکی جریان، چهار نوع موج عمود بر جریان مشاهده می شود. طول موج این امواج در حالت تشدید رابطه ای مستقیم با عرض مجرا دارد. در تراکم های بسیار

خیلی کم (به دلیل ناهم پوشانی گردابه های ناشی از موانع) و در تراکم های زیاد (به دلیل افت زیاد انرژی) امواج عمود بر جریان تشکیل نمی شود. با رسم نمودارهای A/h (نسبت بیشتر جابه جایی موج به عمق متوسط جریان) در مقابل عمق متوسط جریان (h) مشخص شد که حداکثر دامنه موج مشاهده شده در طول آزمایشها ۴۳ درصد عمق متوسط جریان است.

۶- فهرست علائم

A	دامنه امواج
b	عرض فلوم آزمایشگاهی
D	قطر موانع استوانه ای

Fitz-Hugh, J. S. (1973). "Flow induced vibration in heat exchangers", Proc. UKAEA/NPL international symposium on vibration problems in industry, Kkeswick, England, Paper 427, pp. 1-17.

Ghomeshi, M., Mortazavi-Dorcheh, S.A., and Falconer, R. (2007). "Wave Formation by vortex shedding in open channel", Cardiff Univ., Cardiff, UK.

Hamacawa, H., Fukano, T., Nishida, E., and Ishida, H. (2006). "effect of flow induced acoustic resonance on vortex shedding from staggered tube banks", JSME International Journal, Series B, Vol. 49, No. 1.

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

Rohde, F. G., Rouve, G., and Pasche, E. (1980). "Self-Excited osillatory surface waves around cylinders". Practical experiences with flow induced vibrations, E. Naudascher and Rockwell, eds., Springer, New York.

Schuster, J. C. (1976). "Canal capacity studies, wave formation by bridge piers". Hydraulics Branch Rep., HYD-485, U.S. Bureau of Reclamation.

Strouhal, V. (1878). "Uber eine besndere Art der tonerregung", Ann. Physik (Leipzig).

Weaver, D. S., Fitzpatrick, J. A. and Elakashlan, M. (1986). "Strouhal number for heat exchanger tube arrays in cross-flow induced vibration", PVP, 104, pp. 193-200.

Zukauskas, A. Ulinskas, R. and Katinas, V. (1988). "Fluid dynamics and flow-induced vibrations of tube banks", Hemisphere, New York.

Ziada, S., Oengoren, A. and Buhlmann, E. T. (1989). "On acoustical resonance in tube arrays". J. Fluids Struct., pp. 239-314.

Zima, L., and Ackermann, N.L. (2002). "Wave generation in open channels by vortex shedding from channel obstructions", J. of Hydraulic Engineering, ASCE. Vol. 128, No. 6, pp. 596-603.

d	ارتفاع موانع استوانه‌ای
Fr _{max}	حداکثر مقدار عدد فروود جریان در هر یک از آرایش موانع
h	عمق متوسط جریان در فلوم آزمایشگاهی
L	طول ناحیه مانع‌گذاری شده
N	تراکم موانع
N _r	تعداد ردیف‌های موانع استوانه‌ای در طول ناحیه مانع‌گذاری شده
n	نوع (مُد) امواج عمود بر جریان
P	فاصله بین ردیف‌های موانع استوانه‌ای
Re	عدد بدون بُعد رینولدز
T	فاصله بین موانع متوالی در هر ردیف
U	سرعت متوسط جریان
λ	طول موج
ν	لزجت سینماتیکی سیال

۷- منابع

- انتظاری، ع. (۱۳۸۱). مکانیک سیالات، انتشارات نوپردازان، تهران.
- شفاعی بجستان، م. (۱۳۸۴). مبانی و کاربرد مدل‌های فیزیکی- هیدرولیکی، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- Blevins, R. D. (1977). Flow-induced vibration. VNR, London, England.
- Crasse, (1939). "Sur un phenomene d'oscillation du plan d'eau provoque part l'ecolement autour d'obstacles en forme de piles du pont", Croptes rendus de seances de l'academie de sciences, 209, (In French).
- Falvey, H. T. (1980). "Bureau of reclamation experience with flow-induced vibration", Practical experiences with flow induced vibrations, E. Naudascher and Rockwell, eds., Springer, New York.