

بررسی نوسان مانع با وجود مانع ثابت در بالادست کانال روباز با استفاده از مدل فیزیکی

محمد رضا اطمینان^۱، احمد جعفری^{۲*}، سعید جلیلی^۳، جواد ظهیری^۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۲۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه های آبی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Jafary_ahmad@yahoo.com

چکیده

سازه‌های آبی، در برخی مواقع موانعی در مسیر حرکت آب هستند که باعث ایجاد گردابه‌های نوسانی در پایین دست موانع می‌شود. این گردابه‌ها نیروهای نوسانی به مانع وارد کرده و پایداری سازه را دچار مشکل می‌نماید. در سال‌های اخیر از این پدیده در جهت تولید انرژی پاک استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر نوسان مانع با وجود مانع ثابت در بالادست مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌ها با استفاده از مانع مثلی در دبی‌های متغیر با فواصل مختلف مانع در بالادست صورت پذیرفت. هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر پارامترهای سرعت و فاصله مانع بالادست بر میزان فرکانس نوسانات می‌باشد. با تحلیل ابعادی، پارامترهای بی بعد عدد استروهمال، عدد رینولدز و نسبت فاصله به قطر به دست آمد. نمودارهای مربوط به رابطه عدد رینولدز و نیز فاصله به قطر در برابر اعداد استروهمال ترسیم شدند. در پایان با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها و نرم‌افزار SPSS20 رابطه‌ای جدید جهت برآورد عدد استروهمال ارائه شد. با صحت سنجی رابطه ارائه شده، پیش‌بینی نسبتاً خوب آن مورد تایید قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: عدد استروهمال، عدد رینولدز، مانع، مدل فیزیکی، نوسان

Study of Obstacle Oscillation in the Presence of a Fix Upstream Obstacle, Using a Physical Model

MR Etminan¹, A Jafari^{2*}, S Jalili³, J Zahiri⁴

Received: 2017-04-14

Accepted: 2018-09-12

¹M.Sc. Student of Water Structures., Dept. of Water Engin., Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

² Assist. Prof., Dept. of Water Engin., Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

³ Assist. Prof., Dept. of Water Engin., Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

⁴ Assist. Prof., Dept. of Water Engin., Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

* Corresponding Author, Email: Jafary_ahmad@yahoo.com

Abstract

Hydraulic structures in some cases, cause to produce obstacles in path of the flow that create oscillating vortices in downstream of the obstacles. Vortices produce oscillating forces to the obstacle that are harmful for the stability of structure. In recent years this phenomenon is used to create clean energy. In this study, oscillation of an obstacle in the presence of a fixed obstacle at the upstream was examined. The experiments on triangular block were carried out under varying discharge and different upstream distances. The main objective of this study was to investigate the effect of parameters of velocity and upstream obstacle distance on the oscillation frequency. Using dimensional analysis, the dimensionless parameters of Strouhal number, Reynolds number and ratio of distance to diameter were obtained. The charts of the relationship of the Reynolds number and also the ratio of distance to diameter vs. the Strouhal numbers were plotted. Finally, a new relationship was presented using data analysis and spss20 software to estimate the Strouhal number. Verifying the proposed relation, confirmed a fairly good prediction of this relation.

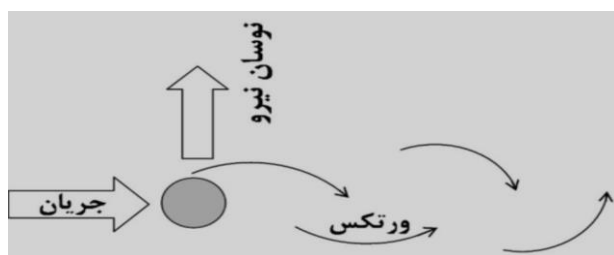
Key Words: Obstacle, Oscillation, Physical model, Reynolds number, Strouhal number

مقدمه

نوسانی به مانع وارد می‌کند که پایداری سازه را دچار مشکل نموده و در حالت تشدید، اثرات مخرب آن بیشتر است. در سال‌های اخیر از این نیروهای نوسانی در جهت مفید و تولید انرژی استفاده می‌شود. با قرار دادن موانع به حالت آزاد، نیروهای نوسانی ناشی از گردابه‌ها این موانع را به حرکت در آورده و از آن انرژی تولید می‌شود.

برای انتقال آب جهت مصارف شرب، کشاورزی، صنعت و غیره، نیاز به احداث سازه‌های آبی می‌باشد. احداث این سازه‌ها در برخی مکان‌ها باعث ایجاد موانعی در مسیر حرکت آب شده که پایه‌های پل نمونه‌ای از آنهاست. برخورد جریان آب با این موانع، گردابه‌هایی را در پایین دست مانع تشکیل داده و پدیده کشش ورتکس^۱ بوجود می‌آید. گردابه‌ها حالت نوسانی داشته و نیروهای

¹- Vortex shedding

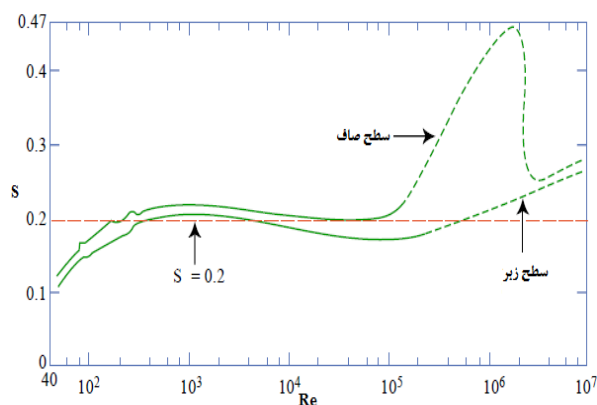


شکل ۱- تشکیل گردابه در پائین دست مانع.

جهت محاسبه فرکانس گردابه‌ها در پائین دست استوانه از رابطه ۲ استفاده می‌شود. در این رابطه f_s فرکانس گردابه، U سرعت جریان و S عدد استروهل بوده که تابعی از عدد رینولدز استوانه‌ها می‌باشد (بووند و همکاران ۲۰۱۶).

$$f_s = \frac{SU}{D} \quad [۲]$$

جهت محاسبه عدد استروهل لینهارد^۳ (۱۹۶۶) نموداری با استفاده از عدد رینولدز برای گازها در جریان‌های با عدد ماخ کوچک ارائه کرده است (شکل ۲) که با استفاده از آن، برای محدوده بزرگی از اعداد رینولدز مقدار عدد استروهل تقریباً ۰/۲ خواهد بود (جعفری و همکاران ۲۰۱۰).

شکل ۲- رابطه بین عدد استروهل (S) و عدد رینولدز (Re).

فیتزهیو (۱۹۷۳) ادعا کرد که در جریان گاز، برای اعداد رینولدز استوانه بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰، در حالتی که یک استوانه وجود داشته باشد، عدد استروهل برابر ۰/۲ می‌باشد و برای یک گروه از استوانه‌ها مقدار

ارتعاشات ناشی از گردابه‌ها (VIV)، به عنوان یک منبع پتانسیل برای برداشت انرژی بشمار می‌آید (باررو گیل و همکاران ۲۰۱۲). ارتعاشات ناشی از گردابه‌ها، با توجه به افزایش تقاضای انرژی، یکی از منابع مهم انرژی پاک و تجدید پذیر است (راو و مانور ۲۰۱۳). البته این نیاز ریشه در مشکلات موجود هنگام استفاده از منابع انرژی تجدید ناپذیر دارد. شماری از این مشکلات، رو به اتمام بودن این منابع و آثار مخرب زیست محیطی می‌باشد (چن و همکاران ۲۰۱۳). انرژی پاک آبی وابسته به ارتعاشات ناشی از گردابه‌ها (VIVACE) بر اساس هدف به پیشینه رساندن گردابه‌های ناشی از پدیده جدایش جریان و بهره‌برداری از ارتعاشات ایجاد شده در مقابل از بین بردن و کنترل آنها بنا شده، که با استفاده از مولد می‌توان این انرژی را به انرژی الکتریکی تبدیل کرد (برنیتاس و همکاران ۲۰۰۸). این گونه ارتعاشات موضوع بسیاری از پژوهش‌ها از جمله مکانیک سازه‌ها، آکوستیک و ارتعاشات می‌باشد (برنیتاس و سیمیاو ۲۰۰۷). با قرار گرفتن جسم جامد در مسیر حرکت سیال (شکل ۱)، پدیده جدایی خطوط جریان رخ داده و در پایین دست مانع استوانه‌ای گردابه تشکیل می‌شود (جعفری و اطمینان ۱۳۹۳). زمانیکه گردابه به‌طور متناوب در دو سمت مانع ایجاد می‌شود، نیروهای تناوبی روی جسم ایجاد شده، که این نیروها متقابلاً از مانع به سیال وارد می‌گردد (رودریگز و همکاران ۲۰۱۵). گردابه زمانی اتفاق می‌افتد که عدد رینولدز موانع که مطابق با رابطه ۱ تعریف می‌شود، در دو بازه $40 \leq Re < 3 \times 10^5$ یا $3.5 \times 10^6 \leq Re$ قرار می‌گیرد (لی و برنیتاس ۲۰۱۱). در رابطه ۱، U سرعت جریان، D قطر موانع و ν لزجت سینماتیک سیال می‌باشد (لی و برنیتاس ۲۰۱۱).

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad [۱]$$

³- Lienhard

¹- Vortex-induced vibrations

²- Vortex induced vibration aquatic clean energy

در این روابط K و C ضریب ثابت هستند، K برای آرایش زیگزاگی موانع برابر $۱/۴۸$ و برای آرایش موازی موانع $۱/۲۱$ ، C برای آرایش زیگزاگی موانع برابر $۰/۵۲$ و برای آرایش ردیفی $۰/۴۳$ می‌باشد. N تعداد استوانه‌ها در یک ردیف است. همچنین جعفری و همکاران (۱۳۹۰) روابط ۵ و ۶ را ارائه نمودند:

$$S = \frac{7.520(D/T)^{0.485}(D/P)^{0.177}}{Re^{0.151}N^{0.590}} \quad [5]$$

$$S = \frac{7.213(D/T)^{0.681}(D/P)^{0.328}}{Re^{0.161}N^{0.404}} \quad [6]$$

روابط ۵ و ۶ به ترتیب مربوط به آرایش‌های موازی و زیگزاگی موانع می‌باشد، در آزمایش‌های که آنها انجام دادند توانستند ده موج عرضی را مشاهده نمایند. در تحقیقات جعفری و همکاران (۱۳۹۰) و عزیزی و همکاران (۱۳۸۹) موانع به صورت ثابت استوانه‌ای می‌باشد. در تحقیق حاضر مانع به صورت آزاد بوده و به بررسی تأثیر میزان سرعت و فاصله مانع مثلثی ثابت بالادست بر میزان فرکانس مانع مثلثی آزاد پرداخته شده و رابطه‌ای جهت محاسبه عدد استروهل ارائه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمایشگاه سازمان آب و برق خوزستان با فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۷ متر، عرض $۰/۳۱$ متر و ارتفاع $۰/۵$ متر که نمای آن در شکل ۳ نشان داده شده، انجام گردید.



شکل ۳- نمای فلوم آزمایشگاهی.

عدد استروهل به آرایش، قطر و فاصله قرارگیری استوانه‌ها از یکدیگر بستگی دارد (فیتزهو ۱۹۷۳). هر چه فرکانس طبیعی نوسانات سازه به فرکانس نیروهای نوسانی ناشی از گردابه‌ها نزدیک تر شود، دامنه نوسانات افزایش می‌یابد، تا زمانی که این دو فرکانس یکی شده که به اصطلاح به آن قفل شدگی فرکانس می‌گویند (کانگ و همکاران ۲۰۱۳). در تمام تحقیقات تلاش بر این بوده تا این پدیده مخرب را کنترل کرده، اما در سال ۲۰۰۵ برای نخستین بار پروفیسور مایکل برنیتساس^۱ استاد دانشگاه میشیگان آمریکا^۲ این ایده را مطرح کرد که با استفاده از دستگاه مبدل انرژی ارتعاشات ناشی از گردابه‌ها می‌توان به انرژی پاک دست یافت و در سال ۲۰۰۸ اولین مقاله را در خصوص محاسبه بازده دستگاه ارائه نمود (فرشیدیان‌فر و نارنجانی ۱۳۹۰). مبدل گردابه از یک جسم بلاف صلب (بلاف به اصطلاح به شکل‌هایی هندسی گفته می‌شود که خاصیت ضعیف آیرودینامیک دارند که جریان در پشت آنها به راحتی دچار جدایش و اغتشاش می‌شود) تشکیل شده، که با یک درجه آزادی حرکت و به صورت الاستیک روی پایه‌ای نصب می‌شود. زمانی که در معرض جریان سیال قرار می‌گیرد، این جریان در اطراف سیلندر سبب ایجاد ارتعاش در سازه شده، که انرژی جنبشی حاصل از این ارتعاشات توسط سیستم انتقال قدرت به یک ژنراتور انتقال داده شده و تولید برق می‌کند (چانگ و همکاران ۲۰۱۱). در این راستا تحقیقات فراوانی جهت محاسبه عدد استروهل صورت گرفته، از آن جمله می‌توان رابطه عزیزی و قمشی (۱۳۸۹) که آزمایش‌های جهت محاسبه عدد استروهل در جریان آب با مجموعه موانع استوانه‌ای ثابت انجام دادند. آنها روابط ۳ و ۴ را برای محاسبه عدد استروهل ارائه نمودند.

$$S = \frac{K}{\ln\left(\frac{T}{D}\right) \cdot \left(\frac{P}{D}N\right)^{1/2}} \quad , \frac{P}{D} < 5 \quad [3]$$

$$S = C^3 \sqrt{\frac{P/D}{(T/D)^2 \cdot N}} \quad , \frac{P}{D} > 5 \quad [4]$$

²- University of Michigan America

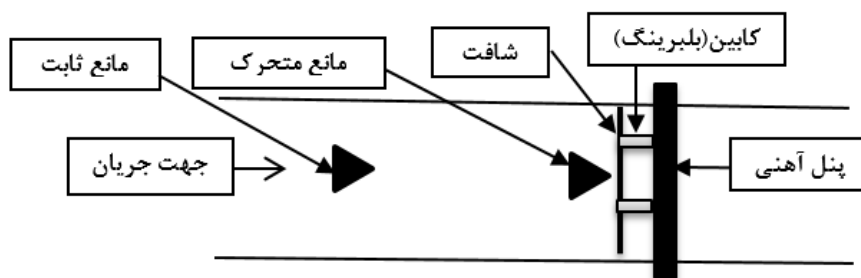
¹- Michael Bernitsas

سرعت جریان آب تنظیم گردید. دستگاه از دو قسمت ثابت و متحرک تشکیل شده است (شکل ۵)، قسمت ثابت از یک پنل آهنی به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و عرض ۳۲ سانتی‌متر است، که توسط دو گیره به کانال متصل می‌شود. همچنین بر روی پنل دو شافت توسط پایه به صفحه فلزی متصل شده که درون این شافت‌ها کابین‌ها (بلبرینگ) قرار گرفته است. قسمت متحرک از دو قسمت بازو و سیلندر تشکیل شده است. بازو از یک عدد قوطی ۲ در ۲ سانتی‌متری آلومینیومی تشکیل شده که یک سر آن به کابین و سر دیگر آن به سیلندر متصل شده است.



شکل ۴- فلومتر.

جهت تنظیم دبی از یک فلومتر دیجیتالی در ابتدای سیستم ورودی استفاده شد (شکل ۴). با استفاده از تغییر میزان دبی ورودی به فلوم و میزان بازشدگی دریچه کشویی که ارتفاع آب در حد ۰/۳۲ متر ثابت بود، میزان



شکل ۵- پلان شماتیک دستگاه.



شکل ۶- ب: مانع متحرک.



شکل ۶- الف: مانع ثابت و مانع متحرک.

مانع که توسط گردابه ایجاد می‌شود به شرح زیر می‌باشد:

[۷]

$$F(U, T, D, f, v) = 0$$

با تحلیل ابعادی که صورت گرفت، اعداد بدون

بعد زیر به دست آمد.

$$\frac{T}{D}, \frac{UD}{v}, \frac{fD}{U} \quad [۸]$$

در روابط ۷ الی ۸، T فاصله موانع، f فرکانس، v

لزجت سینماتیکی، D قطر مانع و U سرعت جریان می‌باشد.

در روابط بالا پارامترهای بدون بعد معروف عدد

رینولدز و عدد استروهل می‌باشد (رابطه ۹).

$$Re = \frac{UD}{v}, \quad S = \frac{fD}{U} \quad [۹]$$

نتایج و بحث

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و مطابق

با روابط ۸ و ۹، اعداد تأثیرگذار بر مانع مثلثی شامل عدد

استروهل، عدد رینولدز و T/D می‌باشد. در ادامه رابطه

بین هر یک از پارامترهای بدون بعد و عدد استروهل در

شرایطی انجام می‌شود که پارامتر دیگر مقداری ثابت

خواهد داشت. در جداول ۲ و ۳ نتایج کلی آزمایش‌ها نشان

داده شده است.

جهت انجام آزمایش‌ها موانع مثلثی شکل از جنس پلکسی

گلاس به عرض‌های ۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰/۵ سانتی-

متر مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه را به فلوم متصل

کرده، با تنظیم سرعت و نصب مانع مثلثی ثابت در

بالادست مانع متحرک مانند شکل ۶ میزان فرکانس مانع

متحرک با یک درجه آزادی برای هر سرعت در ۹ فاصله

که در مجموع ۴۵ آزمایش می‌باشد، برداشت گردید.

در جدول ۱ مشخصات کلی آزمایش‌های

انجام شده در تحقیق آورده شده است.

جدول ۱- آزمایش‌های انجام شده در تحقیق.

قطر مانع (m)	سرعت ($m s^{-1}$)	فاصله مانع بالادست (m)
۰/۰۸	۰/۴۵	۰/۲
	۰/۴۰	۰/۳
	۰/۳۵	۰/۴
	۰/۳۰	۰/۵
	۰/۲۸	۰/۶
		۰/۷
		۰/۸
		۰/۹
		۱

با توجه به مطالعات صورت گرفته و تحقیقات

قبلی، پارامترهای تأثیرگذار بر روی فرکانس نوسانات

جدول ۲- مشخصات مربوط به بالاترین فرکانس در هر عدد رینولدز.

عدد رینولدز	بالاترین فرکانس (در هر عدد رینولدز)	T/D	عدد استروهل
4×10^4	۰/۷۸۳ در $(T=0.5)$	۶/۲۵	۰/۱۳۵۶
3×10^4	۰/۷۱۶ در $(T=0.6)$	۷/۵	۰/۲۰۳۱
3×10^4	۰/۶۱۶ در $(T=0.6)$	۷/۵	۰/۱۵۰۲
2×10^4	۰/۵۸۳ در $(T=0.6)$	۷/۵	۰/۱۵۴۳
2×10^4	.	.	.

۲ برای عدد رینولدز 2×10^4 میزان عدد استروهل و

فرکانس برای تمامی T/D ها صفر می‌باشد، یا به عبارت

دیگر در $Re \geq 2.5 \times 10^4$ مانع مثلثی شروع به نوسان می‌کند.

در جدول ۲، فرکانس با عدد رینولدز رابطه

مستقیم داشته به طوری که با افزایش عدد رینولدز میزان

فرکانس هم افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین میزان

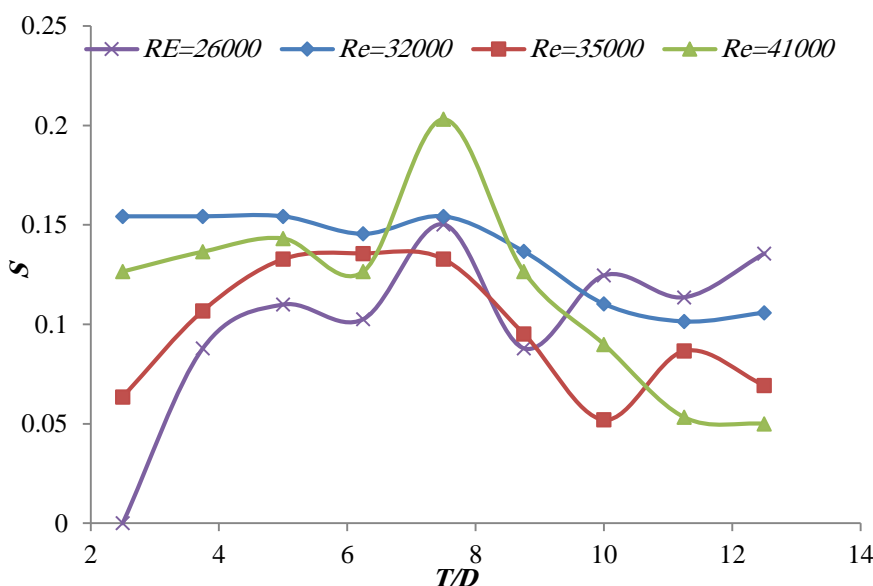
فرکانس در بازه $5 \leq T/D \leq 7.5$ می‌باشد. با توجه به جدول

جدول ۳- مشخصات مربوط به بالاترین فرکانس در هر T/D

T/D	بالا ترین فرکانس (در هر T/D)	عدد رینولدز	عدد استروهاال
۲/۵	۰/۳۶۷	$۴/۱ \times ۱۰^۴$	۰/۰۶۳۵
۳/۷۵	۰/۶۸۳	$۳/۵ \times ۱۰^۴$	۰/۱۳۶۵
۵	۰/۷۶۷	$۴/۱ \times ۱۰^۴$	۰/۱۳۲۸
۶/۲۵	۰/۷۸۳	$۴/۱ \times ۱۰^۴$	۰/۱۳۵۶
۷/۵	۱/۰۶	$۳/۵ \times ۱۰^۴$	۰/۲۰۳۱
۸/۷۵	۰/۶۳۳	$۳/۵ \times ۱۰^۴$	۰/۱۲۶۵
۱۰	۰/۵۶۷	$۳/۲ \times ۱۰^۴$	۰/۱۲۴۶
۱۱/۲۵	۰/۵۱۶	$۳/۲ \times ۱۰^۴$	۰/۱۱۳۶
۱۲/۵	۰/۶۱۶	$۳/۲ \times ۱۰^۴$	۰/۱۳۵۶

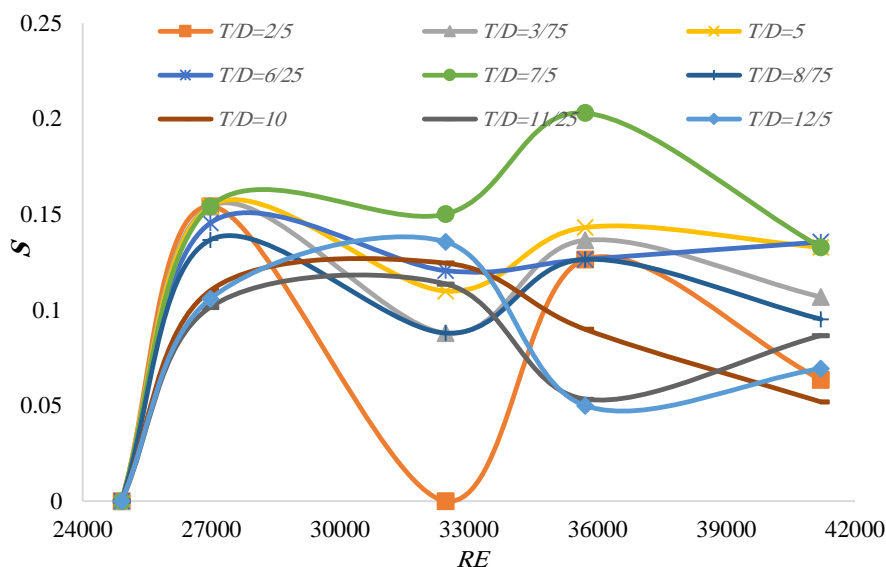
در جدول ۳، بالاترین میزان فرکانس نوسانات مانع در هر فاصله نسبی آورده شده است. با افزایش میزان T/D میزان عدد رینولدز تقریباً کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر با هم رابطه عکس دارند. در واقع با افزایش فاصله نسبی موانع برای بدست آوردن بیشینه نوسانات در آن فاصله بایستی عدد رینولدز افزایش یابد. به نظر

می‌رسد که در فواصل کم با سرعت‌های کمتر به دلیل فاصله کم موانع و تأثیر گردابه‌ها نوسانات با بیشینه فرکانس بوجود می‌آید ولی برای فواصل بیشتر، تأثیر گردابه‌ها در سرعت‌های بالاتر نشان داده می‌شود. در شکل ۷ مقدار T/D و S در شرایطی که عدد رینولدز ثابت می‌باشد نشان داده شده است.

شکل ۷- رابطه T/D و S در شرایطی که عدد رینولدز ثابت می‌باشد.

در شکل ۷، زمانی که عدد رینولدز ثابت می‌باشد، عدد استروهاال تقریباً در بازه $5 \leq T/D \leq 8$ بیشترین مقدار را داراست، در نتیجه بهترین فاصله مانع بالادست ما بین ۰/۴ الی ۰/۷ متر می‌باشد. در واقع در این بخش از تحقیق به بررسی تأثیر فاصله نسبی موانع پرداخته شده و فاصله نسبی بهینه به صورت تقریبی برای به بیشینه آمدن نوسانات به دست آمده است. تقریباً در بیشینه حالات در ابتدا نوسانات کمتر و پس از آن به بیشینه

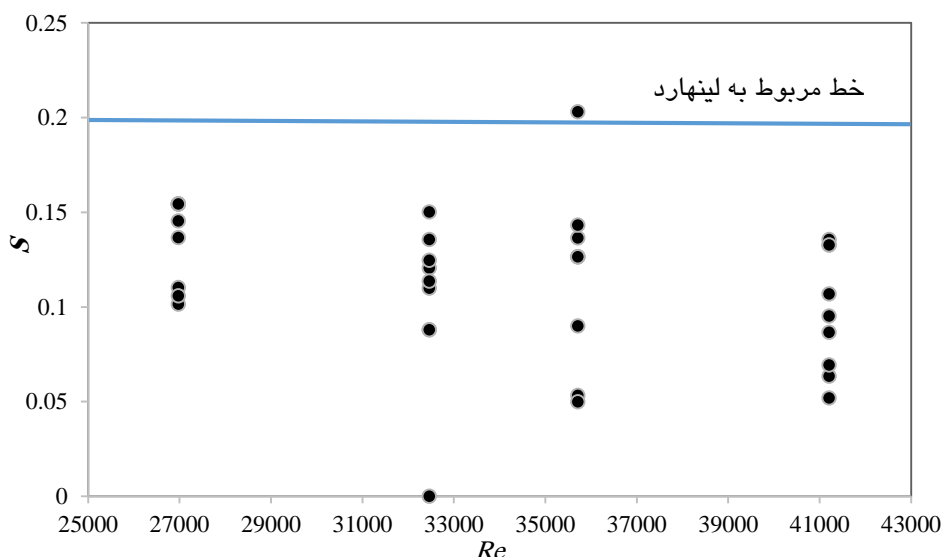
رسیده و دوباره با افزایش فاصله نسبی کاهش می‌یابد. دلیل این امر می‌تواند پدیده تشدید باشد. همچنین در فواصل کمتر گردابه‌ها به دلیل فاصله کم با قدرت کمتر بوده و در فواصل بسیار زیاد نیز به همین صورت است و تأثیر مانع ثابت کمتر می‌گردد. در شکل ۸ منحنی تغییرات عدد استروهاال نسبت به تغییر عدد رینولدز در شرایطی که میزان T/D مقداری ثابت دارد، آورده شده است.



شکل ۸- رابطه S با Re

این حالات نوسانی در برخی دیگر تحقیقات نیز مانند مطالعات عزیزی و قمشی (۱۳۸۹) و جعفری و همکاران (۱۳۹۰) گزارش شده ولی در این تحقیقات موانع ثابت بوده و نیروهای نوسانی باعث بوجود آمدن نوسانات در آب گردیده در حالی که در تحقیق حاضر موانع متحرک می‌باشد و حرکات نوسانی دارد که از نوآوری‌های تحقیق نیز است.

در شکل ۸، زمانی که T/D ثابت می‌باشد، عدد استروهل تقریباً در بازه $2.5 \times 10^4 \leq Re \leq 3.5 \times 10^4$ بیشترین مقدار را داراست. دلیل نوسانی بودن نمودارها می‌تواند پدیده تشدید باشد. هر سازه‌ای نوسانات طبیعی خود را دارا بوده که با افزایش عدد رینولدز فرکانس طبیعی نوسانات مانع با فرکانس نیروهای نوسانی ناشی از گردابه‌ها برابر شده و نوسانات بیشینه بوجود می‌آید.



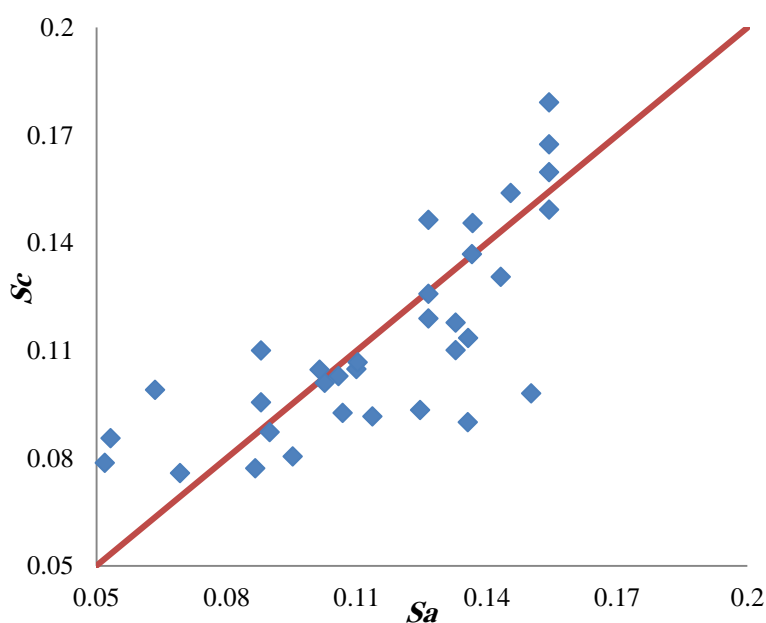
شکل ۹- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج لینهارد.

حاضر و خط مربوط به لینهارد است. لینهارد جهت محاسبه عدد استروهل نموداری با استفاده از عدد رینولدز برای گازها ارائه کرده که با استفاده از آن، برای

در شکل ۹ نتایج تحقیق حاضر با نتایج لینهارد مقایسه شده است. محور عمودی اعداد استروهل و محور افقی اعداد رینولدز می‌باشد. نقاط مربوط به تحقیق

$$S = a \left(\frac{T}{D}\right)^{-0.166} Re^{-0.719} \quad [10]$$

در رابطه بالا a ضریب ثابت بوده که اگر $a=240$ باشد $S \geq 0.12$ و اگر $a=320$ و اگر $S < 0.12$ آنگاه $a=240$ است. در واقع ارتعاشات مانع در اعداد بزرگتر یا مساوی 0.12 از یک رابطه و در اعداد کوچکتر از 0.12 از رابطه دیگری به دست آمده که این تفاوت با تغییر ضریب ثابت رابطه نشان داده شده است. در شکل ۱۰ صحت‌سنجی مدل ارائه شده آمده است. همان‌طور که از شکل مشخص می‌باشد، مدل ارائه شده از پیش‌بینی نسبتاً خوبی برخوردار است.



شکل ۱۰- بررسی و صحت‌سنجی مدل ارائه شده در تحقیق حاضر.

این پدیده در جهت مثبت و تولید انرژی پاک استفاده شده و در جهت به بیشینه رساندن نوسانات تلاش صورت می‌پذیرد. در تحقیق حاضر نوسان مانع با وجود مانع ثابت در بالادست مورد بررسی قرار گرفت و آزمایش‌ها با استفاده از مانع مثلی در دبی‌های متغیر با فواصل مختلف مانع در بالادست صورت پذیرفت. هدف اصلی بررسی پارامترهای سرعت و فاصله مانع بالادست بر میزان فرکانس نوسانات بود. با انجام تحلیل ابعادی، پارامترهای بی‌بعد عدد استروهال، عدد رینولدز و فاصله به قطر به دست آمد. نمودارهای مربوط به رابطه عدد

محدوده بزرگی از اعداد رینولدز مقدار عدد استروهال تقریباً 0.2 خواهد بود. در تحقیق حاضر سیال مورد آزمایش آب بوده و از دو مانع ثابت و متحرک استفاده شده و با تغییر در فاصله با وجود ثابت بودن عدد رینولدز، عدد استروهال تغییر می‌کند و فاصله از پارامترهای تأثیرگذار می‌باشد.

با انجام بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتایج آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS20، رابطه 10 برای محاسبه عدد استروهال از عدد رینولدز و T/D به دست آمد.

محور افقی عدد استروهال با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر و محور عمودی عدد استروهال پیش‌بینی شده با مدل این تحقیق می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

سازه‌های آبی در کانال‌های انتقال آب و رودخانه‌ها و مجاری روباز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این کار موانعی در مسیر حرکت آب قرار گرفته که باعث ایجاد گردابه‌های نوسانی در پایین دست موانع می‌شود. این گردابه‌ها، نیروهای نوسانی به مانع وارد کرده و پایداری آن را دچار مشکل می‌نماید. در سال‌های اخیر از

تشکر و سپاس

بدینوسیله از دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان و نیز سازمان آب و برق خوزستان جهت ارائه تسهیلات و امکانات آزمایشگاهی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌نماید.

رینولدز و عدد استروهل و نیز فاصله به قطر در برابر عدد استروهل ترسیم شد. در پایان با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها و نرم‌افزار SPSS20 رابطه‌ای جهت برآورد عدد استروهل ارائه شد. با صحت‌سنجی مدل ارائه شده، پیش‌بینی نسبتاً خوب آن مورد تایید قرار گرفت.

منابع مورد استفاده

- Azizi R and Ghomeshi M, 2011. Relationship between Frequency of Transverse Waves and Characteristics of Flow and Obstacles in Open Channels. *Journal of Iran Water Resources Research* 6 (2): 57-65.
- Barrero Gil A, Pindado S and Avila S, 2012. Extracting energy from Vortex-Induced Vibrations: A parametric study. *Journal of Applied Mathematical Modeling* 36(7): 3153- 3160.
- Bernitsas MM and Simiao G, 2007. Vortex Hydro Energy. Congress LLC NRELs 20th Annual Industry Growth, 8 November, Us Department of energy Florida.
- Bernitsas MM, Raghavan K, Ben Simon Y and Garcia EMH, 2008. VIVACE (Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy): A new concept in generation of clean and renewable energy from fluid flow. *Journal Offshore Mechanics. Arct* 130(4): 1- 15.
- Bovand M, Rashidi S, Esfahani JA, Saha SC, Guc YT and Dehesht M, 2016. Control of flow around a circular cylinder wrapped with a porous layer by magneto hydro dynamic. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 401: 1078–1087.
- Chang CC, AjithKumar R. and Bernitsas MM, 2011. VIV and galloping of single circular cylinder with surface roughness at $3.0 \times 10^4 \leq Re \leq 1.2 \times 10^5$. *Ocean Engineering* 38: 1713–1732.
- Chen Z, Yu H, Hu M, Meng G and Wen C, 2013. A review of offshore wave energy extraction system. *Advances in Mechanical Engineering* 5: 46-58.
- Farshidianfar A and Naranjani Y, 2012. Pure and unlimited energy recovery from self-moving vibrations caused by vortices. *Fluid Mechanics Journal* 77: 73-85
- Fitz hugh JS, 1973. Flow induced vibration in heat exchangers. *proc. UKAEA/NPL International Symposium on vibration problems in industry*, Keswick, England.
- Jafari A and Etminan M, 2015. Investigating the production of renewable energy from the motion of fluids in dealing with barriers in the flow path. The first national conference on fluid flow, heat and mass transfer, 10 February, Isfahan.
- Jafari A, Ghomeshi M, Bina M and Kashefipor M, 2012. New equation for obtaining strouhal wave number due to water passing from cylinder barriers. *Journal of Irrigation Science & Engineering* 34(1): 45-54.
- Jafari A. Ghomesh M, Bina M and Kashefipour SM, 2010. Comparing of ten modes of oscillation occurring across the open channels. Congress IAHR-APD, The School of Engineering, 13 January, The University of Auckland New Zealand.
- Kang Z and Jia L, 2013. An experiment study of a cylinder's two degree of freedom VIV trajectories. *Ocean Engineering* 70: 129–140.
- Lee JH and Bernitsas MM, 2011. High-damping, high-Reynolds VIV tests for energy harnessing using the VIVACE converter. *Ocean Engineering* 38: 1697–1712.
- Rao KM and Manur AG, 2013. Modeling of vortex induced vibration Based hydrokinetic energy converter. *Journal of Electrical and Electronics Engineering* 6: 26-31.
- Rodríguez I, Lehmkuhl O, Chiva J, Borrell R and Oliva A, 2015. On the flow past a circular cylinder from critical to super critical Reynolds numbers: Wake topology and vortex shedding. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 55: 91–103.