



مرکز پژوهش‌های مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



بررسی اثر تغییر جهت مواجهه پایه‌ی دوکی شکل با سیال در کاهش آبشستگی و مقایسه‌ی آن با پایه‌ی استوانه‌ای شکل

حیب حکیم زاده
دانشگاه صنعتی سهند

وحید انوری
دانشگاه صنعتی سهند

Hakimzadeh@sut.ac.ir

V_anvari@sut.ac.ir

مقدمه

امروزه مسئله آبشستگی یکی از مسائل مهم در مهندسی رودخانه و سواحل می‌باشد. قرارگیری سازه‌های مختلف در مسیر جریانهای رودخانه‌ای مستلزم تعبیه پایه‌هایی در این مناطق بوده، در نتیجه این پایه‌ها همواره در معرض آبشستگی قرار خواهند داشت. پایه پل‌ها و اسکله‌ها، خطوط لوله، موج شکن‌های قائم و یا سازه‌های ترکیبی (مانند سکوه‌های ساحلی، اسکله‌ها و ...) از جمله سازه‌هایی هستند که در رودخانه‌ها و یا سواحل دریا تحت تأثیر پدیده آبشستگی قرار می‌گیرند. بطور کلی هنگامی که سازه‌ها درون یک رودخانه یا محیط ساحلی قرار می‌گیرند، تغییراتی را در الگوی جریان به وجود می‌آورند که این تغییرات معمولاً باعث افزایش ظرفیت انتقال رسوب در محیط آبی شده و در نهایت منجر به ایجاد پدیده آبشستگی خواهند شد. آبشستگی در واقع نوعی فرسایش است که در اثر جریان آب و یا امواج در اطراف پایه‌ها بوجود می‌آید. هنگامی که نیروهای قائم وارده از طرف جریان و یا موج بر ذرات بستر، از نیروی مقاوم بیشتر باشد و بر آن غلبه نماید، ذره موردنظر عملاً کنده شده و برآیند نیروهای افقی و قائم باعث شروع حرکت ذره می‌شود. با کنده شدن این ذره و ذرات بعدی در سطح، و به تدریج در عمق، آبشستگی به وقوع می‌پیوندد. این نوع آبشستگی در واقع نوعی گود شدن قیفی شکل است که در مجاورت پایه‌ها رخ می‌دهد. چنانچه این گودی تا پی ادامه یابد، می‌تواند باعث خطرات جدی برای سازه شود. از این رو پیشگویی الگوی آبشستگی برای ایمنی طراحی سازه‌هایی که در معرض جریان آب قرار دارند امری ضروری است. اما وجود جداشدگی سه بعدی جریان و تولید گردابه‌های مختلف در اطراف این پایه‌ها مسئله را پیچیده کرده و این پیچیدگی به دلیل اثر متقابل بین جریان و مرز متغیر در طی روند آبشستگی و توسعه گودال آبشستگی، افزایش می‌یابد. به همین دلیل با وجود تحقیقات گسترده‌ای که توسط پژوهشگران در این زمینه انجام شده، هنوز تئوری دقیقی در این باره ارائه نگردیده است.

مفاهیم اساسی

از آنجا که عامل اصلی ایجاد پدیده آبشستگی در واقع جریانهای روبه پایین در بالادست پایه و همچنین وجود گردابه‌های نعل‌اسبی است که در صفحه قائم قابل مشاهده است ضرورت دارد در شبیه‌سازی‌های انجام شده، جریان بصورت سه بعدی مورد ارزیابی قرار گیرد. در شکل ۱ جریان‌های ثانویه اطراف مانع در حالت سه بعدی نشان داده شده است.

الگوی جریان

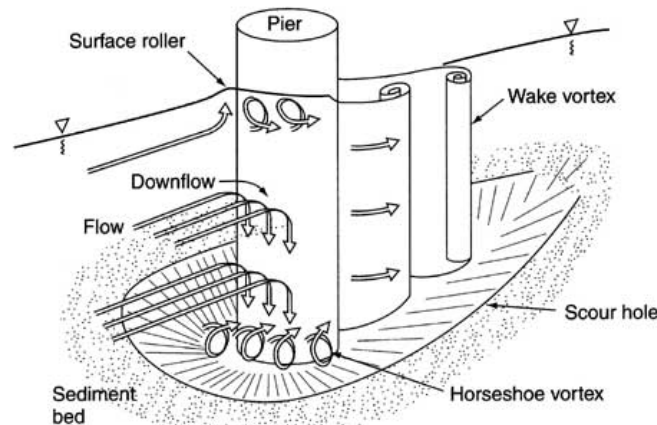
الگوی جریان اطراف یک پایه استوانه‌ای بسیار پیچیده است و این پیچیدگی با پیشرفت حفره آبشستگی بیشتر می‌شود. اگر پایه‌ای در برابر جریان آب وجود داشته باشد، سرعت جریان در برخورد به سطح بالادست پایه به صفر می‌رسد. به دلیل اینکه پروفیل سرعت از سطح آزاد به سمت کف از میزان ماکزیمم به صفر کاهش می‌یابد، فشار دینامیکی نیز از سطح آزاد به سمت کف کاهش می‌یابد. این گرادین فشار رو به پایین، جریان رو به پایینی را ایجاد می‌کند. جریان رو به پایین در هر تراز بالای بستر، دارای توزیع سرعت خاصی است به طوری که در محل برخورد جریان اصلی به پایه و همچنین در فاصله‌ای در بالادست پایه دارای سرعت صفر است. مقدار حداکثر سرعت جریان رو به پایین در صورتی که حفره آبشستگی وجود نداشته باشد، در مجاورت بستر و با توجه به شکل پایه حدوداً برابر 0.4 سرعت ورودی است.

جریان رو به پایین پس از برخورد به بستر در جهات مختلف پراکنده می‌شود و بستر را نیز حفر می‌کند. مقداری از این جریان که به سمت بالادست بازگشت می‌کند، در برخورد با جریان اصلی رودخانه مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدداً به پایه برخورد می‌کند و در داخل حفره کنده شده گردابی را تشکیل می‌دهد. این گرداب در دو طرف پایه امتداد یافته و شکلی شبیه نعل اسب، بوجود می‌آورد. تشکیل گرداب نعل اسبی^۱ در داخل حفره آبشستگی باعث تسریع حفر گودال شده و ذرات جدا شده از بستر توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند. این گرداب در شروع

¹Horseshoe Vortex

آبشستگی بسیار ضعیف است و عمل آبشستگی تحت تاثیر جریان رو به پایین است، ولی به تدریج پس از تشکیل حفره آبشستگی، قدرت این گرداب افزایش می یابد.

به دلیل ایجاد منطقه کم فشار در پایین دست و کنار پایه، جریان به صورت لایه‌های برشی چرخان که در سطح پایه ایجاد می شود، از پایه جدا شده و تشکیل گردابهایی را می دهد که محورشان تقریباً عمود بر کف بوده که مانند گرداب، ذرات رسوب را از پایین به سمت بالا می مکند. این ذرات توسط گرداب‌های جدا شده از پایه به پایین دست حمل می شوند. به این گرداب‌ها، گرداب‌های دنباله دار^۲ گفته می شود.



شکل ۱ الگوی جریان در اطراف پایه پل

شکل پایه ها نیز در تشکیل این نوع از گردابه ها نقش بسزایی دارد بطوریکه هر قدر انطباق جریان با شکل پایه ها بیشتر باشد، گردابیان فشار معکوس کمتر بوده و در نتیجه قدرت گردابه‌های نعل اسبی کمتر خواهد شد. سیستم گردابی دنباله‌ای نیز در صورت عدم وجود گردابه‌های نعل اسبی (مثلا در حالتی که اندازه پایه ها بسیار بزرگ باشند) باعث ایجاد حفره های بزرگی در پایین دست پایه می شوند. همچنین در حالتی که پایه ها توسط پوششهای حصیری و یا سنگی از آبشستگی ناشی از گرداب نعل اسبی محافظت می شوند، سیستم گرداب بلند شونده، تنها عامل آبشستگی می باشد سیستم دیگری که در جریانات ثانویه اطراف مانع شکل می گیرد سیستم موج کمانی^۳ است که در سطح آب و در بالا دست پایه اتفاق می افتد و جهت چرخش آن عکس سیستم نعل اسبی می باشد. این سیستم موج در جریانهای آب کم عمق، آنجا که جریان با پایه برخورد کرده و سبب تعدیل قدرت جریان رو به پایین می شود اهمیت پیدا می کند.

پارامترهای دیگری نیز بر الگوی جریان و فرآیند آبشستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل موثرند. تاثیر خواص سیال بر فرآیند آبشستگی معمولاً^۴ بسیار کم اهمیت تر از تاثیر ویژگیهای جریان می باشد. بعلاوه اندازه خاک دانه‌های مصالح بستر بر عمق آبشستگی تاثیر دارد. خاک دانه‌های مصالح بستر با اندازه بزرگتر که بوسیله جریان به حرکت درآیند، تاثیری بر عمق آبشستگی متعادل نخواهد داشت ولی بر زمان رسیدن به تعادل موثر هستند. متغیرهای فیزیکی شامل چگالی، لزجت سیال، قطر پایه، عمق جریان، سرعت جریان نزدیک شونده به پایه، زبری بستر، شتاب ثقل و حتی وجود خود گودال آبشستگی با جریان اطراف پایه دایره‌ای شکل، در ارتباط مستقیم است. پارامترهای بدون بعد مشابه در ارتباط با این متغیرها نیز، عدد رینولدز پایه، عدد فرود، عمق نسبی جریان و ضریب زبری می باشد. نتایج همچنین نشان می دهد که میدان سرعت اطراف پایه بطور زیادی تحت تاثیر سطح آزاد جریان قرار نگرفته و به عدد فرود وابسته نیست بلکه تاثیر عدد رینولدز بیشتر است. این در حالی است که در اکثر معادلات، تخمین عمق آبشستگی بر اساس عدد فرود و عمق نسبی آب بوده و تاثیر عدد رینولدز چندان در نظر گرفته نمی شود [۱۲].

انواع آبشستگی

آبشستگی پدیده‌ای است طبیعی که در نتیجه عمل فرسایش بستر توسط جریان آب و حمل مواد جدا شونده از آن بوسیله این جریان رخ می دهد. این پدیده که باعث فرو ریختن پلها می شود، بیشتر در مواقع سیلاب که نیاز به استفاده از پلها بیشتر احساس می شود، اتفاق می افتد. دلیل این امر در درجه اول، وجود جریان‌های ناپایدار در موقع سیل و تغییر جهت جریان اصلی رودخانه و در درجه دوم، وجود اجسام شناور و معلق در آب، مانند سنگ،

^۲Wake Vortex

^۳Bow wave

چوب و یخ‌های شناور است که علاوه بر صدمه زدن بر پایه‌های پل، در بعضی مواقع باعث گرفتگی در مقطع سیلابی و افزایش عمق و سرعت جریان می‌شوند.

انواع آبستنگی که می‌تواند در اطراف پایه پل اتفاق بیافتد عبارت است از:

- ۱) آبستنگی عمومی یا فرسایش که صرفنظر از وجود یا عدم وجود پل در بستر رودخانه ایجاد می‌شود.
- ۲) آبستنگی انقباضی (تنگ شدگی) که به دلیل تنگ شدگی مقطع در اثر وجود سازه‌هایی چون پایه‌های پل در مسیر آبراهه بوجود می‌آید.
- ۳) آبستنگی موضعی که توسط میدان جریان موضعی در اطراف پایه‌های پل ایجاد می‌شود.

روشهای کنترل و کاهش آبستنگی موضعی

۱- استفاده از سنگ چین

چو (۱۹۹۲) فرمولی را برای طراحی سنگهای سنگ‌چین توصیه نموده است. بعضی دیگر از محققین، مقدار سرعت طراحی جهت محاسبه قطر سنگهای سنگ‌چین را به گونه‌ای دیگر تعریف کرده‌اند. نیل (۱۹۷۳)، سرعت $1/5$ برابر سرعت جریان را سرعت طراحی قطر سنگ در سنگ‌چین پیشنهاد کرده است. همچنین، پارولا و جونز^۴ (۱۹۹۱) میزان $1/5$ و $1/7$ برابر سرعت جریان را به ترتیب برای پایه‌های دایره‌ای و مستطیلی پیشنهاد نموده‌اند. کلوسیوس^۵ (۱۹۸۴) بیان کرد که سنگ چین می‌تواند یک نوع تمایل به افزایش گردایانهای پیژومتریکی داشته باشد که به موجب آن پتانسیل فرسایش بستر و شسته شدن مواد بستر داخل سنگ‌چین افزایش می‌یابد. امروزه به خاطر اجتناب از پدیده‌های فوق، از معیار فیلتر وارونه ترازقی استفاده می‌شود.

۲- استفاده از طوقه

استفاده از صفحه‌ای به شکل طوقه که موازی با کف رودخانه و عمود بر پایه نصب می‌شود می‌تواند در منطقه دماغه بالا دست پایه، جریان رو به پایین را گرفته و مانع از حفر گودال آبستنگی توسط آن شود. درگاهی (۱۹۹۰) با استفاده از طوقه سعی در کاهش آبستنگی موضعی نمود. چو (۱۹۹۲) با انجام آزمایشهایی اثر طوق را در کاهش آبستنگی موضعی بررسی نمود کومار و همکارانش^۶ (۱۹۹۹) کاهش آبستنگی موضعی را با استفاده از طوقه در شرایط آب زلال بررسی کردند.

۳- استفاده از شکاف پایه

استفاده از شکاف در پایه برای اولین بار توسط چو (۱۹۹۲) به عنوان یکی از راه‌های پیشگیری و کنترل آبستنگی موضعی مطرح گردید. وی اشاره کرد که شکاف در پایه دو عملکرد مختلف دارد: شکاف نزدیک بستر با ایجاد جت جریان افقی، جریان رو به پایین که عامل اصلی ایجاد گرداب نعل-اسبی و یکی از عوامل فرسایش اطراف پایه است، را به فاصله‌ای دورتر از پایه منحرف کرده و باعث کاهش عمق موثر جریان و کاهش عمق آبستنگی می‌شود. شکاف نزدیک سطح آب باعث کاهش عمق موثر جریان و کاهش گردایان فشار شده و در نتیجه شدت جریان رو به پایین را کاهش می‌دهد و بدین ترتیب باعث کاهش عمق آبستنگی می‌شود. همچنین نشان داده شد که شاخص‌های عرض، ارتفاع و موقعیت شکاف، پارامترهای مهم در کاهش آبستنگی هستند. حداکثر کاهش عمق آبستنگی توسط شکاف نزدیک بستر با عرض یک چهارم قطر پایه و ارتفاع دو برابر، 20% درصد و برای شکاف نزدیک سطح آب با ابعاد فوق برابر 5% درصد بوده است.

کومار و همکارانش (۱۹۹۹) با انجام آزمایشهایی تأثیر شکاف بر کاهش آبستنگی را بررسی نمودند. آنها از شکافهایی با عرض برابر یک چهارم و نصف قطر پایه و با ارتفاع بین $0/2$ تا $1/8$ برابر عمق آب استفاده کردند، به طوری که قسمت فوقانی شکاف نزدیک سطح آب بوده و قسمت تحتانی آن در موقعیت‌های مختلف قرار داشت.

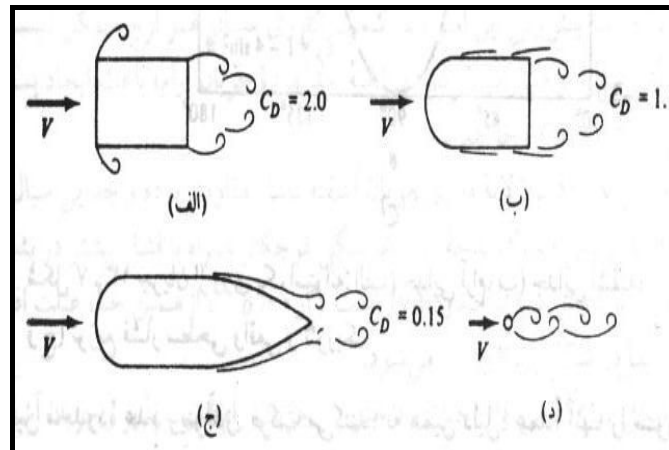
اثر شکل

بطور کلی از عدد رینولدز حدود 100 به بالا نمی‌توان از اثر شکل جسم در منظم کردن خطوط جریان و کاهش پسا چشمپوشی کرد. سیلندر مستطیلی شکل 2 در تمامی لبه‌های تیز خود جدایی وسیعی را دارد و پسای آن بسیار زیاد است. با گرد کردن دماغه (ب) پسا تا حدود 45% درصد کاهش می‌یابد. ضمن آنکه CD هنوز هم زیاد است. با منظم کردن خطوط جریان از طریق ایجاد یک لبه فرار تیز (ج) عملاً 85% درصد دیگر کم شده و به یک حداقل عملی برای جسمی با این ضخامت می‌رسد. سیلندر استوانه‌ای شکل (د) با ضخامت $1/8$ و سطح $1/100$ شکل (ج)، هر دو دارای پسای یکسانی هستند. از این پدیده برای بالا بردن کارایی وسایط نقلیه و سایر اجسام متحرک استفاده می‌شود.

⁴ -Parola & Jolosaus

⁵ -Koloseus

⁶ -Kumar et al



شکل ۲ اهمیت منظم کردن خطوط جریان در کاهش پسای اجسام

چنین نتیجه می‌شود که لبه های تیز اجسام باعث ایجاد جدایی و به دنبال آن پسای زیاد می‌شود که البته این نوع جریانها به عدد رینولدز حساس نیستند. مقدار پسای اجسام گرد مانند بیضی‌ها به نقطه جدایی بستگی دارد، بنابراین هم عدد رینولدز و هم خصوصیات لایه مرزی اهمیت خواهند داشت. افزایش طول به همراه کاهش قطر اجسام موجب کم شدن پسای فشاری می‌شود، ضمن آنکه دیر یا زود پسای اصطکاکی باعث خنثی شدن این اثر خواهد شد.

اجسام تولید کننده برا

اجسام تولید کننده برا (ایرفویلها ، هیدروفویلها و پره‌ها) بدین منظور طراحی می‌شوند که یک نیروی بزرگ عمود برجهت حرکت جریان آزاد را با حداقل پسای ممکن بوجود آورند. طرحهای عملی تقریباً شبیه بال پرندگان هستند. در زوایای حمله کم در سطوح پشتی، گرادیان فشار مخالف وجود دارد اما نه آنقدر که باعث جدایی لایه مرزی شود. با زیادتر شدن زاویه حمله، گرادیان فشار مخالف روی سطوح بالایی قویتر شده و حبابهای حاصل از جدایی سیال آهسته و به سمت جلو گسترش می‌یابد. در زوایای معینی (۱۵ تا ۲۰ درجه) جریان کاملاً از سطح بالایی جدا شده و در این حالت ایرفویل در حالت واماندگی قرار گرفته، نیروی برا به شدت کاهش پیدا کرده و پسا به تندی افزایش می‌یابد و در نتیجه ایرفویل دیگر قادر به پرواز نیست.

مروری بر تحقیقات انجام شده

تا کنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است که از جمله به مطالعات آزمایشگاهی درگاهی^۷ می‌توان اشاره نمود. وی در سال ۱۹۸۹ در مدل آزمایشگاهی خود به بررسی جریان آشفته در اطراف پایه استوانه‌ای شکل پرداخت. این تحقیق بوسیله نمایان‌سازی جریان حباب هیدروژن^۸ انجام شد. الگوی جریان در ناحیه جدایش جریان در جلوی پایه بواسطه پیچک‌های نعل اسبی که به صورت تناوبی تغییر می‌کنند، شاخصه بندی شده است. با توجه به نتایج آزمایش تعداد این پیچک‌ها با افزایش عدد رینولدز تغییر می‌کند. وی در آزمایش خود نشان داد که ابعاد پیچک نعل اسبی مستقل از عدد رینولدز بوده و اصولاً وابسته به ابعاد پایه است. در پشت پایه، پیچک‌های دنباله‌دار بصورت نوسانی فرافکن شده و این تغییرات باعث تغییر در الگوی جریان در پشت پایه می‌گردد.

برزر^۹ و همکارانش نشان دادند که سیستم گرداب نعل اسبی عامل شروع آبشستگی نبوده و تنها نتیجه جریان روبه‌پایین درون گودال آبشستگی می‌باشد و در واقع جریان روبه‌پایین عامل اصلی آبشستگی می‌باشد. این نتیجه گیری توسط نتایج آزمایشگاهی Raudkivi, Melville, Hjorth نیز بیان شده است.

⁷ Dargahi

⁸ - Hydrogen bubble flow visualization

⁹ Breuser

Johnson, Ting نیز بصورت آزمایشگاهی به بررسی تاثیر عدد فرود و عمق نسبی آب بر جریات اطراف پایه دایره‌ای شکل پرداختند. نتایج بررسی آنها این بود که تغییرات ارتفاع سطح آب اطراف پایه با عدد فرود و عمق نسبی آب مرتبط بوده و آزمایش‌ها نشان داد که مقدار $\Delta y/D$ تغییرات سطح آزاد آب در مجاورت پایه) با افزایش عدد فرود در یک مقدار ثابت عمق نسبی جریان افزایش می‌یابد و هنگامی که عدد فرود تقریباً یکسان است $\Delta y/D$ با افزایش y/D (عمق نسبی جریان نزدیک شونده به پایه) افزایش می‌یابد. همچنین مشخص شد که میدان سرعت اندازه گیری شده با عدد رینولدز پایه تغییر کرده و در اعداد رینولدز پایین، جداشدگی در قسمت بالادست پایه، منطقه دنباله وسیعی را ایجاد می‌کند و با افزایش عدد رینولدز، جداشدگی جریان نزدیکتر به پایین دست پایه اتفاق افتاده و منطقه دنباله کوچکتر می‌شود.

همچنین Ahmed, Raudkivi به بررسی تاثیر زبری و گودال آبستتگی بر الگوی جریان اطراف پایه پل پرداخته و به این نتیجه رسیدند که زبری بستر، گرادیان فشار در جلو پایه را بیشتر کرده و باعث قوی‌تر شدن جریان رو به پایین در جلو استوانه می‌گردد. آنها همچنین نشان دادند که در صورت وجود گودال آبستتگی، ماکزیمم سرعت جریان رو به پایین در جلو استوانه در مقایسه با حالت بدون گودال افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که در شرایط آزمایشگاهی مورد نظر، ماکزیمم سرعت جریان رو به پایین در جلو استوانه ۹۰ درصد سرعت جریان نزدیک شونده به استوانه بوده، درحالی که در بستر صلب و بدون گودال این سرعت ۳۵ درصد سرعت جریان نزدیک شونده بدست آمده است. اغلب مطالعات بر روی آبستتگی موضعی پیرامون پایه های منشوری گرد واقع بر روی ماسه ای غیر چسبنده متمرکز بوده‌اند. همچنین در آزمایش‌ها معمولاً آبستتگی موضعی در اثر جریان یکنواخت مورد مطالعه قرار گرفته است. مشروط بر سازگاری راستای پایه استوانه‌ای با راستای جریان، طول پایه تاثیری قابل ملاحظه بر روی آبستتگی موضعی ندارد.

کوبایاشی مدل عددی سه بعدی را برای جریان نوسانی اطراف پایه استوانه‌ای توسعه داد. در مطالعه وی $k\epsilon=5$ در نظر گرفته شد که $k\epsilon$ عدد بی بعد کولگان کارپنتر^{۱۰} می‌باشد. در این مدل عددی به علت کوچک بودن عدد $k\epsilon$ ، هیچگونه پیچک نعل اسبی و فراقنی پیچک مشاهده نشد. السن و ملاین^{۱۱} (۱۹۹۳) جریان یکنواخت و آبستتگی اطراف پایه استوانه‌ای شکل را با یک شبکه بی‌ساختار و غیر متعامد حجم محدود و با استفاده از معادلات سه بعدی ناویه- استوکس مورد بررسی قرار دادند. در مدل عددی آنها برای حل عبارات تنش‌های رینولدز از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استفاده گردید. در این مدل عددی به بررسی آبستتگی اطراف پایه به صورت بار بستر پرداخته شده است. در مدل آبستتگی از فرمول انتقال رسوب ون رایان (۱۹۸۷)^{۱۲} استفاده شده است.

ریچاردسون و پنچنگ^{۱۳} (۱۹۹۸) مدل عددی خود را با استفاده از معادلات سه بعدی ناویه- استوکس بوده و برای تنش‌های آشفتگی از مدل‌های طول اختلاط پراتنل و $k-\epsilon$ استفاده شده است. محاسبات برای سه حالت مختلف صورت گرفته است. ابتدا برای حالت بستر صاف، سپس برای عمق آبستتگی متوسط و سرانجام برای حالت آبستتگی متعادل. مدل عددی این پژوهشگران بیشتر بر روی جریان در جلوی پایه متمرکز گردیده است. در این مدل عددی، پیچک‌های نعل اسبی به خوبی دیده شده و نتایج عددی مطابقت خوبی با نتایج آزمایشگاهی از خود نشان دادند. یوهی و ایشیدا^{۱۴} (۲۰۰۰) الگوی جریان را به واسطه انتگرال‌گیری مستقیم معادلات سه بعدی ناویه- استوکس شبیه‌سازی شده است. دو نوع توپوگرافی بستر مسطح و آبسته به شکل مخروط ناقص، برای بررسی تاثیر شکل بستر بر روی مدل عددی نشان داد که بیشترین تنش برشی در زیر پیچک نعل اسبی در حالت بستر صاف در حدود ۱۰ برابر تنش برشی حداکثر می‌باشد در صورتی که این مقدار برای حالت بستر آبسته برابر ۲۰ می‌باشد.

رولند، سومر و فردسو^{۱۵} (۲۰۰۲) جریان سه بعدی اطراف پایه پل را با استفاده از مدل عددی سه بعدی شبیه‌سازی نمودند. در این بررسی، معادلات سه بعدی ناویه- استوکس حل شده‌اند. در محاسبات رولند و همکارانش، مدل آشفتگی $k-\omega$ مورد استفاده قرار گرفته است. تاثیر ضخامت لایه مرزی، تاثیر زبری بستر و مایل بودن پایه نسبت به خط قائم بر روی شکل‌گیری پیچک نعل اسبی بررسی شده است. طول پیچک نعل اسبی با افزایش عدد رینولدز افزایش نشان داد. برای اعداد رینولدز بالا، این طول به تدریج از مقدار حداکثر خود کاهش می‌یابد. برای مدل سازی تغییرات بستر، از انتقال رسوب بار بستر در این مدل عددی استفاده شده است. این مدل ریخت‌شناختی برای محاسبه آبستتگی اطراف پایه به کار رفته است. در مدل عددی یاد شده ضخامت لایه مرزی ۲۰ سانتی متر، سرعت متوسط جریان ۴۶ سانتی‌متر بر ثانیه، قطر پایه ۱۰ سانتی متر و اندازه ذرات ماسه ۰/۲۶ میلی‌متر بوده است.

¹⁰-Keulegan-Carpenter

¹¹-Olsen & Melaaen

¹²- Van Rijn

¹³-Richardson & Panchang

¹⁴-Yuhi & Ishida

¹⁵-Roulund, Sumer & Fredsoe

صلاح الدین، عمران و چادری^{۱۶} (۲۰۰۴) ایشان با استفاده از نرم افزار فلونتت به شبیه سازی جریان آشفتنه جدا شونده در اطراف پایه پل در شرایط آب زلال پرداخته اند. محاسبات با استفاده از مدل های آشفتگی متفاوتی صورت گرفته است. نتایج حاصل از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ در مورد تنش برشی بستر مقداری اختلاف با نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد. مدل آشفتگی تنش رینولدز نتایج بسیار خوبی را برای الگوی جریان و تنش برشی بستر در اطراف پایه استوانه ای در دو حالت بستر صاف و بستر آبشسته نشان می دهد.

استفاده از مدل های آشفتگی

Rodi به سال ۱۹۸۴ عنوان نمود که درغیاب چرخش قوی مدلسازی آشفتگی چنین جریانهایی می تواند بخوبی توسط استفاده از مدل های ویسکوزیته گردابی جبری ساده صورت گیرد. برای مثال Longendoen به سال ۱۹۹۲ از مدل های آشفتگی $k-\epsilon$ و طول اختلاط برای محاسبه بنادر جزر و مدی استفاده نمود و دریافت که هر دو مدل نتایج مشابهی را بدست می دهند ولی مدل طول اختلاط به گره های محاسباتی کمتری نیاز دارد و بنابراین تلاش محاسباتی خیلی کمتری لازم است. در حالت کلی تئوری طول اختلاط پرانتل تعمیم یافته و عمده ویژگی آن سهولت محاسبات کاربردی آن می باشد.

در اواخر دهه ۷۰ متدهای RNG ۱۷ که ابتدا با مفهوم تئوری کوانتوم بسط یافته و برای نوسانات سرعت بکار می رفت و معادلات ناویه- استوکس که ابتدا "فورستر" (۱۹۷۷) آنرا عنوان نمود، بر آنها حاکم بود. متدهای RNG برای مطالعه آشفتگی بکار می رود و با توسعه مدل های آشفتگی توسط Shanmugasundaram, Mc comb (1983) و Yakhot, Orszag (1986) بسط یافت.

همچنین دو ۱۹ (۱۹۹۷) به توسط یک روش المان محدود، معادلات ناویه- استوکس سه بعدی را با در نظرگیری مدل آشفتگی تصادفی گسسته سازی نمود و تابعی به نام ظرفیت انتقال رسوب را برای آبشستگی محل برای بیان اثرات جریان رو به پایین، شدت ورتکس و شدت آشفتگی در قسمت انتقال رسوب را بیان نمود.

معادلات حاکم

اساساً معادلات هیدرو دینامیک حاکم بر یک سیال توسط معادله پیوستگی و سه معادله اندازه حرکت که در جهت محورهای سه گانه مختصات می باشند و به معادلات ناویه- استوکس معروفند، بیان می شوند. عبارتی این معادلات بیانگر بقای جرم و بقای اندازه حرکت به بیان ریاضی هستند. در این فصل معادلات حاکم بر اساس دیدگاه اولری توضیح داده می شوند. چنانچه یک المان کوچک سیال به عنوان حجم کنترل ثابت در فضای محاسباتی در نظر گرفته شود، در این صورت نیروهای وارده به آن و اصل بقای جرم در این سلول به صورت معادلات مشتق جزئی بیان می شوند. برای یک سیال تراکم ناپذیر لزج، معادلات اساسی هیدرو دینامیک به صورت زیر بیان می شوند:

- معادله بقای جرم

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

- معادله بقای اندازه حرکت

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_{x_i} + \nu \nabla^2 u_i \quad (2)$$

که در آن:

u_i : مولفه سرعت لحظه ای در جهت x_i

ν : لزجت مولکولی

g_{x_i} : مولفه شتاب ثقل در جهت x_i

ρ : چگالی سیال

¹⁶-Salaheldin, Imran & Chaudhry

¹⁷ Renormalized group

¹⁸ Forster

¹⁹ Dou

P : ترم فشار در هر نقطه از سیال

در معادلات پیوستگی و اندازه حرکت نیاز است تا تنش های رینولدز در معادلات، به روش خاصی مدل شوند در این صورت در جریان دو بعدی با وجود سه معادله (پیوستگی و دو معادله اندازه حرکت) سه مجهول میدان جریان (سرعت در جهات X , Y و فشار) معین می شوند. ترم های آشفتگی در معادلات بر اساس یک سری معادلات جبری با معادلات دیفرانسیل تعیین خواهند شد. در سال ۱۸۷۷ بوسینسک فرض کرد که تنش های آشفتگی متناسب با گردایان سرعت متوسط جریان است.

$$-\bar{u}_i \bar{u}_j = \nu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (3)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (4)$$

لزجت گردابه ای (ν_t) برخلاف لزجت مولکولی از نوع خاصیت سیال نمی باشد بلکه تابع توزیع خصوصیات جریان و آشفتگی آن است و مقدار آن از سیالی به سیال دیگر و از نقطه ای به نقطه دیگر متفاوت است.

در معادلات فوق انرژی جنبشی آشفتگی در واحد جرم (k) به صورت زیر بیان می شود مدلهای آشفتگی را با توجه به چگونگی استفاده از مبانی طرح آنها و نیز تعداد معادلات دیفرانسیل جهت ارتباط تنشهای آشفتگی با سرعت متوسط گیری شده یا گردایان آنها، می توان به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

(۱) مدلهای صفر معادله ای

(۲) مدلهای یک معادله ای

(۳) مدلهای دو معادله ای

دو مدل آشفتگی اول به علت استفاده از داده های تجربی که در استفاده از آنها در مراحل مختلف حل به چشم می خورد، مدلهای دو معادله ای قابلیت خوبی در شبیه سازی دقیق جریانهای آشفتگی دارند. از کاربردی ترین مدلهای دو معادله ای، مدلهای $k - \epsilon$ می باشد که کاربرد وسیعی نیز دارد.

روشهای گسسته سازی معادلات

گسسته سازی فرآیندی است که بواسطه آن یک عبارت پیوسته ریاضی مانند یک تابع یا معادله دیفرانسیلی یا انتگرالی که می تواند شامل توابع مختلفی باشد و همه توابعی که در داخل یک میدان با داشتن مقادیر پیوسته نامحدود در نظر گرفته می شوند، توسط عبارات مشابه ولی متفاوت تقریب زده می شوند. به گونه ای که در این حالت مقادیر مجهول تنها در یک تعداد محدودی از نقاط یا حجمهای منفصل تعریف می شوند.

روشهای گسسته سازی به صورت زیر تقسیم بندی می شوند:

۱-المان محدود^{۲۰}

۲-عناصرمرزی^{۲۱}

۳-تفاضل محدود^{۲۲}

۴-حجم محدود^{۲۳}

در حالت کلی روشهای تفاضل محدود برای میدانهای محاسباتی پیچیده سر راست نیستند. اما روشهای حجم محدود یا المان محدود چنین مشکلی ندارند، زیرا متغیر مستقل مستقیماً^{۲۱} در میدان فیزیکی انتگرال گیری می شود، بنابراین، یکسان بودن شبکه دیگر امر مهمی نیست و لذا، اگر بتوان میدان را به چند المان تجزیه کرد و معادلات را بر روی آنها حل کرد، در اینصورت مشکل هندسه میدان محاسباتی مورد نظر به زیر برنامه ای که میدان محاسباتی را شبکه بندی می کند مربوط می شود و ارتباطی به برنامه حل حجم محدود پیدا نمی کند. شایان ذکر است که در روش حجم محدود چون معادله های انتگرالی مستقیماً^{۲۲} در میدان فیزیکی به کار می روند دیگر تبدیل مختصات لازم نیست.

²⁰ Finite element

²¹ Boundary Element

²² Finite Difference

²³ Finite Volume

روش حجم محدود (FVM)

قانونهای بقای حرکت سیال را می‌توان به یکی از شکل‌های ریاضی دیفرانسیلی یا انتگرالی بیان کرد. برای حل معادلات دیفرانسیل به روش عددی، قلمرو حل را به مجموعه‌ای از نقاط تقسیم و معادلات تفاضل محدود را روی آن حل می‌کنیم. از طرف دیگر، هرگاه از شکل انتگرالی معادلات استفاده شود، قلمرو حل را به حجم یا سطحهای کوچک (در حالت دوبعدی) تقسیم می‌کنیم. سپس قانون‌های بقا را در شکل انتگرالی برای حجمهای اولیه به کار می‌بریم.

الگوریتم‌های عددی در روش حجم محدود شامل مراحل زیر می‌باشند:

انتگرال کلی از معادلات حاکم بر جریان سیال روی تمام حجمهای کنترل مربوط به میدان حل.

گسسته‌سازی، شامل جایگذاری نوعی از تقریبهای تفاضل محدود برای عبارتهای داخل معادله انتگرالی می‌باشد این عمل معادلات انتگرالی را به یک سیستم معادلات جبری تبدیل می‌کند.

حل معادلات جبری با استفاده از یک روش تکرار.

قدم اول، یعنی انتگرال گیری از حجم کنترل، روش حجم محدود را از سایر روش‌های عددی (CFD) متمایز می‌کند. دیدگاه حجم محدود، بقاء محلی هرخاصیت از سیال را برای هر حجم کنترل تضمین می‌کند. این رابطه روشن، بین الگوریتم عددی و قاعده کلی بقای اصل فیزیکی، یکی از جاذبه‌های اصلی روش حجم محدود را تشکیل می‌دهد و درک مفاهیم آنرا برای مهندسين، خیلی ساده‌تر از روش‌های دیگر CFD برای بقای یک متغیر جریان ϕ مهیا می‌کند.

جهت استفاده از روش حجم محدود معادلات پیوستگی و اندازه حرکت را می‌توان به شکل کلی زیر نوشت:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = S \quad (5)$$

برای محاسبه مقادیر مجهول معادله بالا، بر روی حجم کنترل انتگرال گرفته می‌شود تا این معادلات به روابط جبری تبدیل شوند. پس از انتگرال گیری با استفاده از قضیه گرین داریم:

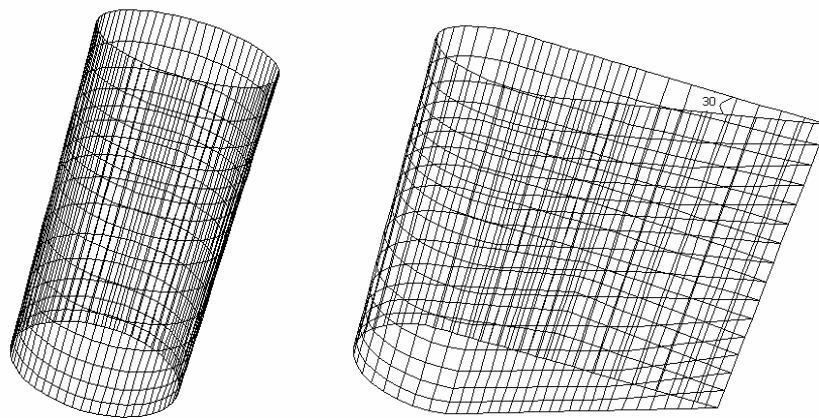
$$\int_{\Omega} \frac{\partial H}{\partial T} dx dy + \oint_{\Gamma} (P dy - Q dx) = \int_{\Omega} S dx dy \quad (6)$$

در روابط فوق Ω برابر با سطح حجم کنترل و Γ برابر با محیط آن می‌باشد، همچنین مقدار S بیانگر نیروهای حجمی می‌باشد. در صورتیکه $\Delta x, \Delta y$ کوچک باشند، انتگرال به یک سری تبدیل خواهد شد.

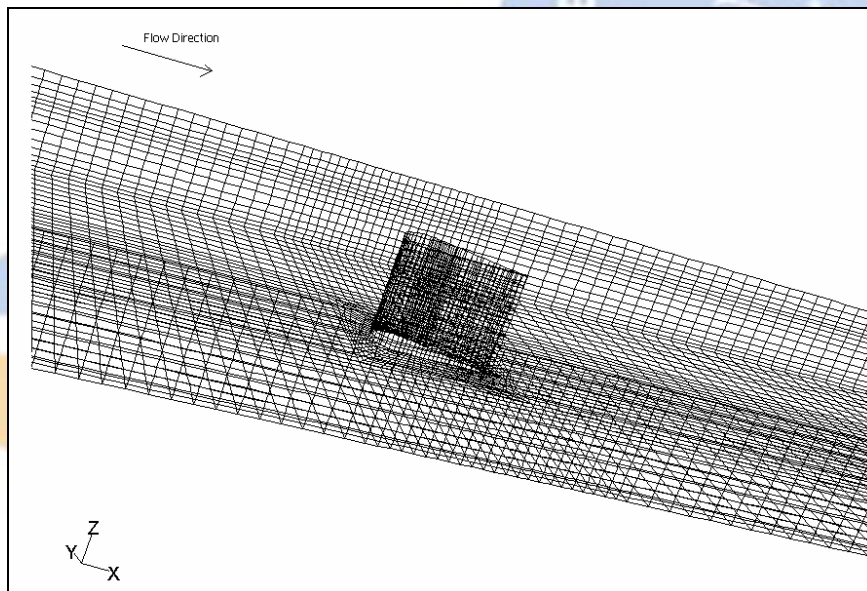
در این بررسی از نرم افزار فلوئنت استفاده شده است که بر پایه روش حجم محدود گسسته سازی شده است.

مدل مورد بررسی

در این بررسی سعی شده شکل استوانه‌ای پایه را به مقطع دوکی شکل که مرکب از مثلث و نیم‌دایره است تغییر داده شود، اینکار باعث می‌شود جدایش به تاخیر افتد و آبشستگی کاهش یابد. علاوه بر اینکار سعی شده جهت مواجهه سیال را با پایه تغییر داده شود. زاویه راس مثلث را برابر ۳۰ درجه انتخاب شده است. جهت یورش سیال را در سه زاویه ۱۵، ۰ و ۳۰ درجه مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۳ مدل‌های مورد بررسی نشان داده شده است. سعی شده همان کانال و مدل آزمایشگاهی درگاهی مورد استفاده قرار گیرد تا مقایسه‌ای نیز با داده‌های تجربی بعمل آید. در شکل ۴ کانال مورد بررسی نیز نشان داده شده است. به جهت کاهش زمان تحلیل قسمتی از کانال آزمایشگاهی برای تحلیل انتخاب شده است. هندسه مدل به توسط پیش پردازنده GAMBIT مدل‌سازی شده است و سپس توسط نرم افزار FLUENT مورد تحلیل قرار گرفته است. شبکه‌بندی مدل‌ها از نوع باساختار چهار وجهی بوده که در مجاورت مرزها و همچنین در نزدیکی پایه از تراکم بالا برخوردار است.



شکل ۳ مدل پایه‌های مورد بررسی و مش بندی مربوطه



شکل ۴ کانال مورد بررسی و مش بندی مربوطه

لازم به ذکر است که بررسی حاضر مدل ابتدا از روی بررسی های آزمایشگاهی مورد صحت سنجی قرار گرفته است و توافق خوبی را نشان داده است .

نتایج

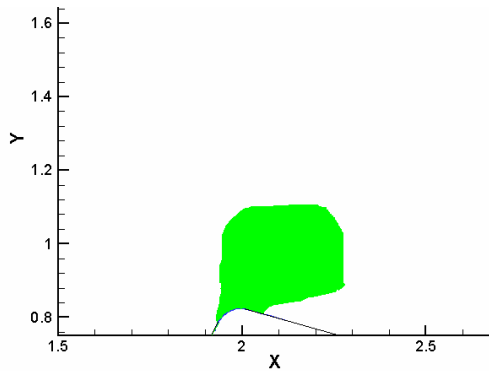
با تحلیل مدل‌های موجود مقادیر حداکثر تنش برشی بستر در جدول ۱ آمده است. در اشکال زیر خطوط همتراز تنش برشی نشان داده شده است .

جدول ۱ مقایسه مقادیر حداکثر تنش برشی بستر

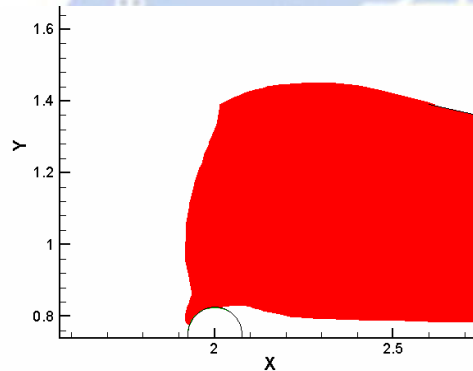
نوع پایه	مقدار تنش برشی حداکثر (Pa)	درصد کاهش تنش برشی حداکثر
استوانه-ای	0/51	-
۰ و ۳۰	0/25	50/98
۱۵ و ۳۰	0/28	45/1
۳۰ و ۳۰	0/30	41/17

از روی روابط موجود مقدار تنش برشی بحرانی بستر را برابر ۰/۱۹۷ محاسبه گردید. با استفاده از تحلیل‌های انجام شده مناطقی که در آنها تنش برشی از مقدار ۰/۱۹۸ بیشتر است بعنوان منطقه تحت آبخستگی در اشکال ۵ تا ۷ نشان داده شده است. بنابراین از روی تحلیل‌های انجام شده چنین می‌توان اظهار نظر نمود که در میان پایه‌های مورد بررسی پایه دوکی با زاویه راس ۳۰ و زاویه یورش صفر نتایج بهتری را نشان می‌دهد و این گفته با توجه به عرض بیشتر پایه نسبت به پایه استوانه‌ای و همچنین سطح بیشتر تصویر شده آن در جهت جریان از لحاظ تئوری‌های مربوط به مکانیک سیالات و آیرودینامیک مطلوب به نظر می‌رسد.

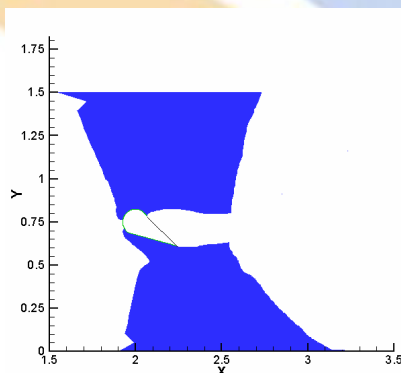
لازم به ذکر است برای پایه استوانه‌ای و پایه دوکی با زاویه یورش صفر درجه بعلت تقارن فقط نصف بالایی پایه آورده شده است



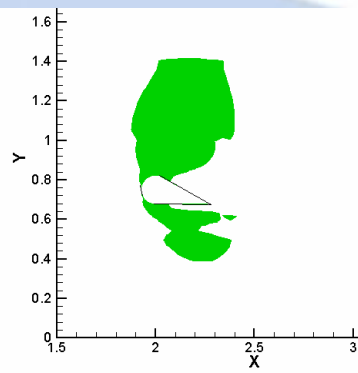
الف



ب



ج



د

شکل ۵ منطقه تحت تنش بحرانی برای پایه های الف: استوانه ای و پایه های دوکی شکل با زاویه یورش ب: صفر، ج: ۱۵ و د: ۳۰ درجه

مراجع:

Ahmed, F. and Rajaratnam, N. (1998), "Flow around bridge piers." J. Hydraulic, Eng., 124(3), 288- 300

Dargahi, B. (1989), " The turbulent flow field around a circular cylinder. " Hydraulics Laboratory, The Royal Institute of Technology, S-10044 Stockholm, Sweden, Experiments in Fluids 8, 1-12 (1989)

FLUENT users guide manual-version 6.2, Fluent Incorporated

Melville, B.W. (1975), "local scour at bridge sites. "Rep No.117, Dept.of Civil Engineering, School of Eng .Univ. of Auckland, Auckland .New Zealand

Tarek M. Salaheldin, S.M.ASCE; Jasim Imran, A.M.ASCE; and M. Hanif Chaudhry, F.ASCE (2004), "Numerical Modeling of Three-Dimensional Flow Field Around Circular Piers. " J. Hydraulic Eng., 130(2), 91-100



Effect of Change of Spindle Support Confronting Direction with Fluid in Reduction of Scouring and its Comparison with Cylinder Support

V. Anvari, Sahand University of Technology

H. Hakimzadeh, Sahand University of Technology

Abstract

Scouring has become a notable issue in rivers and coastal engineering nowadays. Construction of great variety of structures along rivers requires supports that fix them in their places. It must be taken into account that such supports are designed to keep the structure safe against scouring. Bridges, berths, pipelines, vertical breakwater as well as compound structures (including coastal platforms, berths etc.) are prime examples of structures that are exposed to scouring. Scouring makes alterations in the pattern of currents which may result in increased movement of deposits along water and eventually occurrence of scouring. In addition, some sorts of scouring may undermine structures safety and so it is necessary to predict scouring Pattern in order to ensure safety of the structures. Many studies have already been conducted in this regard among them Dargahi experimental studies can be named.

Keywords: *scouring, structure, support, berth, coastal platforms*