



مرکز بررسی‌ها و 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



حبيب حكيم زاده
دانشگاه صنعتی سهند

محمد حامد بشارتی گیوی
دانشگاه صنعتی سهند

hakimzadeh@sut.ac.ir

mhbesharati@yahoo.com

چکیده

پدیده آبشستگی پایه پل های رودخانه ای به دلیل تأثیرگذاری بر روند تخریب پل از اهمیت زیادی در پژوهش های هیدرودینامیکی برخوردار است. علی رغم اینکه آبشستگی اطراف پایه های استوانه ای موضوع پژوهش های زیادی بوده، مروری بر کارهای انجام شده نشان می دهد که بررسی الگوی جریان اطراف پایه های مخروطی شکل تا به حال از توجه کافی پژوهشگران برخوردار نبوده است. در این پژوهش سعی شده است تا با بررسی الگوی جریان اطراف پایه های مخروطی و استوانه ای، مقایسه ای بین الگوی آبشستگی بستر صاف (flat-bed) بین این نوع پایه ها صورت گیرد. در این راستا، مدل های سه بعدی جریان اطراف پایه استوانه ای و پایه های مخروطی با نسبت قطر کف یکسان با پایه استوانه ای و نسبت قطر در سطح آب به قطر کف ۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۳۷۵ و ۰/۲۵ در محیط نرم افزار Gambit ساخته شده و با نرم افزار FLUENT مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج تحلیل نشان می دهد که در صورت استفاده از این پایه های مخروطی به جای پایه استوانه ای، آبشستگی در اطراف پایه به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

کلمات کلیدی: جریان، آبشستگی، پایه پل، پایه مخروطی، مدل سه بعدی، FLUENT

۱- مقدمه

امروزه مسأله آبشستگی یکی از مسائل مهم در مهندسی رودخانه و سواحل می باشد. قرار گیری سازه های مختلف در مسیر جریان رودخانه ای مستلزم تعبیه پایه هایی در این مناطق بوده، در نتیجه این پایه ها همواره در معرض آبشستگی قرار خواهند داشت. پایه پل ها و اسکله ها، خطوط لوله، موج شکن های قائم و یا سازه های ترکیبی از جمله سازه هایی هستند که در رودخانه ها و یا سواحل دریا تحت تأثیر پدیده آبشستگی قرار می گیرند. بطور کلی هنگامی که سازه ها درون یک رودخانه یا محیط ساحلی قرار می گیرند، تغییراتی را در الگوی جریان به وجود می آورند که این تغییرات معمولاً باعث افزایش ظرفیت انتقال رسوب در محیط آبی شده و در نهایت منجر به ایجاد پدیده آبشستگی خواهند شد. در حالی که برخی از پژوهشگران از مزیت سازه ای پایه های با مقطع متغیر در ارتفاع سخن گفته اند، متأسفانه پژوهش پیرامون مزیت های هیدرودینامیکی استفاده از پایه های با مقطع متغیر در ارتفاع بسیار اندک است. دو مزیت هیدرودینامیکی بسیار مهم پایه های مخروطی عبارت از کاهش مولفه سرعت قائم بر روی بالادست پایه و نیز کاهش تنش برشی بستر است که هر دو پارامتر مزبور از عوامل اساسی آبشستگی محسوب می شوند. بنابراین پژوهش پیرامون جریان اطراف پایه مخروطی به عنوان پایه ای با مقطع متغیر در ارتفاع که از دو مزیت طراحی بهینه سازه ای و نیز کاهش آشفتگی جریان نسبت به مقطع متداول استوانه ای برخوردار است می تواند راهگشای پژوهش هایی باشد که به استفاده بیش از پیش از این نوع پایه در طراحی پایه پل منتهی گردد.

استنزی و لوید (Stansby, P. K., and Lloyd, P.M., 1995) با استفاده از یک مدل عددی سه بعدی و روش لاگرانژی و نیز با بکارگیری یک مدل آشفتگی دو لایه جریان در اطراف مدل فیزیکی یک جزیره مخروطی را مورد بررسی قرار دادند [1]. یولیستیانتو و همکاران (Yulistiyanto, B. et al., 1998) نیز با استفاده از یک مدل عددی دو بعدی و روش تفاضل محدود به بررسی نظری جریان در اطراف پایه های استوانه ای پرداختند [2]. همچنین ملویل و چپو (Melville, B. W. and Chiew, Y.M., 1999) به طور تجربی تأثیر زمانی آبشستگی موضعی را در اطراف پایه های پل مورد بررسی قرار داده و روابطی تجربی برای محاسبه عمق آبشستگی ارائه دادند [3]. جانسون و تینگ (Johnson, K. R. and Ting, F.C.K., 2003) مطالعات آزمایشگاهی خود را بر اندازه گیری پروفیل سطح آب و میدان جریان متمرکز نمودند [4]. سرانجام صلاح الدین، عمران و همکاران (Salaheldin, T.M, et al., 2004) یک مدل عددی سه بعدی را برای بررسی الگوی جریان اطراف یک پایه استوانه ای توسعه دادند [5] و با نتایج تجربی موجود از ملویل (Melville, B. W. 1975) مقایسه کردند [6].

در این پژوهش سعی شده است تا با بررسی عددی جریان اطراف پایه های مخروطی با شیب های مختلف و پایه استوانه ای، مقایسه ای بین آبشستگی اطراف این پایه ها انجام گیرد. در این بررسی شبکه بندی میدان محاسباتی در محیط نرم افزار Gambit انجام شده است و برای شبیه سازی الگوی جریان در اطراف پایه ها از نرم افزار FLUENT استفاده شده است. این نرم افزار معادلات حاکم را با استفاده از روش حجم محدود و به صورت مرکز سلولی حل می کند.

در این پژوهش در ابتدا برای صحت سنجی نتایج حاصل از مدل عددی مورد استفاده از داده های تجربی ملویل و همچنین نتایج عددی سه بعدی صلاح الدین و همکاران استفاده شده است.

۲-۲- مدل تجربی

مدل موجود در کانالی به طول ۱۹ متر و عرض ۰/۴۵۶ متر با دیوار های عمودی صیقلی انجام شده است. عمق آب ۰/۱۵ متر و میانگین سرعت جریان ۰/۲۵ متر بر ثانیه بوده است. در این آزمایش از پایه ای استوانه ای به قطر ۰/۰۵۱ متر استفاده شده و زبری بستر معادل قطر میانگین مواد بستر (d_{50}) و برابر ۰/۳۸۵ میلی متر اتخاذ شده است.

۲-۳- مدل عددی

ابتدا در محیط نرم افزار Gambit، کانال مستطیلی به طول ۶ متر، عرض ۰/۴۵۶ متر و ارتفاع ۰/۲۴ متر ساخته شده و سپس پایه استوانه ای به قطر ۰/۰۵۱ متر و ارتفاع ۰/۱۸ متر در فاصله ۳ متری از بالادست و در وسط عرض کانال تعبیه گردیده است. فاصله از بالادست به گونه ای انتخاب شده است که از توسعه یافتگی جریان قبل از گذر از استوانه اطمینان حاصل شود. همچنین لازم است طول پایین دست کانال نیز به گونه ای باشد که جریان در مرز خروجی از تأثیرات گذر از استوانه تهی شده و به اصطلاح جریانی «دست نخورده» باشد. «سارکر» این فاصله را «۱۲ برابر قطر پایه» ذکر کرده است [7] که با توجه به قطر پایه در این مدل (۰/۰۵۱ متر) فاصله ۳ متر تا خروج آب از پایین دست استوانه، کاملاً اطمینان بخش می باشد.

در شبیه سازی مدل، یک میدان محاسباتی دوفازی شامل جریان آب در کانال با ناحیه ای از هوا در بالای آن با استفاده از مدل چند فازی حل شده است. ضخامت بخش هوا باید به اندازه ای بزرگ باشد که از هرگونه اثرات از شرایط مرزی در بالای میدان محاسباتی جلوگیری شود. پژوهش های قبلی نشان داده است که اگر نسبت عمق اولیه هوا به عمق اولیه آب برابر یک سوم یا بیشتر باشد، هیچ اثری از مرز های بالایی وارد نخواهد شد [5]. در این شبیه سازی این نسبت برابر ۰/۶ اتخاذ شده است.

تمامی طول کانال با المان های منشوری شبکه بندی شده است. اندازه این المان ها در سطح افقی برابر ۰/۰۳ متر مربع می باشد که در نزدیکی استوانه این ابعاد به تدریج کوچکتر می شود. در عمق نیز، ارتفاع کانال در فاز آب (تراز ۰ تا ۰/۱۵ متر) به ۷ قسمت تقسیم شده است که ارتفاع این قسمت ها در کف به ۱ سانتی متر و در سطح آب به ۳/۷۵ سانتی متر می رسد. ارتفاع کانال در فاز هوا (تراز ۰/۱۵ تا ۰/۲۴ متر) به ۳ قسمت برابر تقسیم شده است. برای شبکه بندی از شیوه شبکه بندی PAVE استفاده شده است که مبتنی بر شبکه بندی میدان محاسباتی با استفاده از المان های منشوری و به صورت بی ساختار است و علی رغم تغییر میدان محاسباتی در عمق به دلیل مخروطی بودن شکل پایه ها، میدان محاسباتی را با شبکه ای یکپارچه و صاف شبکه بندی می کند. لازم به ذکر است که برای تطبیق هرچه بیشتر نتایج تحلیل ها، مدل جریان در اطراف پایه استوانه ای نیز به همین صورت شبکه بندی شده است. در شکل ۱ نمای از شبکه بندی میدان محاسباتی جریان اطراف پایه استوانه ای مشاهده می شود.

انتخاب مدل آشفتگی

در مدل سازی عددی، از هر سه مدل آشفتگی $k-\epsilon$ (RNG)، تحقق پذیر و استاندارد) استفاده شده و مقایسه نتایج نشان داده است که نتایج مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG همخوانی بیشتری با داده های آزمایشگاهی دارد. لذا در اینجا نتایج به دست آمده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG ارائه شده است.

شرایط مرزی عمومی کانال

برای دیواره ها شرط مرزی عمومی غیر لغزشی انتخاب شده است. زبری دیواره ها برابر صفر و زبری بستر برابر قطر میانگین دانه بندی بستر (d_{50}) یعنی ۰/۳۸۵ میلی متر وارد شده است. همچنین سطح استوانه صیقلی و بدون زبری فرض شده است. به رویه فوقانی کانال، شرط مرزی تقارن (Symmetry) اختصاص داده شده است. این بدان معناست که نرم افزار تمامی فضای فوقانی کانال را هوا در نظر می گیرد. به علاوه، شتاب گرانشی زمین نیز لحاظ شده و سطح فشار مرجع هیدروستاتیک مطابق با فشار در فاز هوا تعریف گردیده است.

شرایط مرزی فاز آب

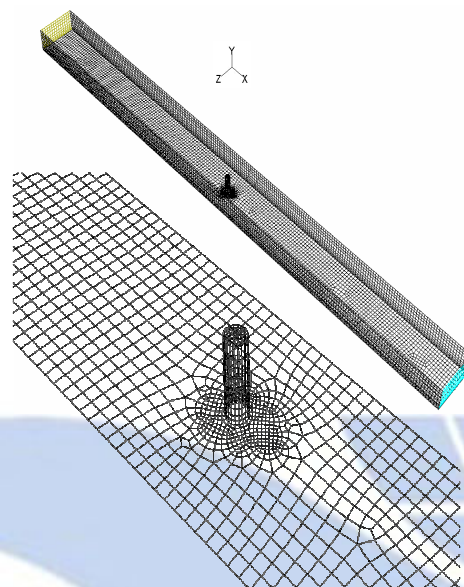
ورودی کانال تا ارتفاع ۰/۱۵ متر به عنوان مرز ورود آب تعریف شده و شرط مرزی ورودی سرعت (Velocity inlet) به کار گرفته شده است. در این شرط مرزی جزئیات زیر تعریف شده است.

شرایط مرزی فاز هوا

ورودی هوا نیز از تراز ۰/۱۵ متری تا بالای کانال در مدل عددی به عنوان شرط مرزی ورودی سرعت تعریف شده و مقدار سرعت جریان ورودی برابر صفر لحاظ شده است. در خروجی آب نیز شرط مرزی خروجی فشار (Pressure outlet) به کار رفته و جزء حجم هوا در ورودی و خروجی هوا برابر ۱ در نظر گرفته شده است.

روند حل معادلات آشفستگی در نرم افزار FLUENT

در این شبیه سازی از روش حل گسسته و خطی سازی ضمنی جهت حل معادلات استفاده شده است. در مدل سازی سطح آزاد فرضیات از مدل چند فازی (Volume of Fluid) و از روش (Geo- Reconstruct) استفاده شده است. مدل چندفازی VOF به منظور مدل کردن جریان چند فاز سیال به کار می رود و روش G-R سطح بین فاز را به بهترین شکل بازسازی می نماید. بدین ترتیب مدل عددی سه بعدی با مشخصات ذکر شده در محیط نرم افزار FLUENT اجرا گردیده و نتایج عددی برای پارامترهای مختلف جریان به دست آمده است.



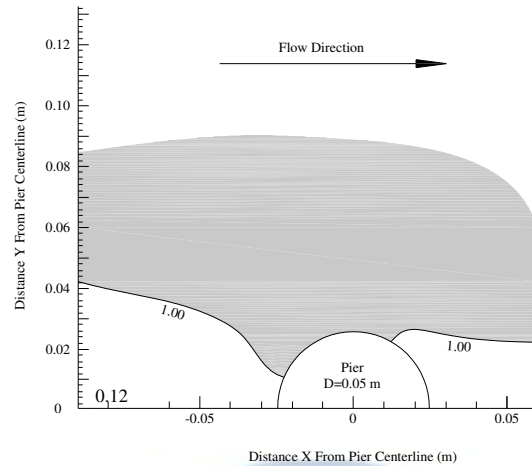
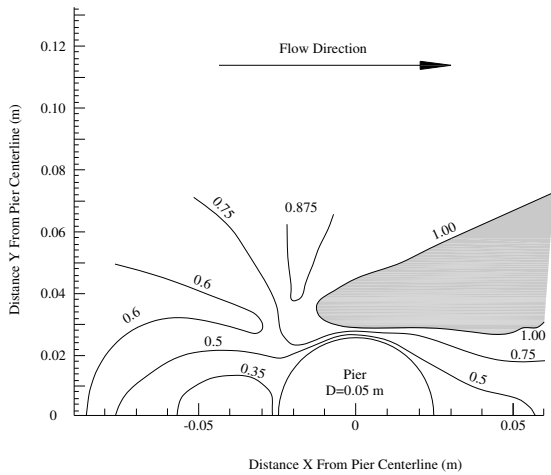
شکل ۱: نمای ایزومتریک شبکه بندی میدان محاسباتی جریان اطراف پایه استوانه

۴-۲- نتایج صحت سنجی

در شکل ۲ نمودار تنش برشی بستر به دست آمده توسط ملویل و مدل عددی سه بعدی حاضر که در آن مقادیر تنش برشی با مقدار تنش برشی بحرانی $\tau_c = 0.196 Pa$ نرمالیزه شده، به تصویر کشیده شده است و دیده می شود که بیشترین مقادیر تنش برشی در بستر در اطراف پایه به وجود آمده است. همانطور که مشاهده می شود مدل عددی صلاح الدین و همکاران، آب شستگی را بیش از اندازه تخمین زده است و نتایج مدل عددی سه بعدی حاضر نسبت به مدل عددی صلاح الدین و همکاران از دقت بیشتری در پیش بینی منطقه آب شستگی برخوردار است.

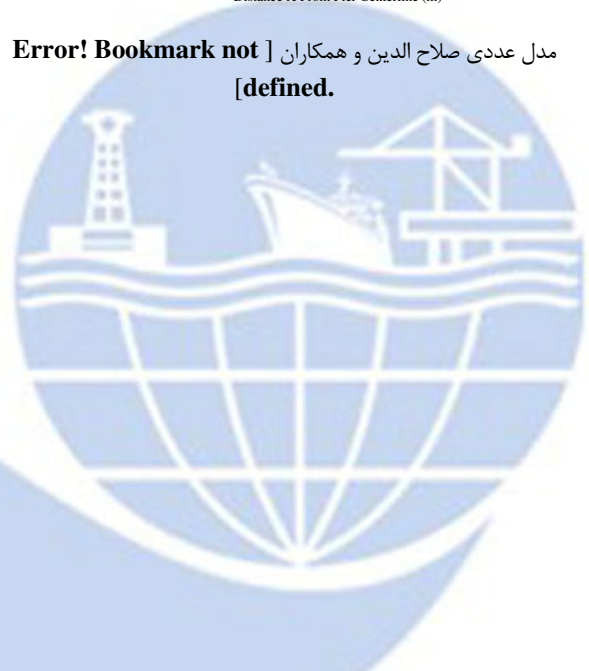
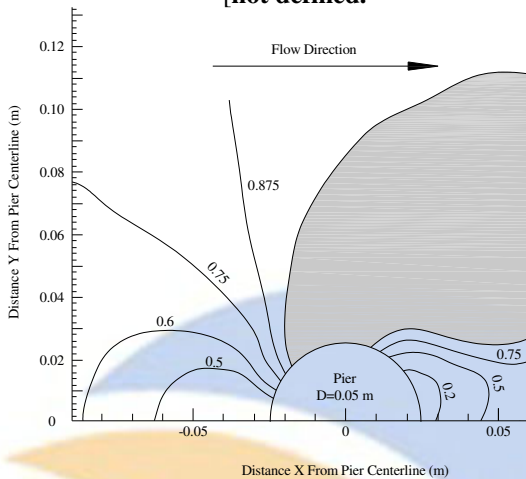
۳- مدل های عددی پایه ها

مدل های عددی جریان اطراف پایه استوانه ای و چهار پایه مخروطی با قطر کف برابر با قطر پایه استوانه ای و نسبت قطر در سطح آب به قطر کف ۰/۲۵، ۰/۳۷۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ به صورت سه بعدی طراحی شده و در نرم افزار FLUENT تحلیل گردیده است. به منظور اطمینان از صحت نتایج، مدل پایه استوانه ای صحت سنجی شده به عنوان مدل استوانه اب مورد بررسی قرار گرفته و مشخصات کانال، جریان و پارامترهای نرم افزار در همه مدل ها به صورت یکسان انتخاب شده است. جزئیات مربوط به پایه های مدل شده، در جدول ۱ آمده است. الگوی جریان گذرنده از اطراف پایه ها با ارتفاع آب ۰.۱۵m در کانالی به طول 6m و عرض 0.456m مورد بررسی قرار گرفته و پایه ها در فاصله ۳ متری از ورودی جریان و در وسط عرض کانال نصب شده اند. شرایط کلی مدل سازی، شرایط مرزی، زبری بستر و ضرایب مدل های آشفستگی مشابه مدل استوانه ای صحت سنجی شده است.



Error! Bookmark] آزمایش های ملویل (Melville (1975) [not defined.

Error! Bookmark not] مدل عددی صلاح الدین و همکاران [defined.



نتایج مدل عددی حل شده با k-ε RNG

شکل ۲: نمودارهای خطوط همتراز تنش برشی نسبت به تنش برشی بحرانی τ/τ_{cr} (قسمت هاشور خورده: منطقه رخداد آبشستگی)

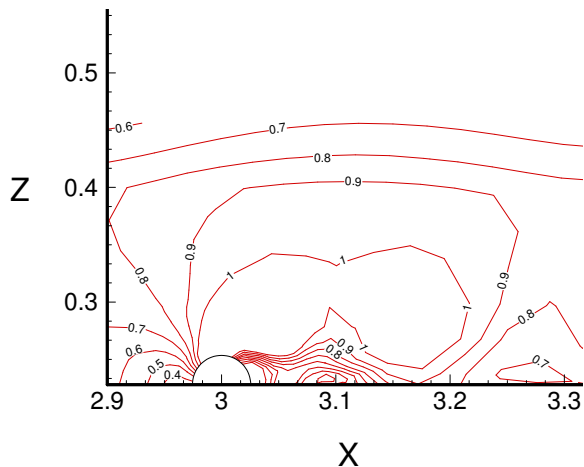
جدول ۱: مشخصات مدل ها

شماره	نوع	قطر کف D_B (متر)	قطر در سطح آب D_S (متر)	نسبت قطر در سطح آب به قطر کف
۱	استوانه	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱	۱
۲	مخروط		۰/۰۳۸	۰/۷۵
۳			۰/۰۲۶	۰/۵
۴			۰/۰۱۹	۰/۳۷۵
۵			۰/۰۱۳	۰/۲۵

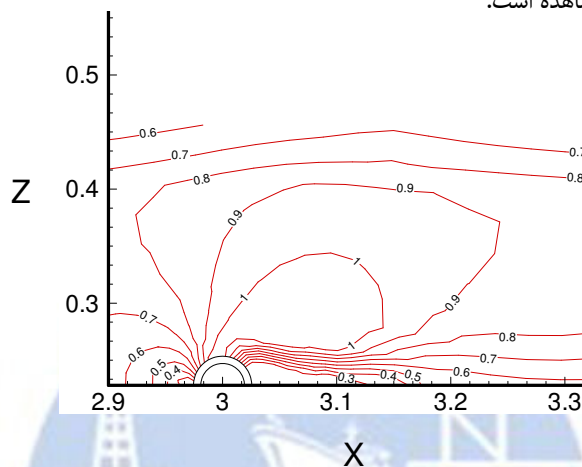
۴- نتایج مدل سازی

«ملویل» در پژوهش های خود بیان کرده است که آب شستگی در نقطه با تنش برشی حداکثر بستر (τ_{max}) و با زاویه ای حدود

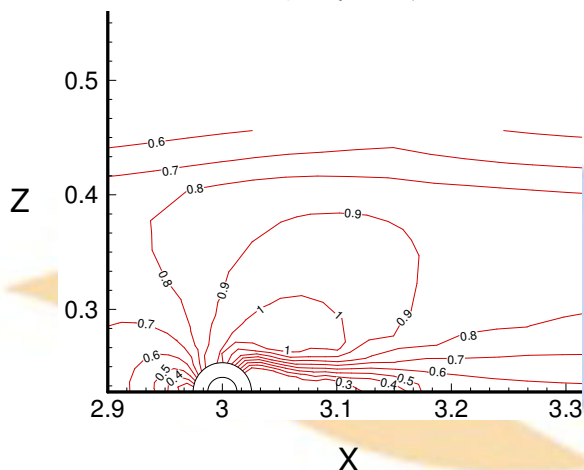
$\pm 100^\circ$ نسبت به جهت جریان آغاز می شود که این در نتیجه افزایش شتاب و جدایی جریان در دو طرف پایه است. در شکل ۳ خطوط هم تراز تنش برشی بستر برای جریان گذرنده از پایه های استوانه ای و مخروطی با نسبت D_s/D_b های مختلف، نسبت به تنش برشی بحرانی $\tau_{cr} = 0.196 Pa$ (محاسبه شده توسط ملویل) به نمایش در آمده است. همانطور که در این شکل دیده می شود تنش برشی بستر در مجاورت پایه به حداکثر مقدار خود می رسد که این موضوع به دلیل آشفتگی ایجاد شده ناشی از برخورد جریان به پایه می باشد. همچنین مقایسه تنش های برشی بستر در اطراف پایه های مختلف نشان می دهد که مقدار تنش برشی حداکثر در مجاورت پایه استوانه ای دارای بیشترین مقدار و در مجاورت پایه مخروطی با $D_s/D_b=0.25$ کمترین مقدار را دارا است که این موضوع به صورت دقیق تر در جدول ۲ قابل مشاهده است.



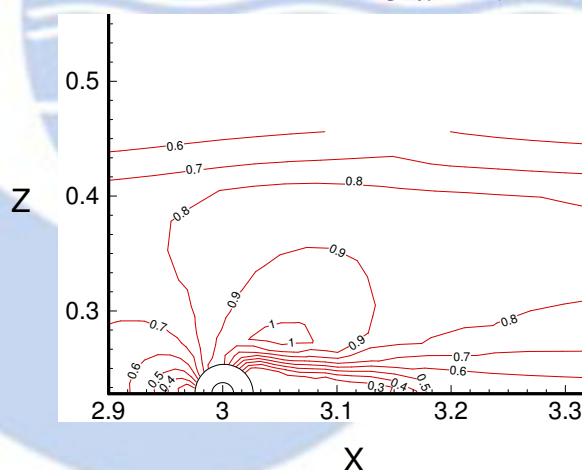
پایه استوانه ای



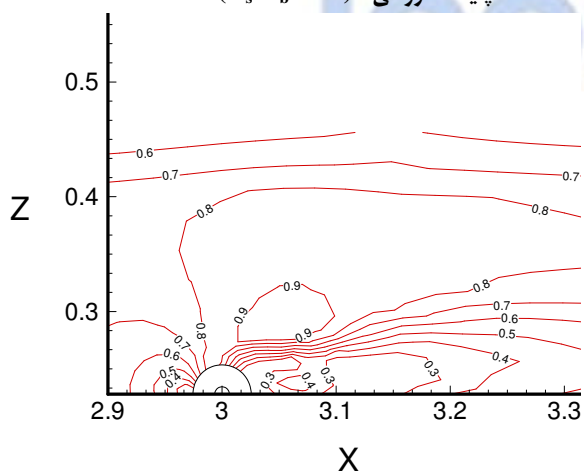
پایه مخروطی - ($D_s/D_b=0.75$)



پایه مخروطی - ($D_s/D_b=0.5$)



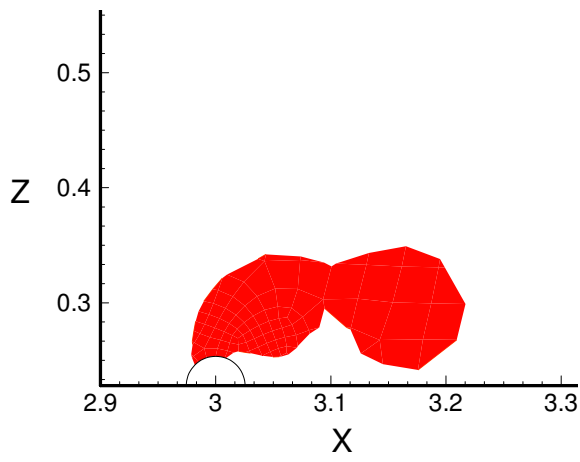
پایه مخروطی - ($D_s/D_b=0.375$)



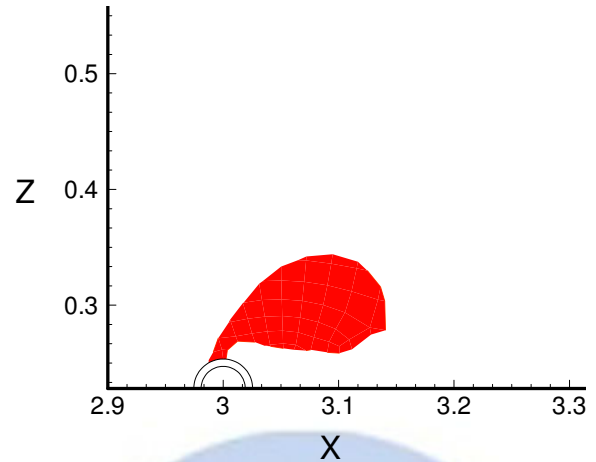
پایه مخروطی - ($D_s/D_b=0.25$)

شکل ۳: خطوط هم تراز تنش برشی بستر نسبت به تنش برشی بحرانی، τ/τ_c

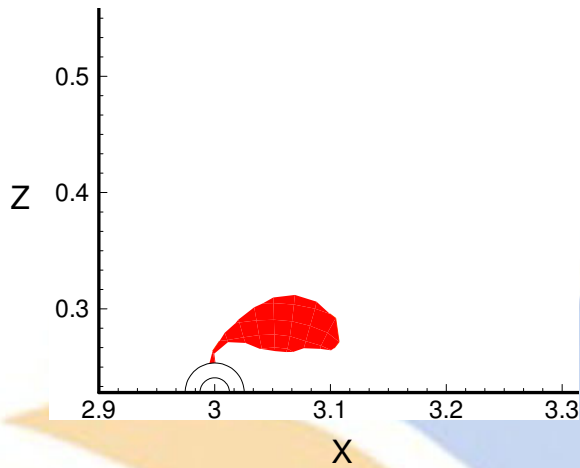
همچنین از روی تعریف، ناحیه آبخستگی منطقه ای است که در آن تنش برشی از تنش برشی بحرانی که از محاسبات به دست آمده است فراتر رفته باشد. بر اساس این تعریف، در شکل ۴ نواحی در معرض آب شستگی تحت اثر جریان گذرنده از پایه های مختلف به نمایش در آمده است.



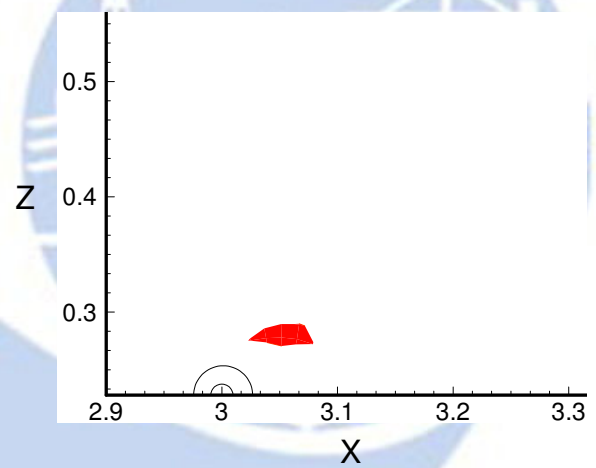
پایه استوانه ای



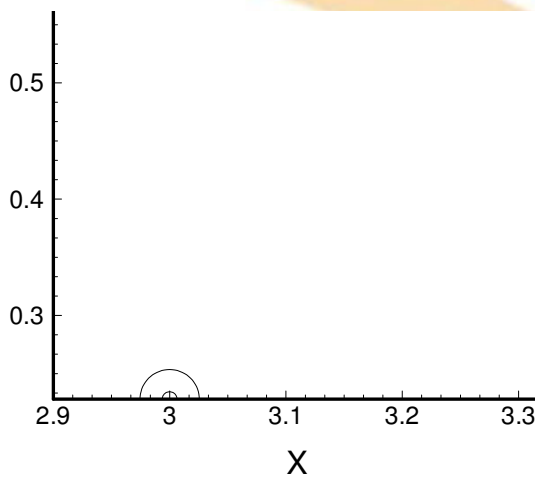
پایه مخروطی - ($D_s/D_b=0.75$)



پایه مخروطی - ($D_s/D_b=0.5$)



پایه مخروطی - ($D_s/D_b=0.375$)



پایه مخروطی - ($D_s/D_b=0.25$)

شکل ۴: نواحی آب شستگی تحت اثر جریان گذرنده از اطراف پایه ها

جدول ۲: حداکثر تنش برشی بستر در ناحیه پیرامون پایه ها

درصد کاهش تنش برشی حداکثر بستر	حداکثر تنش برشی بستر (Pa)	D_s/D_b	نوع پایه
نسبت به پایه استوانه ای	۰/۳۰۸	۱	استوانه
۲۴/۴	۰/۲۳۳	۰/۷۵	مخروط
۲۵/۳	۰/۲۳۰	۰/۵۰	
۲۵/۳	۰/۲۳۰	۰/۳۷۵	
۲۵/۳	۰/۲۳۰	۰/۲۵	

۵- نتیجه گیری

آبشستگی اطراف پایه پل یکی از تهدیدات اصلی برای این نوع سازه در طول دوره طراحی آن به شمار می رود. یکی از راه های کاهش آبشستگی، استفاده از پایه با مقطع متغیر در عمق است که می تواند با کاهش آشفستگی جریان گذرنده از اطراف پایه، آبشستگی را به حداقل برساند. در این پژوهش ناحیه آبشستگی اطراف یک پایه استوانه ای و چهار پایه مخروطی با مدل سازی عددی سه بعدی جریان گذرنده از این پایه ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. طراحی و شبکه بندی این مدل ها با نرم افزار GAMBIT و تحلیل عددی با نرم افزار FLUENT انجام پذیرفته است. بررسی میدان تنش برشی بستر جریان در اطراف پایه های استوانه ای و مخروطی شبیه سازی شده نشان می دهد که استفاده از پایه های مخروطی به جای پایه استوانه ای مقدار تنش برشی بستر و در نتیجه آبشستگی را به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش می دهد، به نحوی که پایه استوانه ای بیشترین مقدار آبشستگی را نسبت به پایه های دیگر تجربه می کند و از سوی دیگر در اطراف پایه مخروطی با نسبت قطر در بستر به سطح آب برابر ۰/۲۵ ناحیه آبشستگی کاملاً از بین می رود. همچنین بررسی مقادیر حداکثر تنش برشی بستر در میدان اطراف پایه ها نشان می دهد که تنها با ۲۵ درصد کاهش در قطر پایه استوانه ای در سطح آب، مقدار تنش برشی بستر حداکثر در میدان اطراف پایه تا حدود ۲۵ درصد کاهش می یابد، اما با کاهش بیشتر قطر در سطح آب کاهش بیشتر در مقدار تنش برشی بستر حداکثر در میدان اطراف پایه ناچیز خواهد بود. همچنین سایر نتایج عددی مربوط به مقادیر مولفه های سرعت قایم نشان داد که این مقادیر در قسمت بالادست پایه بتدریج با افزایش شیب پایه کاهش می یابند. سرانجام اینکه پایه های مخروطی شکل با داشتن دو مزیت هیدرودینامیکی بسیار مهم کاهش مولفه سرعت قایم بر روی بالادست پایه و نیز کاهش تنش برشی بستر که هر دو از عوامل اساسی آبشستگی محسوب می شوند میتوانند به عنوان راهکاری بسیار مناسب برای کاهش آبشستگی مورد توجه قرار گیرند.

۶- مراجع

[1] Stansby, Peter. K. and Lloyd, Peter M., (1995), "A Semi- Implicit Lagrangian Scheme For 3D Shallow-Water Flow with a Two-layer Turbulence Model", International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 20, 115-133.

[2] Yulistiyanto, B., Zech, Y., Graf, W.H., (1998), "Flow Around a Cylinder: Shallow-Water Modeling with Diffusion-Dispersion", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 124, No. 4, 419-428.

[3] Melville, B.W. and Chiew, Y.M., (1999), "Time Scale Local Scour at Bridge Piers", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 125, No. 1, 59-65.

[4] Johnson, K.R. and Ting, F.C.K., (2003), "Measurements of Water Surface Profile and Velocity Field at a Circular Pier", Journal of Engineering Mechanics, Vol. 129, No. 5, 502-513.

[5] Salaheldin, T. M., Imran, J. and Chaudhry, M.H., (2004), "Numerical Modeling of Three-Dimensional Flow Field Around Circular Piers", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 130, No. 2, pp.

91-100.

[6] *Melville, B. W., (1975), "Local Scour at Bridge Sites", Rep. No. 117, Dept. of Civil Engineering, School of Engineering., Univ. of Auckland, Auckland, New Zealand.*

[7] *Sarker, Md. A., (1998), "Flow Measurements Around Scoured Bridge Piers Using Acoustic-Doppler Velocity-meter (ADV)", Flow Meas. Instrum., 9, 217–227.*



Numerical Analysis of Currents Surrounding Cylindrical and Cone Supports Using Turbulence Model

M. H. BesharatiGivi, Sahand University of Technology

H. Hakimzadeh, Sahand University of Technology

Abstract

Scouring of river bridges is of great importance in hydrodynamic studies because of its impacts on the destruction of bridge. Pattern of currents that surround cone supports has not been focused in previous studies. This article tries to analyze current patterns and make a comparison between flat-bed scouring patterns of these supports. For this purpose, three-dimensional models of currents were made by Gambit software and analyzed by FLUENT software. Results indicate that if cone supports are used instead of cylindrical supports, scouring will notably reduce.

Keywords: *scouring, cylindrical support, river bridges, hydrodynamic studies, flat-bed*