

مدلسازی عددی اصلاح الگوی جریان و کاهش عمق آبستگي پایه پل ها با استفاده از تغيير شکل پایه ها

محسن سلیمانی بابرصاد^{۱*}، قاسم احمد فخرالدین^۲

۱- گروه مهندسی آب، مرکز تحقیقات علوم آب و محیط زیست، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

Mohsen.solb@gmail.com تلفن: ۰۹۱۶۹۰۹۹۷۸۴

۲- کارشناس ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۷

چکیده

ساخت و ساز بر روی رودخانه‌ها به منظور سهولت در برقراری ارتباط و کاهش هزینه‌ها و یا برای مهار و کنترل سیلاب‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. اما ساخت سازه‌های هیدرولیکی که مستقیماً در معرض جریان‌های سیلابی قرار می‌گیرند تنها با تکیه بر بررسی ظرفیت باربری سازه‌ها و تحلیل آنها صرفاً بر مبنای اصول حاکم بر مکانیک جامدات میسر نیست و باید علاوه بر بررسی سازه‌ای، تاثیر مسائل محیطی نیز بر روی پایداری سازه بررسی شود. تخمین حداکثر جریان پیرامون پایه پل با روابط نیمه تجربی روشی قابل اطمینان نیست. یکی از روش‌های شناخت فرایند فرسایش مطالعه ساختار جریان است. در این تحقیق به شبیه‌سازی سه بعدی جریان پیرامون پایه شیب دار پرداخته شده است. به این منظور با استفاده از نرم افزار کامسول که قابلیت مدل کردن جریان به صورت سه بعدی را دارد، برای شبیه‌سازی الگوی جریان تلاطمی در اطراف پایه پل استفاده شد. به منظور صحت‌سنجی نرم‌افزار، مطالعه الگوی جریان در اطراف پایه شیب دار انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی مطابقت مناسبی را با نتایج واقعی داشته که نمایانگر قابلیت بالای مدل شبیه‌سازی در پیش‌بینی جریان پیرامون پایه شیب دار دارد.

کلیدواژه: پایه، پایه شیب دار، جریان پیرامون پایه، نرم‌افزار کامسول.

مقدمه

گردابه‌های عمودی و افقی شوند. گردابه‌های عمودی عامل اصلی آبستگي بوده و گردابه‌های افقی سبب نهشته شدن رسوبات می‌شود (Shafai Bajestan et al., 2018). شکل‌گیری گردابه‌های سه بعدی در اطراف سازه‌های هیدرولیکی الگوهای پیچیده‌ای را پدید می‌آورد که مطالعه آن را با دشواری روبرو می‌سازد. مطالعه الگوی جریان در حالت سه بعدی به صورت فیزیکی یا عددی امکان‌پذیر است اما مدلسازی فیزیکی معمولاً وقت‌گیر و پرهزینه بوده و ضمناً بدلیل عدم دسترسی یا دشواری دسترسی به ابزارهای دقیق سنجش سه بعدی سرعت، عملاً این نوع شبیه‌سازی را با چالش روبرو می‌کند. در صورتی که بتوان معادلات حاکم بر

ساخت و ساز بر روی رودخانه‌ها به منظور سهولت در برقراری ارتباط و کاهش هزینه‌ها و یا برای مهار و کنترل سیلاب‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. اما ساخت سازه‌های هیدرولیکی که مستقیماً در معرض جریان‌های سیلابی قرار می‌گیرند تنها با تکیه بر بررسی ظرفیت باربری سازه‌ها و تحلیل آنها صرفاً بر مبنای اصول حاکم بر مکانیک جامدات میسر نیست و باید علاوه بر بررسی سازه‌ای، تاثیر مسائل محیطی نیز بر روی پایداری سازه بررسی شود (Safaei et al., 2015). سازه‌هایی چون پایه پل مانند مانع در مقابل جریان عمل کرده و سبب می‌شود الگوی جریان در پیرامون پایه دچار آشفتگی زیاد شده و باعث ایجاد

Solimani Babarsad et al., (2016)، (2021) به بررسی الگوی جریان و میزان آبخستگی پیرامون پایه استوانه ای پرداخت. در این مطالعه برای کاهش عمق آبخستگی و افزایش مقاومت خاک از صفحات ژئوتکستایل استفاده شد. این صفحات دور تا دور پایه پل قرار گرفته و بر روی آن سنگ چینی صورت می گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد که پهن کردن صفحات دایره ای ژئوتکستایل به صورت ضریبی از قطر پایه می توانند در کاهش حداکثر عمق آبخستگی بسیار موثر باشد. (Imamzadehei et al., 2016) به بررسی تاثیر جانمایی پایه در مقابل جهت جریان به منظور کاهش عمق آبخستگی پرداخت. در این تحقیق پایه ها با شکل های مختلف دایره ای، گرد گوشه در بالادست و گرد گوشه در پایین دست در معرض جریان قرار گرفت و پروفیل سه بعدی سرعت توسط سرعت سنج ADV برداشت شد. نتیجه این مطالعه نشان داد که پایه با دماغه گرد شده در پایین دست می تواند حداکثر عمق آبخستگی را کاهش دهد، میزان کاهش حداکثر عمق آبخستگی در قیاس با پایه شاهد حدود ۵۴ درصد بوده است. این مطالعه نشان داد که با تغییر شکل هندسی پایه می توان بدون استفاده از ریپ رپ یا طوقه و یا حتی ایجاد شکاف در پایه به میزان زیادی از حداکثر عمق آبخستگی کاست. (Vaghefi and Meraji, 2019) به بررسی تاثیر پایه های پل شبیدار بر روی میزان آبخستگی پرداخت. در این مطالعه پایه های پل با دو قطر و زاویه های مختلف نسبت به پایاب به ازای دبی های مختلف مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفتند. نتایج آزمایش ها نشان داد که با افزایش زاویه پایه نسبت به پایاب به شدت از حداکثر عمق آبخستگی و ابعاد آن کاسته می شود، و در ضمن با افزایش قطر پایبهر میزان آبخستگی افزوده می شود. (Hassanzadeh et al., 2018) به بررسی سه بعدی الگوی جریان و آشفستگی پیرامون پایه پل پرداخت. از آنجا که الگوی جریان های

حرکت سیالات را به خوبی شناسایی کرد و راهکارهای ریاضی حل این معادلات نیز در دسترس باشند آنگاه می توان شرایط جریان را به کمک رایانه مدلسازی کرد. در شبیه سازی ریاضی امکان گرفتن انواع خروجی با دقت بالا وجود داشته و امکان تغییر داده های ورودی به سادگی وجود دارد در صورتی که تغییر شرایط اولیه و مرزی در مدل فیزیکی بعضاً دشوار و یا پرهزینه می باشد. پایه های پل همواره در معرض آبخستگی و گردابه های شدید قرار دارند و به همین سبب تلاش های زیادی جهت بهینه سازی هیدرولیکی آنها تا کنون صورت گرفته است (Solimani Babarsad and Safaei, 2021). بعضی از این تلاش ها بر روی تغییر الگوی جریان معطوف بوده و سعی شده تا قدرت گردابه های شکل گرفته در اطراف سازه به حداقل برسد (Solimani Babarsad et al., 2021)، مانند خط جریانی ساختن پایه ها، استفاده از پایه های سوراخ دار (التخیلی، ۲۰۱۶)، شیب دار کردن جلوی پایه ها (Akhlaghi et al., 2020)، تبدیل پایه های منفرد به گروه پایه ها، استفاده از پره های مستغرق و ... (Abousaeidi et al., 2018). برخی دیگر از تلاش ها نیز بر روی افزایش مقاومت بستر و یا انحراف جریان های گردابی از روی بستر استوار بوده است که در این بین می توان به استفاده از ریپ رپ در اطراف پایه ها و طوقه و ژئوتکستایل اشاره کرد (Imamzadehei et al., 2016). نرم افزار کامسول قابلیت استفاده در شاخه های مختلف مهندسی از جمله مکانیک سیالات، مکانیک جامدات، عمران، مهندسی خاک، شیمی، فیزیک و ... را داشته و از این رو در تحقیق حاضر از نرم افزار کامسول برای شبیه سازی الگوی سه بعدی جریان پیرامون پایه های پل شبیدار در حال تک فاز استفاده شد و رفتار سه بعدی جریان در اطراف این پایه ها را با شرایط پایه عمودی (شاهد) مورد مقایسه قرار دادیم. (Imamzadehei et al.,)

بیشترین کاهش در حداکثر عمق آبستنگی رخ داده و میزان آن ۸۹ درصد کاسته می شود. (Shahsavari et al., 2018) به بررسی تاثیر پایه های شیبدار در میزان آبستنگی پرداخت. در این تحقیق پایه های با زاویه ۱۵،۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به افق ساخته و بر روی بستر فرسایش پذیر قرار گرفت. نتایج این تحقیق که در سه دبی ۵،۵، ۶،۹ و ۷،۷ لیتر در ثانیه صورت پذیرفت حاکی از آن بود که بهترین شیب برای به حداقل رساندن عمق آبستنگی در سرعت هایی کوچکتر از آستانه حرکت ذرات مربوط به زاویه ۱۵ درجه می باشد. در سرعت های بالاتر از سرعت آستانه ذرات بهترین عملکرد حفاظتی مربوط به سازه با شیب ۴۵ درجه می باشد. طاهری (۱۳۹۰) در تحقیق خود به بررسی تاثیر بکارگیری سطح شیب دار یا گوه مستغرق در بالادست پایه پل پرداخت و رفتار جریان را به صورت آزمایشگاهی تحلیل کرد. عملکرد سازه های مورد استفاده برای کاهش حداکثر عمق آبستنگی یا بصورت حفاظتی و یا بصورت تغییر دهنده الگوی جریان می باشد. در تحقیق مذکور تاثیر گوه مستغرق بر کاهش حداکثر عمق آبستنگی اطراف پایه های استوانه ای مورد مطالعه قرار گرفت. گوه مستغرق عملکردی دوگانه و پربازده دارد که قادر است تا ۶۵ درصد حداکثر عمق آبستنگی را کاهش داده و از نظر ضوابط اقتصادی و اجرایی نسبت به سازه های دیگر دارای مزایای متعددی می باشد. این سازه در قسمت جلوی پایه عملکرد حفاظتی دارد و علاوه بر آن سبب جدایی ناحیه پر قدرت گرداب های نعل اسبی از بستر و برخورد دنباله ضعیف شده آنها با بستر می گردد. از اینرو در این پژوهش سعی شده است تا با بررسی عددی جریان اطراف پایه های شیبدار با شیب های مختلف مقایسه ای بین الگوی جریان جهت بررسی میزان کاهش عمق آبستنگی و تغییرات الگوی جریان اطراف این پایه ها انجام گیرد.

گردابی و تنش برشی نقش اصلی را در میزان آبستنگی بازی می کنند در این تحقیق الگوی سه بعدی جریان به منظور شناخت بهتر رفتار آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای برداشت سه بعدی الگوی جریان در ۱۰۲ نقطه نزدیک بستر مدل فیزیکی مقادیر لحظه ای سرعت توسط سرعت سنج داپلر اکوستیک ثبت شد. نتیجه این مطالعه به درک بهتر شرایط تشکیل گردابه ها در اطراف پایه پل و تاثیر آن در میزان رسوبشویی کمک بسزایی می کند. Chiew and Melville (1987) به بررسی راهکاری جهت کاهش قدرت گردابه های اطراف پایه های پل و در نتیجه کاهش میزان آبستنگی پرداخت. در این تحقیق سعی شد تا بوسیله بازشدگی هایی فشار در طرفین پایه متعادل شود. برای انجام آزمایش ها از سه نوع پایه دایره ای، مربعی و مستطیلی استفاده شد. نتیجه آزمایش ها نشان داد که با شکاف هایی با قطر ۲۰ درصد عرض پایه و فواصل بازشدگی معادل عرض پایه می توان حداکثر کاهش را در عمق و ابعاد آبستنگی پدید آورد، در این حالت میزان کاهش حداکثر عمق آبستنگی معادل ۴۵ درصد و میزان کاهش حجم چاله ی آبستنگی به میزان ۶۴ درصد حاصل شد. (Rahimi et al. (2017) به مطالعه الگوی جریان آشفته پیرامون پایه استوانه ای پرداخت. در این تحقیق برای آشکارسازی رفتار جریان پیرامون پایه پل استوانه ای از حباب های هیدروژن استفاده شد و با این روش چگونگی جداشدگی لایه مرزی سه بعدی و تشکیل گردابه های نعل اسبی به وضوح قابل رویت بودند. نتایج آزمایش ها نشان داد که تعداد و ابعاد گردابه ای نعل اسبی به عدد رینولدز جریان وابسته است. النخیلی (Shahsavari et al. (2018) تاثیر شکاف درون پایه های پل را در کاهش حداکثر عمق آبستنگی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. نتیجه این آزمایش ها نشان داد که با ایجاد شکاف زاویه دار (۴۵ درجه نسبت به افق) به فطر معادل ۴۰ درصد قطر پایه

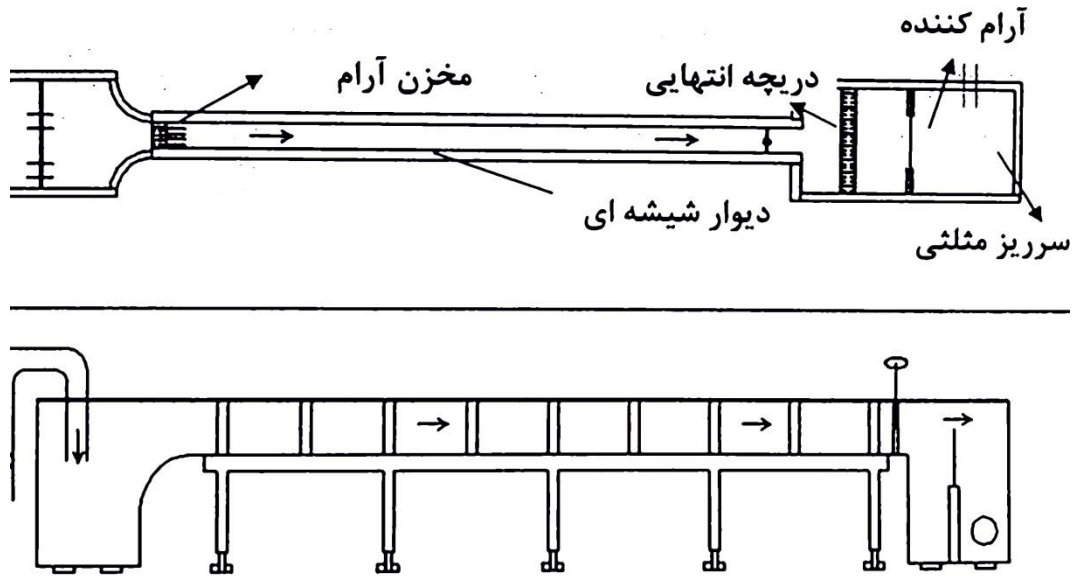
مدل بر مبنای تراکم شبکه بندی، استخراج خروجی های مدل و تجزیه و تحلیل داده های خروجی می باشد. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار کامسول، میدان جریان سه بعدی متلاطم در اطراف پایه شیب دار شیب دار و سری گروه پایه شیب دار پل که در فلوم آزمایشگاهی شبیه سازی شده است و توزیع سرعت ها و مشخصات جریان در اطراف پایه شیب دارا با چپنش متفاوت مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مشخصات مدل آزمایشگاهی

برای شبیه سازی جریان در پیرامون پایه شیب دار، از مدل آزمایشگاهی خواجه نوری (۱۳۸۵) در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشگاه آزاد واحد شوشتر استفاده شد که طرح شماتیک آن در شکل ۴-۲۸ مشاهده می گردد.

نرم افزار کامسول برای حل معادلات حاکم از روش المان محدود استفاده می کند و برای انجام آنالیز و ارائه خروجی ها نیازی به نرم افزار های پیش پردازنده و پس پردازنده ندارد. بخش اصلی تحقیق حاضر مبتنی بر شبیه سازی رایانه ای می باشد بگونه ای که داده های هیدرولیکی که پس از آنالیز ابعادی و تعریف سناریوها استخراج می شوند بعنوان داده های ورودی برای مدل عددی در نظر گرفته می شود و مدل عددی با حل معادلات حاکم بر حرکت سیال اطلاعاتی را بعنوان خروجی ارائه می دهد که این اطلاعات شامل مشخصات فیزیکی میدان جریان است. بطور خلاصه مراحل گام به گام تحقیق شامل آنالیز ابعادی، تعریف سناریوها براساس اطلاعات هیدرولیکی و ژئومتری (عمق، سرعت، عدد فرود، شکل و ابعاد پایه شیب دار)، شبیه سازی رایانه ای با استفاده از نرم افزار کامسول^۱، آنالیز حساسیت نتایج

¹ Comsol



شکل ۱- طرح شماتیک فلوم آزمایشگاهی

پایه‌های مورد استفاده در آزمایش برابر ۵ سانتی‌متر و فاصله مرکز دو پایه از هم در حدود ۲۰ سانتی‌متر بوده است. همچنین پایه اول در فاصله ۱ متری از ابتدای بستر رسوبی قرار داده شده است. سایر مشخصات آزمایش در جدول ۴-۶ آورده شده است.

فلوم شیشه‌ای مورد آزمایش دارای عرض ۷۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و طول ۱۵ متر می‌باشد. آزمایش در یک محدوده ۲ متری در وسط کانال و پوشیده از رسوبات با ضخامت ۱۲ سانتی‌متر انجام گرفته است. قطر میانگین دانه‌بندی رسوبات مورد استفاده در این آزمایش ۰/۶۳ میلی‌متر می‌باشد ($d_{50}=0.63 \text{ mm}$). قطر

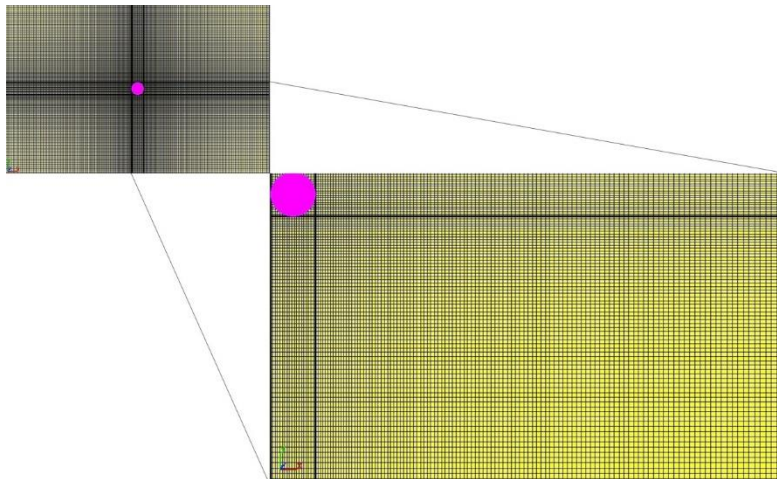
جدول ۱- جدول مشخصات

نام آزمایش	فاصله پایه‌ها (cm)	دبی (لیتر بر ثانیه)	عمق جریان (سانتی متر)	عدد فرود	عدد رینولدز	دما (درجه سانتی گراد)
M20	۲۰	۱۹/۵	۱۰	۰/۲۸۱	۲۷۸۵۷/۱۴	۲۰

شبیه‌سازی مدل

مش‌بندی، که نرم‌افزار قابلیت تولید آن را دارد به کار گرفته شد. نمای مش‌بندی و فشردگی آن در پیرامون پایه شیب‌دار در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.

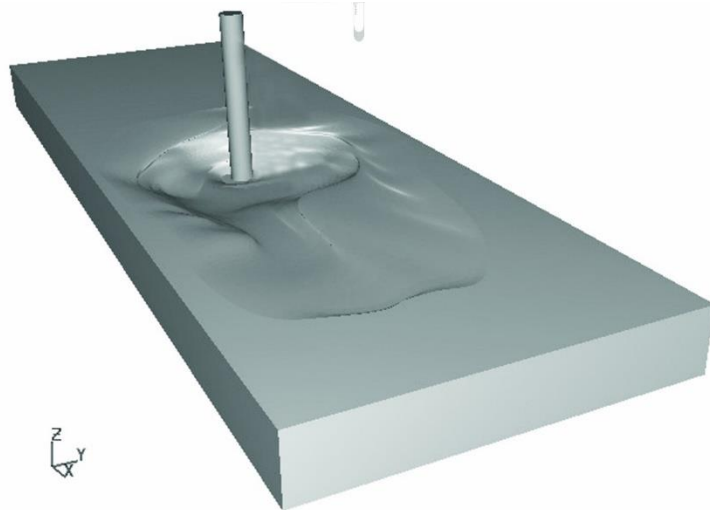
در این تحقیق برای شبیه‌سازی، از شبکه مش‌بندی کارت‌زین استفاده شد. همچنین برای دقت بیشتر شبیه‌سازی در پیرامون پایه شیب دار، فشردگی



شکل ۲- مش‌بندی و فشردگی آن در پیرامون پایه شیب‌دار

۱ نزدیکتر شوند شبکه محاسباتی دقت بالاتری دارد. برای مدل کردن بستر جریان، دو نرم‌افزار AutoCAD و SolidWorks با فرمت STL ۴ به کار گرفته شد و برای این منظور از خطوط تراز و پروفیل عمق آب‌سستگی موجود در پژوهش صورت گرفته توسط خواجه‌نوری (۱۳۸۵) استفاده شد. نمای سه‌بعدی پیرامون پایه مدل شده در شکل ۴-۲۹ مشاهده می‌شود.

در نرم‌افزار کامسول از دو فاکتور حداکثر نسبت منظری ۲ و حداکثر نسبت طول سلول‌های همسایه ۳ جهت تنظیم شبکه محاسباتی استفاده می‌گردد. فاکتور اول یعنی حداکثر نسبت منظری که عبارت است از نسبت ابعاد سلول در جهات مختلف برای دقت بیشتر شبکه محاسباتی باید عددی بین ۱ تا ۳ باشد. همچنین فاکتور دوم یعنی حداکثر نسبت طول سلول‌های همسایه باید عددی کمتر از ۱/۲۵ باشد. هرچه این دو مقدار به عدد



شکل ۳- مدل سه بعدی بستر پایه جریان شیب دار

معادلات حاکم

معادلات اندازه حرکت، جزئی از معادلات ناویر-استوکس هستند. معادلات ناویر-استوکس با توجه به متدهای استفاده شده در نرم افزار از روابط زیر می باشند:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z}) - \xi \frac{A_y v^2}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z}) - \xi \frac{A_y uv}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \left[R \frac{\partial p}{\partial y} \right] + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s) \quad (4)$$

که در این روابط (G_x, G_y, G_z) شتاب ثقل در جهت (x, y, z) و (f_x, f_y, f_z) شتابهای لزجت می باشند. (b_x, b_y, b_z) افت های جریان در محیط

معادله بقای جرم یا معادله پیوستگی

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (1)$$

که در این معادله (VF) مقدار نسبت حجم باز به جریان، ρ جرم مخصوص سیال، (u, v, w) به ترتیب سرعت در راستای (x, y, z) ، (A_x, A_y, A_z) به ترتیب مقادیر کسرهای سطحی برای جریان در راستای (x, y, z) ، R و ξ مربوط به سیستم مختصات انتخابی بطوریکه در مختصات کارتزین (مستطیلی)، R برابر ۱ و ξ برابر صفر است. R_{DIF} تابع دیفیوژن و R_{SOR} تابع چشمه و نیز مربوط به محیط های متخلخل و ورود سیال ثانویه به محیط محاسبات با مقادیر و زمان های تعیین شده، و یا به عبارتی مسائل با دو نوع سیال می باشد.

معادلات اندازه حرکت

در عبارت‌های معادله اپسیلون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \\ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(a_k \mu_{eff}) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \\ \rho \varepsilon - Y_m + S_k \end{aligned} \quad (۶)$$

(۳-۱۵)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \\ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(a_\varepsilon \mu_{eff}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + \\ C_{3\varepsilon} G_b) \end{aligned} \quad (۷)$$

$$-C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (۸)$$

مدل RNG از روابطی نظیر روابط موجود در مدل $k - \varepsilon$ استفاده می‌کند. با این تفاوت که ضرایب ثابت موجود در مدل $k - \varepsilon$ که به روش تجربی استخراج می‌شدند، در مدل RNG به صورت صریح محاسبه می‌شوند (قاسم زاده، ۱۳۹۲).

نتایج و بحث

مقایسه پایه‌های شیب دار پل بر روی پروفیل آبشستگی اطراف پایه پل در دبی آستانه حرکت، کاهش ماکزیمم عمق آبشستگی در دماغه گرد نسبت به دماغه مسطح در بهترین حالت ۲۸ درصد مشاهده شد، و برای دماغه مثلثی ۷۶ درصد، که نشان دهنده بهتر بودن دماغه تیز در کاهش قدرت گرداب‌ها می‌باشد. در هر دو دماغه (گرد و مثلثی) با افزایش سرعت آب، ماکزیمم عمق آبشستگی نسبت به دماغه مسطح نزدیکتر می‌شد. در تمام آزمایش‌ها با افزایش عدد فرود، عمق آبشستگی افزایش پیدا کرد.

متخلخل و عبارت آخر سمت راست مربوط به تزریق جرم از یک منبع احتمالی موجود با مولفه هندسی مشخص می‌باشد.

معادله حجم جریان

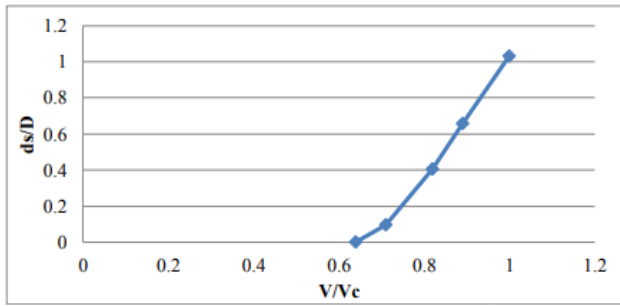
$$V_F \frac{\partial F}{\partial t} + \nabla \cdot (AUF) = 0 \quad (۵)$$

که در این رابطه (A) متوسط نسبت مساحت جریان در جهات (x, y, z) ، (U) متوسط سرعت در جهات (x, y, z) ، (F) تابع نسبت سیال که مقادیری بین (۰ و ۱) دارد. اگر تابع نسبت سیال (F) برابر با ۱ باشد، نشان دهنده اشغال کامل فضای سلول شبکه‌بندی توسط جریان و اگر برابر با ۰ باشد بیانگر عدم وجود جریان است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۱).

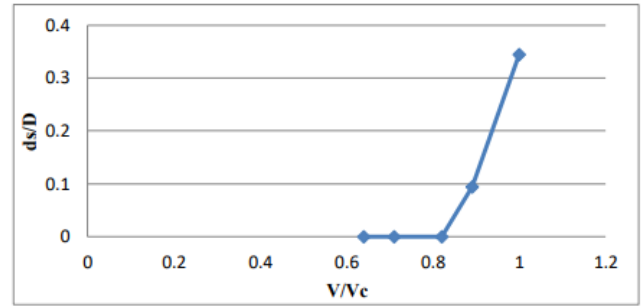
مدل $k - \varepsilon$ (RNG)

مدل RNG به منظور مدل کردن حرکت در مقیاس‌های کوچکتر و تاثیرات آنها به وسیله نرمال سازی مجدد معادلات ناویر استوکس گسترش داده شده است. در مدل استاندارد $k - \varepsilon$ ، لزجت گردابی به وسیله مقیاس طول آشفتگی تعیین می‌شود، بنابراین پخش آشفتگی محاسبه شده تنها در مقیاس‌های مخصوصی اتفاق می‌افتد. در حالیکه در واقعیت، همه مقیاس‌های حرکت در پخش آشفتگی شرکت دارند. روش RNG یک ابزار ریاضی برای استخراج مدل آشفتگی شبیه به مدل $k - \varepsilon$ است، که منجر به یک قالب اصلاح شده از معادلات اپسیلون می‌شود که برای محاسبه مقیاس‌های متفاوت حرکت، از طریق تغییرات

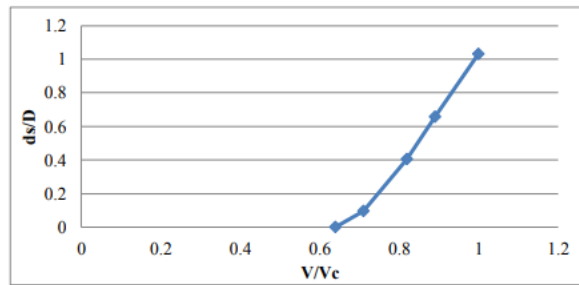
پایه با شیب ۸۵ درجه



نسبت عمق آبستگي پایه ۸۵ درجه با دماغه دایره ای

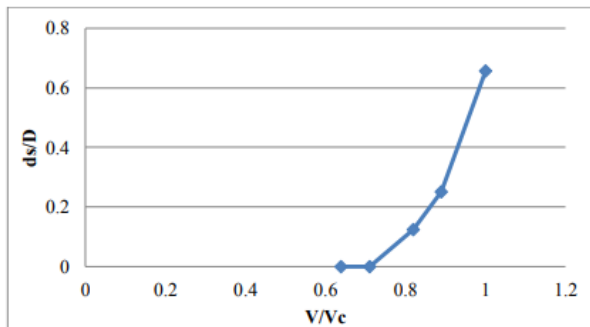


نسبت عمق آبستگي پایه ۸۵ درجه با دماغه مثلثی

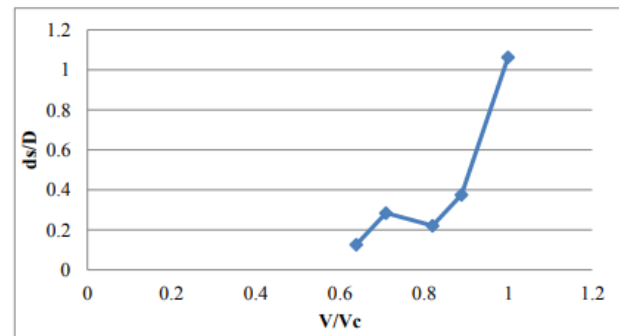


نسبت عمق آبستگي پایه ۸۵ درجه با دماغه مسطح

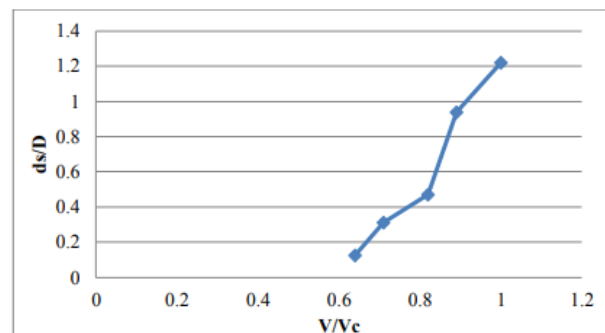
پایه با شیب ۷۰ درجه



نسبت عمق آبستگي پایه ۷۰ درجه با دماغه مثلثی



نسبت عمق آبستگي پایه ۷۰ درجه با دماغه گرد



نسبت عمق آبستگي پایه ۷۰ درجه با دماغه مسطح

آبشستگی را در پی دارد که این موضوع در نمودارها به وضوح مشخص است.

همانطور که در نمودارهای بالا مشاهده شد افزایش نسبت U/U_c باعث افزایش عمق آبشستگی می‌شود، پس بدیهی است که افزایش شیب باعث افزایش عمق

نتیجه‌گیری

۳- نرم‌افزار کامسول در مدل کردن جریان در پیرامون پایه شیب دار دارای نتایج مناسبی است.
۴- از مهم‌ترین عوامل خروج ذرات در حالت پایه می‌باشد. و افزایش شیب افزایش عمق آبشستگی را در پی دارد.

۱- نرم‌افزار کامسول قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی جریان در پیرامون پایه شیب دار دارد.
۲- هر دو مدل تلاطمی دو معادله‌ای $k - \epsilon$ استاندارد و RNG نتایج مشابهی در شبیه‌سازی جریان در نقاط دور از موانع نشان می‌دهند.

منابع

- Abousaeidi, Z., Qaderi, K., EBRAHIMPOUR, M. and AHMADI, M. (2018). Laboratory investigation of the effect of debris accumulation on the local scour at bridge pier and abutment.
- Akhlaghi, E., Babarsad, M.S., Derikvand, E. and Abedini, M. (2020). Assessment the effects of different parameters to rate scour around single piers and pile groups: a review. Archives of Computational Methods in Engineering 27, 183-197
- Chiew, Y.-M. and Melville, B.W. (1987). Local scour around bridge piers. Journal of hydraulic research 25, 15-26
- Hassanzadeh, H., Bajestan, M.S. and Paydar, G.R. (2018). Performance evaluation of correction coefficients to optimize sediment rating curves on the basis of the Karkheh dam reservoir hydrography, west Iran. Arabian Journal of Geosciences 11, 595
- Imamzadehei, A.N., Heidarpor, M., Imamzadehei, M.N., Ghorbani, B. and Haghiabi, A. (2016). Control of the local scouring around the cylindrical bridge pier using armed soil by geotextile. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering 2, 5
- Rahimi, e., qaderi, k., rahimpour, m. and ahmadi, m. (2017). Experimental study on effect of debris accumulation on bridge pier scour.
- Safaei, A., Choramin, M., Khajavi, S., Parmoon, A.A. and Arezoo, A.A. (2015). Analyzing the affective parameters on the amount of bridge scour in the vicinity of the rough collar in laboratory model. WALIA journal, 17-21.
- Shafai Bajestan, M.S., Hassanzadeh, H. and Paydar, G.R. (2018). Performance evaluation of correction coefficients to optimize sediment rating curves on the basis of the Karkheh dam reservoir hydrography, west Iran. Arabian Journal of Geosciences 11, 595. (In Persian).
- Shahsavari, h., moradi, s. and khodashenas, s. (2018). Influence of Semicircular Collar Diameter and Its Alignment on Scour Depth and Flow Pattern around Bridge Abutment.

Solimani Babarsad, M.,Hojatkhah, A.,Safaei, A. and Aghamajidi, R. (2021). Laboratory investigation of deflector structure effect on bridge pier scouring. Irrigation Sciences and Engineering 43, 91-104

Solimani Babarsad, M. and Safaei, A. (2021). Experimental study of scour around pier with inclined head. Water Resources Engineering 14, 53-72

Solimani Babarsad, M.,Safaei, A. and Aghamajidi, R. (2021). Laboratory Study of Cable and Sill Protection on Scouring Pattern Around the Bridge Pier. Iranian Journal of Soil and Water Research 52, 523-538

Vaghefi, M. and Meraji, S. (2019). The effect of 20% reduction in overlapping length of the upstream submerged vanes of bridge pier on bed topography in sharp 180 degree bend.

Flow pattern numerical simulation and bridge pier reduction scouring hole with changing in pier shape

Abstract

Construction on rivers is inevitable to communicate and reduce costs quickly or to control and control the floods. However, the construction of hydraulic structures that are directly exposed to flood currents is not possible only by relying on the assessment of the capacity of structures and their analysis solely on the basis of the principles governing the solid mechanics and should be in addition to the structural examination, the impact of issues. The environment is also examined on structural stability. Estimation of maximum flow around the bridge base with semi-experimental relationships is not a reliable method. One of the methods for recognizing the erosion process is the flow of the flow structure. In this research, the three-dimensional simulation of the inclined pier face is discussed. For this purpose, the compass software with a three-dimensional flow model was used to simulate the turbulent flow pattern around the bridge base. To verifying the software, the study pattern was performed around the steep base. The simulation results have a good match with actual results, representing the simulation model's high capability in predicting the inclined pier face.

Keywords: *pier, inclined pier, scouring, comsol*