بررسی اثر لزوجت دینامیکی(ویسکوزیته) و آشفتگی انرژی جریان و تغییرات رسوب وارد بر پایه پل های استوانه ای با بستر متحرک با استفاده از نرم افزار فلوتریدی

مظفر صیدی نیا[1]*، محمد کرمی[2]، ابراهیم نوحانی[3]

۱- گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، seyedi18@yahoo.com

۲- گروه عمران، واحد دهلران، دانشگاه ازاد اسلامی، دهلران، ایران

۳ـ گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، nohani_e@yahoo.com

چکیده

پل ها از جمله مهمترین و پرکارترین سازه های رودخانه ای هستند و به عنوان کلید راه های ارتباطی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از این پل ها، درست زمانی که بیشترین نیاز به آنها وجود دارد تخریب می گردند از مهمترین و مؤثرترین عوامل این تخریب ها آبشستگی اطراف پایه های پل می باشد.آبشستگی پدیده ای است که در اثر اندرکنش آب و خاک در مجاورت سازههای هیدرولیکی بوجود آمده و منجر به تخریب آنها می شود.هدف از این تحقیق شبیه سازی و شناسایی عوامل مختلف موثر در آبشستگی پایه پل ها با بستر متحرک می باشد،بدین منظور با استفاده از نرم افزار فلوتریدی به شبیه سازی جریان اطراف پایه پل استوانه ای پرداختیم و پس از استخراج نمودارها و کانتور ها دریافتیم که با نزدیک شدن به پایه پل لزجت دینامیکی و آشفتگی جریان روند صعودی داشته و چگالی رسوبات بستر تغییرات زیادی داشته و علاوه بر آن روند کاهشی به خود می گیرد همچنین با عبور از پایه پل لزجت دینامیکی پل روند کاملا صعودی با شیب بسیار تندی در پیش می گیرد.و آشفتگی انرژی جریان به سرعت روند افزایشی پیدا می کند و تغییرات رسوب روند افزایشی کاهشی افزایشی به خود می گیرد.

واژه های کلیدی : ***آبشستگی- جریان در اطراف پایه پل- نرم افزار فلوتریدی***

مقدمه

پل ها از جمله مهمترین و پرکارترین سازه های رودخانه ای هستند و به عنوان کلید راه های ارتباطی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از این پل ها، درست زمانی که بیشترین نیاز به آنها وجود دارد تخریب می گردند. یکی از مهمترین و مؤثرترین عوامل این تخریب ها آبشستگی اطراف پایه های پل می باشد. با اینکه مصالح ساختمانی و فنون سازه ای پیشرفت چشمگیری داشته است، تعداد پل های تخریب شده بر اثر آبشستگی اطراف پایه ها روز به روز بیشتر می شود.

بیان مسئله

بر اساس تعریف به فرآیند فرسایش قسمتی از بستر یک محیط آبی و یا در اطراف سازه های احداث شده در مسیر جریان آب رودخانه یا محیط دریا، آبشستگی گفته می شود. هنگامی که عملیات فرسایش آب بیش از مقاومت برشی باشد که توسط ذرات خاک تحمل می شود، آبشستگی شروع شده و تا جایی ادامه پیدا می کند که تنش برشی که توسط جریان آب ایجاد می شود با مقاومت برشی ذرات خام برابر شود. به عبارت دیگر،آبشستگی تا جایی ادامه می یابد که تنش برشی جریان آب به مقدار تنش برشسی بحرانی خاک کاهش یابد. عواملی نظیر تنگ شدگی مسیر جریان و ایجاد جریان های ثانویه و گردابی در اطراف پایه ها

موجب آبشستگی موضعی ذرات در اطراف پایه می شود.شکل غالب جریان در نزدیک یک پایه سیستم گردابی است که در اطراف پایه توسعه یافته و مکانیزم اصلی آبشستگی را تشکیل می دهد که اجزاء اصلی این سیستم جریان رو به پایین، گرداب نعل اسبی و گرداب های دنباله دار می باشند. وقوع آبشستگی موضعی یکی از دلایل عمده عدم پایداری پل ها و در نهایت خرابی آن های می باشد. به این ترتیب روش های مناسب جهت کاهش و کنترل عمق آبشستگی از جمله مسائلی است که بسیار مورد توجه پژوهشگران بوده است. این روش ها در دو فاز متفاوت، روش های مسلح کردن و روش های تغییر دادن جریان تقسیم می شوند. در روش های مسلح کردن، پایه ها طوری مسلح می شوند که در طول جریان های با شدت بالا در مقابل تنش های برشی جریان مقاومت کنند که شامل استفاده از سنگ چین، بلوک های بتن پیش ساخته، کیسه های پر شده از گروت، توسعه پی و گابیون می باشد. در این حالت با نصب هر یک از موارد گفته شده در اطراف پایه، لایه محافظتی در مقابل جریان قرار گرفته و از آبشستگی خاک و رسوبات ریز اطراف پایه محافظت می کند. استفاده از سنگ چین از معمول ترین روش ها می باشد و در بسیاری از پروژه های مهندسی عمران از آن استفاده می شود. در حالی که برای تغییر دادن جریان میدان جریان در اطراف پایه طوری تغییر می کند که از قدرت فرسایش جریان رو به پایین و پیچک های نعل اسبی کاسته می شود. این روش شامل استفاده از پره های منحرف کننده جریان و پایه های فداشونده در بالادست پایه با استفاده از طوقه در اطراف پایه و شکاف در پایه و استفاده از پایه هایی با مقطع متغیر پرداخته شده است. در این گونه پایه ها به دو دلیل با کاهش تنش برشی در بستر مواجه هستیم. نخست اینکه افزایش عرض جریان در نواحی نزدیک به سطح آب که سبب می شود مقادیر زیادی از جریان که دارای حداکثر سرعت در این نواحی می باشد با سهولت بیشتری از اطراف پایه عبور کند و همچنین فشار دینامیکی کمتری در مقایسه با پایه های استوانه ای در بالای پایه ایجاد گردد. دوم اینکه با کاهش مقدار فشار دینامیکی در قسمت های فوقانی پایه جریان رو به پایین ضعیف تری در جلوی پایه ایجاد می گردد. همچنین شیب سطوح پایه نیز خود عامل مقاومت در برابر افزایش سرعت جریان رو به پایین است و در حقیقت باعث تمایل جریان به طرف بالا دست از روی سطح پایه می شود. در واقع اهمیت و ضرورت انجام این تحقیق از آن جهت است که پل ها یکی از سازه های تاثیرگذار در هیدرولیک و مورفولوژی رودخانه ها می باشند. وجود پایه ها و تکیه گاه ها در عرض رودخانه باعث کاهش مقطع عبوری جریان، برخورد جریان به پایه و انحراف خطوط جریان اطراف پایه به کف بستر و تشکیل گرداب های نعل اسبی، چرخشی و برخاسته می شود که یکی از عوامل موثر در پدیده آبشستگی موضعی پایه پل ها می باشد. سالانه بسیاری از پل ها در اثر پدیده آبشستگی و لغزش پایه ها در مواقع سیلابی که شریان های ارتباطی به مناطق سیل زده هستند تخریب می شوند و دسترسی و امداد رسانی به مناطق سیل زده با مشکلات مواجه می شود که بیانگر اهمیت بررسی این پدیده می باشد. میدان جریان سه بعدی والگوی آبشستگی اطراف تک پایه به دلیل وجود سیستم های گردابی و اندرکنش هیدرودینامیکی جریان با بستر قابل فرسایش، پیچیده می باشد، اما میدان جریان و روند آبشستگی اطراف گروه پایه تحت تاثیر مکانیزم هایی است که آن را نسبت به تک پایه پیچیده تر و عمق و شکل آبشستگی را متفاوت می سازد. مکانیزم هایی که روند آبشستگی گروه پایه های هم امتداد را تحت تاثیر قرار می دهند، عبارتند از: اثر افزایش آبشستگی پایه های پشتی روی پایه های جلویی: به علت وجود پایه ی پشتی، ممکن است حفره های آبشستگی دو پایه روی هم قرار گیرد که در این صورت به علت پایین آمدن تر از بستر در پشت پایه جلویی، انتقال مصالح کنده شده از حفره ی جلوی پایه ی اول راحت تر

صورت می گیرد و در نتیجه عمق آبشستگی در پایه ی جلویی افزایش می یابد. اثر حفاظتی پایه های جلویی نسبت به پایه های پشتی: وجود پایه ی جلویی باعث کاهش سرعت موثر جریان برای پایه ی پشتی و کم شدن اثر گرداب نعل اسبی می شود و عمق آبشستگی در پایه ی پشتی کاهش می یابد.

پیشینه تحقیق

Abdollah Mohamed و همکارانش در سال ۲۰۱۶ به بررسی تئوری و آزمایشگاهی آبشستگی در مجاورت پل پرداختند. این مقاله، ارزیابی عددی و تجربی اثر ضریب contraction و entrance angles of bridge abutment در عمق آبشستگی موضعی را ارائه کرده است. یک مدل عددی 3D برای شبیه سازی آبشستگی در مجاورت پل بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که این مدل سه بعدی توانایی شبیه سازی آبشستگی موضعی با ضرایب مختلف contraction و زوایای ورودی متفاوت با دقت بالا را دارد.

مواد و روش ها

حال به بررسی مبانی نظری و ادبیات موضوع می پردازیم ، یک محقق پس از انتخاب و تعیین موضوع تحقیق باید به دنبال تعیین روش تحقیق باشد. پایه ی هر علمی به روش شناختی مبتنی است که در آن علم به کار می رود. انتخاب روش تحقیق بستگی به هدف ها و ماهیت موضوع تحقیق و امکانات اجرایی آن دارد. بنابراین هنگامی می توان در مورد بررسی و انجام یک تحقیق تصمیم گرفت که ماهیت، موضوع تحقیق، هدف ها و همچنین وسعت و دامنه ی آن مشخص باشد. به عبارت دیگر، هدف از انتخاب روش تحقیق آن است که محقق مشخص نماید چه روش و شیوه ای او را دقیق تر، سریع تر و آسان تر در دستیابی به پاسخ پرسش های تحقیق مورد نظر یاری می نماید. در این فصل متدولوژی تحقیق را بیان می کنیم. برای این کار ابتدا به شرح روش شناسی تحقیق و روش گردآوری اطلاعات می پردازیم. در ادامه به بررسی کارهای عملی انجام شده توسط محققین مختلف،معرفی نرم افزار فلوتریدی و سایر موضوعات مربوط تشریح می شود.

مدل سازی

همانطوری که در قسمت قبل اشاره شد در تحقیقات گذشته با استفاده از مدل های عددی بسیاری به بررسی موضوع آبشستگی پرداخته شده است. در مقاله ای با عنوان بررسی توزیع تنش برشی در محدوده پایه های پل شکافدار توسط مدل عددی Fluent پرداخته و با شبیه سازی جریان در اطراف پایه ها به نتایج مناسبی در زمینه کاهش میزان آبشستگی رسیدند. همچنین با بکارگیری مدل عددی سه بعدی، Fluent میدان جریان اطراف یک پایه ی استوانه ای و چهار پایه ی مخروطی با شیب های مختلف بررسی شده است. در ادامه مدلسازی های عددی، آبشستگی پایه های پل با استفاده از مدل عددی HEC-RAS4.0به برآورد مقدار آبشستگی در اطراف پایه پل ها برای دبی با دوره بازگشت ۱۰، ۲۵ و ۱۰۰ ساله پرداختند.

علاوه بر این موارد مدل عددی الگوی جریان را با استفاده از نرم افزار Flow-3D را در اطراف یک آبشکن بررسی کردند و با استفاده از مدل عددی سه بعدی و مدل فیزیکی به بررسی مقدار عمق آبشستگی اطراف گروه پایه های سه تایی استوانه ای پرداختند که نتایج مدل CFD تطابق خوبی با نتایج فیزیکی را نشان داد. در تحقیق برای مدل کردن پایه پل از نرم افزار Flow-3D که ترم افزاری چند جانبه و سازگار با شرایط پیچیده جریان در مدلسازی به صورت سه بعدی است استفاده شد. روش حل معادلات برنامه بر اساس شیوه حجم محدود در شبکه بندی با ساختار می باشد. در این نرم افزار از دو تکنیک عددی برای شبیه سازی

هندسی استفاده شده است. روش حجم سیال که برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد مورد مطالعه قرار می گیرد و روش کسر مساحت- حجم مانع که این روش برای شبیه سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزهای هندسی کاربرد دارد. به منظور تشکیل رسوب در مدل باید خصوصیات آن را به نرم افزار معرفی کنیم. این خصوصیات شامل چگالی مصالح بستر و درصد جامدات رسوب است. در این مدل از ماسه استفاده شده است. چگالی ماسه در حدود ۲۶۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. برای تعیین درصد جامدات از ارتباط آن با ضریب تخلخل استفاده می شود. ضریب تخلخل، نسبت حجم منافذ به حجم کل و کسر حجمی (درصد جامدات)، نسبت حجم جامدات به حجم کل است.

$$n = \frac{V_v}{V_t} \qquad (۱)$$

$$n=\frac{V_t-V_s}{V_t}=1-\frac{V_s}{V_t}\rightarrow f_s=\frac{V_s}{V_t}=1-n \qquad (۲)$$

که در این روابط، V_t حجم کل رسوب، V_s حجم قسمت جامد رسوب، V_v حجم منافذ آب است که از آب و هوا پر شده است. ضریب تخلخل در حدود ۰/۴۸ – ۰/۲۶ است. روابط تجربی مختلفی برای محاسبه ضریب تخلخل وجود دارد. برای این مثال می توان به رابطه ای که توسط کامورا و سیمونس (۱۹۶۷) ارائه شده است، اشاره کرد. در این رابطه d_{50} قطر میانه دانه ها بر حسب میلیمتر است.

$$n=0.245+\frac{0.0864}{0.1d_{50}^{0.21}} \qquad (۳)$$

در واقع توده رسوب ناحیه ای است که چگالی رسوب مساوی یا بزرگتر از ρ_{pack} است. در این ناحیه جریان سیال رخ نمی دهد و نیروی درگ فعال نیست. چگالی توده رسوب از رابطه (۴-۴) محاسبه می شود.

$$\rho_{pack}=f_s\times\rho_s \qquad (۴)$$

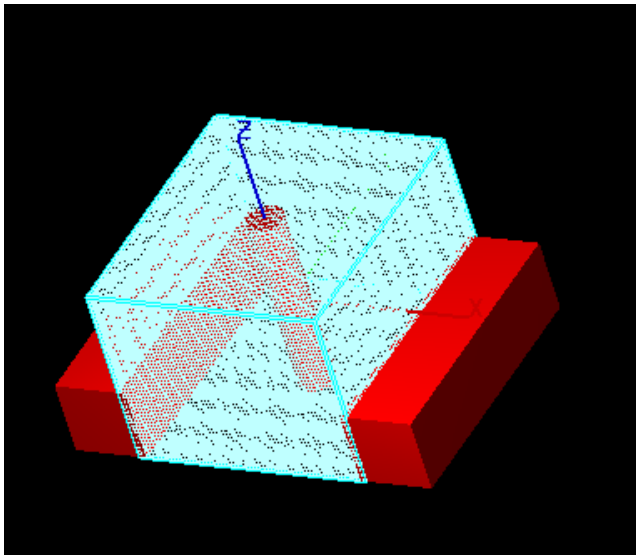
در این مدل فرض شده است که دانه ها کروی شکل، یکنواخت و تمیز (بدون رس) باشد. مقدار $d_{50}=0.02\,cm$ است. چگالی ماسه در حدود ۲۶۵۰ کیلوگرم بر مترمربع است.

$$\theta=\frac{0.23}{d_*}+0.055\,[1-e^{\left(\frac{d_*^{0.85}}{23}\right)}] \qquad (۵)$$

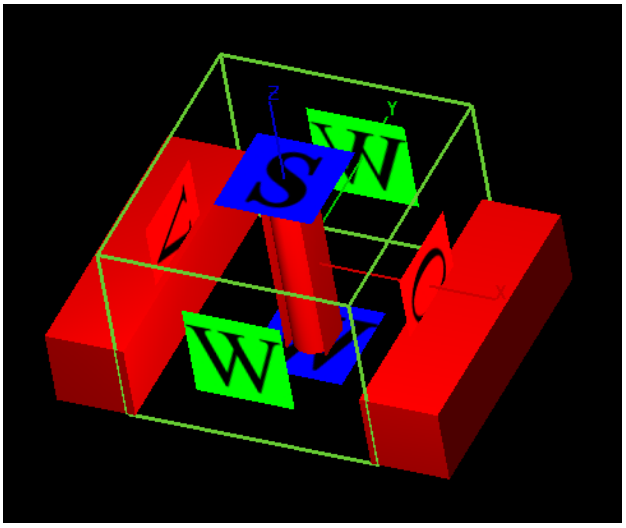
$$\theta=d_{50}\left(\frac{(\rho_s-\rho)g}{\rho v^2}\right)^{0.33} \qquad (۶)$$

مقدار پارامتر شیلدز در این تحقیق با توجه به اندازه ذرات ماسه برابر ۰/۰۵ است. یکی از پارامترهای مهم در مدل آب شستگی – رسوب، زاویه ایستایی است. پایداری مصالح دانه ای بستر دریا در برابر حرکت ذرات به این پارامتر وابسته است. زاویه ایستایی برای ذرات رسوب معمولا بین زوایای ۲۶ تا ۴۲ درجه است که معمولا برای ماسه این مقدار بین ۳۵- ۲۶ درجه در نظر گرفته می شود. در این تحقیق برابر ۳۵ درجه در نظر گرفته شده است.

لازم به توضیح است که عمق آب در محل آب شستگی ۶۰ سانتی متر است که ۳۰ سانتی متر اول آن ضخامت بستر ماسه ای است. سرعت جریان ۱۵۰ سانتی متر بر ثانیه بر اساس شرایط آزمایشگاهی لحاظ شده است. همچنین بستر ماسه ای دارای ابعاد ۱۲۰ در ۱۴۰ در ۳۰ سانتی متر است.



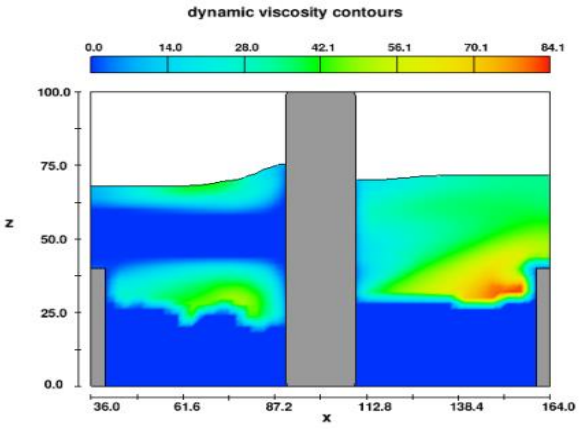
شکل ۱- شکل هندسی مدل مورد مطالعه



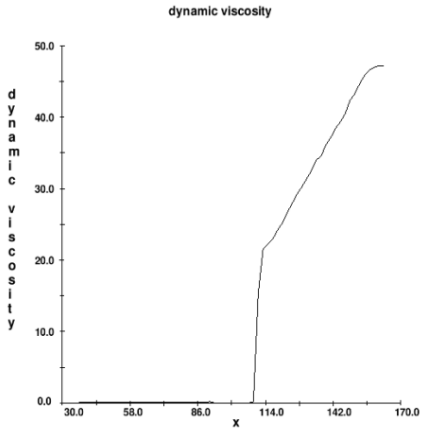
شکل ۲-شرایط مرزی در نظر گرفته شده در مدل

تحلیل نتایج

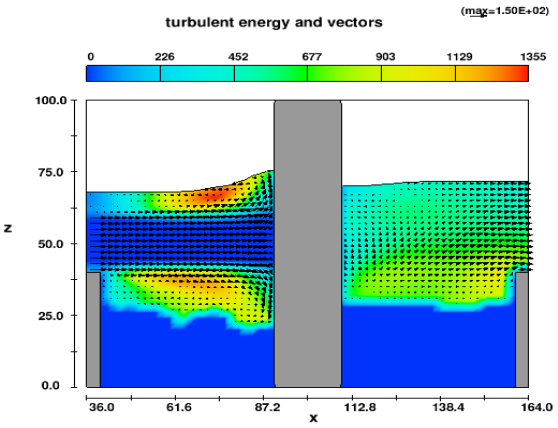
در حالت کلی نتایج نشان میدهد که کانتور لزجت دینامیکی (ویسکوزیته) در شکل (۳)- نمایانگر آن است که هرچه به پایه پل نزدیک میشویم لزوجت دینامیکی در بالای رسوبات روند صعودی داشته و بعد از پایه پل تغییرات ویسکوزیته دینامیکی به سرعت روند افزایشی پیدا می کند و این روند کاملا صعودی و شیب بسیار تندی در پیش خواهد گرفت. و همین منوال برای کنترل آشفتگی جریان در شکل (۵)- با نزدیک شدن به پایه پل، آشفتگی انرژی جریان روند صعودی به خود بگیرد و این آشفتگی بعد از پایه پل به سرعت روند افزایشی پیدا خواهد کرد و در شکل(۷)- هرچه به پایه پل نزدیک می شویم چگالی رسوبات بستر تغییرات زیادی پیدا کرده و علاوه بر آن روند کاهشی به خود می گیرد و بعد از پایه پل روند افزایشی کاهشی افزایشی به خود می گیرد . شکل های(۴)،(۶)،(۸)- نمودار تغییرات دینامیکی ، نمای سه بعدی آشفتگی جریان،نمای سه بعدی تغییرات رسوب می باشند.



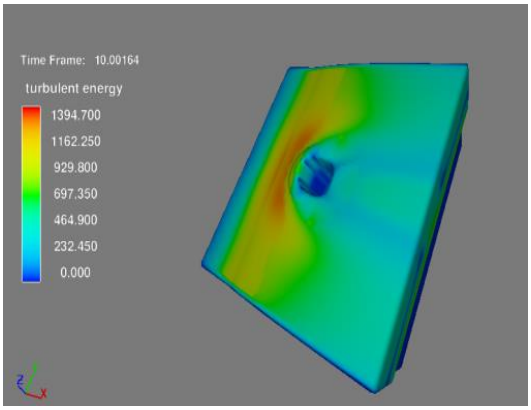
شکل۳-کانتور دینامیکی لزجت (ویسکوزیته)



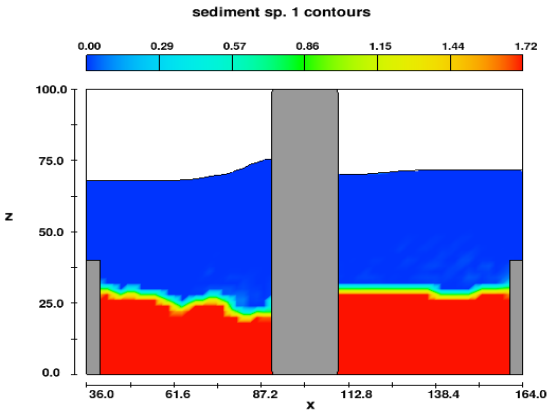
شکل٤-نمودار تغییرات دینامیکی لزجت در راستای پایه پل



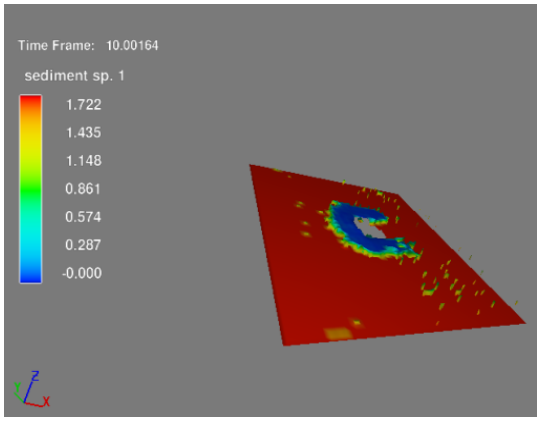
شکل۵-کانتور آشفتگی انرژی جریان



شکل٦-نمای سه بعدی آشفتگی انرژی جریان



شکل۷- کانتور تغییرات رسوب



شکل۸- نمای سه بعدی از تغییرات رسوب

نتیجه گیری

در مدل سازی نرم افزار فلوتریدی در گروه پایه پل های استوانه ای مشخص شد که با بررسی لزوجت دینامیکی (ویسکوزیته) و آشفتگی انرژی جریان و تغیرات غلظت رسوب به این نتیجه میرسیم که هرچه به پایه پل نزدیک تر میشویم، لزوجت دینامیکی در بالای رسوبات روند صعودی داشته، آشفتگی انرژی جریان باز روند صعودی به خود می گیرید و تغیرات غلظت رسوبات بستر تغییرات زیادی پیدا کرده و علاوه بر آن روند کاهشی به خود می گیرد. اما بعد از عبور از پایه پل لزجت دینامیکی به سرعت افزایش پیدا می کند و این روند کاملا صعودی و با شیب بسیار تند می باشد. ولی آشفتگی جریان انرژی به سرعت روند افزایشی پیدا می کند و تغییرات رسوب روند افزایشی کاهشی افزایشی در پیش می گیرد.

منابع

۱. بهشتی, علی اصغر و بهزاد عطایی آشتیانی، ۱۳۸۳، آبشستگی در شرایط آب صاف در اطراف گروه پایه، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه شریف، عمران.

۲. بهشتی, علی اصغر و بهزاد عطایی آشتیانی، ۱۳۹۲، ارائه روابط تجربی برای تخمین آبشستگی موضعی اطراف پایه های پل با هندسه پیچیده، دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرج، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، انجمن هیدرولیک ایران.

۳. کیانپور, الهه و سعید عباسی، ۱۳۹۳، بررسی عددی پدیده آبشستگی در اطراف پایه های پل با استفاده از نرم افزار Flow-3D، دومین کنگره بین المللی سازه ، معماری و توسعه شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنگره بین المللی سازه ، معماری و توسعه شهری.

۴. قادری, امیر؛ رسول دانشفراز؛ ابراهیم بهزاد و عزیزه حسین جانی، ۱۳۹۳، شبیه سازی آب شستگی پیرامون پایه های پل با استفاده از نرم افزار Flow-3D،دومین همایش ملی پژوهش های کاربردی در عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، دانشگاه جامع علمی کاربردی.

۵. رحمتی هولاسو, سلیم و جمیل قادری، ۱۳۹۴، ارزیابی آبشستگی پایه پل ها با استفاده از شبکه عصبی هوشمند، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران.

6. Vasquez, J.A., Walsh, B. W. 2009. CFD simulation of local scour in complex piers under tidal flow. 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment. pp.913-920.

7. Thanh, N., Chung, D., Nghien, T. 2014. Prediction of the Local Scour at the Bridge Square Pier Using a 3D Numerical Model. Open Journal of Applied Sciences. Vol. 4. pp. 34-42.

8. Khademi., Kh, Shafai., M, Khozeymahnezhad., H. 2014. Laboratory investigation of flow pattern and scour around bridge abutment in case of using attached submerged vane. Irrigation & Water Engineering. Vol. 5. No. 17. pp 56-66 .

9. [Mehnifard, M. A., Dalfordi, S., Baghdadi, H., Seirfar, Z., 2015. Simulation of local scour caused by submerged horizontal jets with Flow-3D numerical model. Desert Journal. Vol. 20. No. 1. pp. 47-55.

10. Abdallah Mohamed.,Y., Mohamed Abdel-Aal., G., Hemdan Nasr-Allah., T. Shawky., A. 2016. Experimental and theoretical investigations of scour at bridge abutment. Journal of King Saud University – Engineering. Vol. 26. pp. 32-40.