



مقایسه عددی کاهش آبخستگی موضعی اطراف پایه پل شکاف دار و دو پایه پل مجزا

مجتبی نوری فر^۱، محمود فغفور مغربی^۲، یوسف حسن زاده^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

mojtaba_noorifar@yahoo.com
maghrebi@ferdowsi.um.ac.ir
yhassanzadeh@tabrizu.ac.ir

خلاصه

در این تحقیق شبیه سازی سه بعدی میدان جریان اطراف پایه پل دایروی بدون شکاف و پایه های دارای شکاف های مستطیلی با نسبت های بازشدگی متفاوت و پایه های دارای شکاف های پیشنهادی بازشونده و تنگ شونده و گروه پایه های دوتایی قرار گرفته در کنار هم و عمود بر مسیر جریان و با فواصل متفاوت از یکدیگر به کمک نرم افزار FLUENT به انجام رسید و تاثیر هر کدام از مدل های پایه پل بر میدان جریان اطراف پایه و نیز بیشینه و گستردهگی ناحیه تنش های برشی آغاز کننده آبخستگی موضعی اطراف پایه های پل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان دهنده نقش حفاظتی شکاف های پایه بویژه شکاف باز شونده و نقش تشدید کننده آرایش گروه پایه های دوتایی در آبخستگی موضعی اطراف پایه های پل بودند.

کلمات کلیدی: مدل عددی، پایه پل، آبخستگی موضعی، شکاف پایه، گروه پایه ها

۱. مقدمه

راه ها شریان های حیاتی یک کشور هستند و پل ها یکی از مهم ترین سازه های راه ها به حساب می آیند که در صورت خرابی آن ها بویژه در مواقع بحرانی مانند وقوع سیل ها، شریان های حیاتی ارتباطی قطع شده و مشکلات فراوانی را موجب می شوند. طبق آمار های ارائه شده توسط کشور های مختلف می توان گفت اکثر تخریب پل ها نه در اثر ضعف های سازه ای بلکه در زمان های وقوع سیل و در اثر وقوع پدیده آبخستگی در اطراف پایه ها رخ می دهند. بنابراین شناخت فرایند آبخستگی اطراف پایه های پل و نیز ارائه راه کارهایی جهت محافظت هرچه بیشتر از پایه پل ها و سازه های دریایی مشابه در برابر آبخستگی از اهمیت بالایی برخوردار است.

راه کارهای کاهش آبخستگی در پایه پل ها را می توان به دو دسته کلی روش های پوششی همراه با مقاوم سازی بستر رودخانه و استفاده از وسایل دگرگون کننده جریان دسته بندی نمود. روش های پوششی در پایه پل ها برای مقابله با تنش های برشی که در طی جریان های شدید ایجاد می شوند به کار رفته و به صورت سپری در برابر آن ها عمل می کنند. در حالی که هدف وسایل دگرگون کننده جریان و به بیان دیگر روش های هیدرولیکی حفاظت از پایه های پل، گسسته کردن میدان جریان اطراف پایه ها و در نتیجه کاهش قدرت فرسایش دهنده جریان رو به پایین و گردابه های نعل اسبی اطراف پایه های پل است. از روش های مقاوم سازی بستر برای پایه های میانی و کناری پل ها می توان به استفاده کردن از پوشش سنگریزه، قطعات بتن پیش ساخته، کیسه های پر شده از دوغاب سیمان، بسط پی، لایه محافظتی بتنی و استفاده از توری سنگی اشاره کرد. از وسایل دگرگون کننده جریان در پایه های پل نیز می توان به سپرهای دایروی یا طوقه ها که دور پایه ها ساخته می شوند و شمع های فرعی یا اصطلاحاً شمع های فدایی که در بالادست پایه های پل قرار می گیرند، اشاره نمود (ملویل و هادفیلد ۱۹۹۹). در سال های اخیر نیز استفاده از شکاف در پایه پل به عنوان روشی جدید در این زمینه مطرح گردیده است. هدف اصلی استفاده از شکاف، منحرف کردن جریان رو به پایین از بستر و کاهش قدرت برخورد جریان



رو به پایین به بستر رودخانه است. عرض، طول و محل قرار گیری شکاف و طولی از شکاف که درون بستر رودخانه قرار می گیرد، عوامل مهم شکاف پایه پل ها هستند. محل قرار گیری شکاف پایه پل می تواند در نزدیکی بستر کانال و یا نزدیکی سطح آب باشد.

چیو (۱۹۹۲) تاثیر شکاف پایه را در کاهش عمق آبستنگی موضعی اطراف یک پایه پل دایروی مورد بررسی قرار داد. وی آزمایشات خود را با شکاف هایی با مقطع مستطیلی و با اندازه های بازشدگی و طول های مختلف که در دو موقعیت متفاوت نزدیک سطح آب و نزدیک بستر کانال در پایه ها ایجاد گردیده بودند به انجام رسانید. نتایج وی نشان داد که با افزایش عرض و طول شکاف ایجاد شده در پایه از میزان عمق آبستنگی موضعی کاسته خواهد شد. کومار و همکاران (۱۹۹۹) پایه های پل با دو اندازه بازشدگی شکاف و نیز طول های مختلف شکاف و زوایای مختلف قرار گرفته نسبت به مسیر جریان را بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که با امتداد شکاف پایه تا بستر کانال بر میزان تاثیرات آن در کاهش عمق آبستنگی افزوده می گردد و نیز بیان داشتند که با قرار گیری زاویه دار شکاف پایه با راستای جریان در کانال از میزان کارایی شکاف پایه کاسته خواهد شد. حیدرپور (۲۰۰۲) شکاف هایی با دو طول مختلف در پایه های دایروی و نیز پایه های نوک گرد را مورد آزمایش قرار داد. نتایج به دست آمده برای شکاف هایی که در نزدیکی سطح جریان قرار گرفتند کاهش موثری در عمق آبستنگی موضعی پدید آمده نشان ندادند در حالی که با قرار گرفتن شکاف ها در نزدیک بستر کانال کاهش بیشتری در عمق حفره آبستنگی مشاهده گردید. علاوه بر آن استفاده پایه های نوک گرد نسبت به پایه های دایروی منجر به نتایج قابل قبول تری گردید. الرازک و همکاران (۲۰۰۳) تحقیقاتی را به منظور بررسی اثر شکل شکاف پایه و اندازه آن بر کاهش عمق آبستنگی موضعی اطراف پایه پل ها با استفاده از شکاف هایی که در مقطع عرضی به صورت سه بازو و با زوایای متفاوت نسبت به هم در پایه ها ایجاد شده بودند انجام دادند. ذکر این نکته لازم است که این شکاف ها به مانند تحقیقات محققین دیگر نبودند و در راستای عمود بر بستر کانال به صورت به هم پیوسته در پایه ها ایجاد نشده بودند بلکه با استفاده از قرار دادن لوله های پلاستیکی نازکی در عرض پایه های پل ایجاد گردیده بودند. ایشان نتیجه گرفتند که وجود شکاف پایه تاثیر قابل توجهی در کاهش آبستنگی موضعی اطراف پایه های پل دارد و بهترین حالت زمانی حاصل خواهد شد که زاویه قرار گیری بازو های شکاف در درون پایه پل نسبت به هم ۹۰ درجه باشد، یعنی شکاف ها در مقطع عرضی پایه پل حالتی عمود بر هم داشته باشند. همچنین نتیجه گرفتند که با افزایش قطر شکاف ها بر میزان تاثیر آن ها در کاهش آبستنگی موضعی اطراف پایه های پل افزوده خواهد شد.

برروی استفاده هم زمان از شکاف پایه و دیگر روش های کاهش آبستنگی موضعی نیز تاکنون تحقیقاتی صورت گرفته است. چیو (۱۹۹۲) استفاده همزمان از شکاف پایه و طوقه قرار گرفته بر روی پایه پل را مورد آزمایش قرار داد. پیرمحمدی و حیدرپور (۱۳۸۳) برروی استفاده از شکاف پایه و پوشش سنگریزه (ریپ رپ) تحقیق نموده به این نتیجه رسیدند که استفاده از شکاف پایه مساحت پوشش سنگریزه لازم را کاهش داده و پایداری آن را افزایش می دهد. گریمالدی و همکاران (۲۰۰۹) استفاده همزمان از شکاف پایه و تیغه قرار گرفته در کف کانال و پشت پایه پل را مورد مطالعه قرار دادند و بیان داشتند که استفاده هم زمان از این دو روش باعث کاهش قدرت گردابه های حلقوی برخاستی و نعل اسبی شده و در نتیجه باعث کاهش بیشتر عمق حفره آبستنگی می گردد.

با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیقات صورت پذیرفته و تاثیر قابل قبول شکاف پایه در کاهش عمق تعادلی آبستنگی موضعی اطراف پایه های پل می توان گفت این روش می تواند به عنوان روشی موثر در حفاظت پل ها در برابر آبستنگی های موضعی مورد توجه مهندسين طراح قرار گیرد اما از طرفی در حال حاضر آگاهی ها در مورد چگونگی طراحی شکاف های پایه جامع نبوده و تاکنون این روش در پل ها به صورت عملی به کار نرفته است و نتایج اندک آزمایشگاهی موجود در مقالات نیز محدود بوده و اکثرا با شکاف هایی مستطیلی شکل و پایه های پل دایروی یا لبه گرد صورت پذیرفته اند بنابراین انجام تحقیقات بیشتر برای شناخت هرچه بهتر مزایا و محدودیت های این روش برای کاربردی شدن آن در طرح های پل سازی ضروری به نظر می رسد. با توجه به محدودیت های مطالعات آزمایشگاهی مانند زمان بر بودن، هزینه بالا و نیاز به امکانات آزمایشگاهی خاص خود و نیز لزوم انجام مطالعات بیشتر برای شناخت کامل تر این روش، نیاز به استفاده از روش های عددی کارآمد و کم هزینه به روشنی احساس می شود. FLUENT یکی از نرم افزار های بسیار قدرتمند در مدل کردن جریان سیالات در هندسه های پیچیده است که می تواند کمک بسیاری در این زمینه به محققین نماید. قابلیت های این نرم افزار موجب گردیده که در بازه وسیعی از رشته های مهندسی مانند شیمی، هوافضا، مکانیک، نفت و گاز، محیط زیست و عمران به کار گرفته شود.

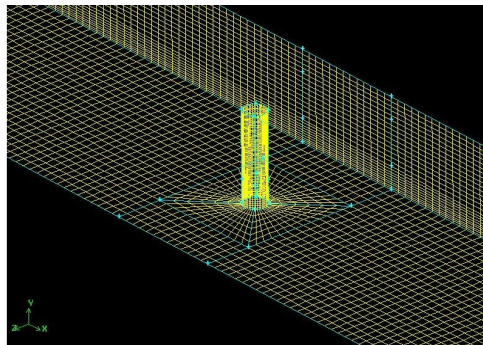
در این تحقیق شبیه سازی سه بعدی میدان جریان اطراف پایه پل دایروی بدون شکاف و پایه های دارای شکاف های مستطیلی و نسبت های بازشدگی متفاوت و نیز پایه های دارای شکاف های بازشونده و تنگ شونده که برای اولین بار پیشنهاد شده اند و همچنین گروه پایه های دوتایی قرار گرفته در کنار هم و عمود بر مسیر جریان که به فاصله های متفاوتی از یکدیگر قرار داده شده اند، به کمک نرم افزار FLUENT انجام گرفت و تاثیر هر کدام از مدل های پایه پل بر میدان جریان اطراف پایه و نیز بیشینه و گستردهگی ناحیه تنش های برشی آغاز کننده آبستنگی موضعی اطراف پایه های پل مورد بررسی قرار گرفته است.



۲. ساخت هندسه مدل و شبکه بندی

ملویل (۱۹۷۵) مطالعات وسیعی را در مورد ناحیه جریان، آشفتگی ها، تنش های برشی بستر و گردابه های برخاستی در شرایط نمونه های کوچک آزمایشگاهی با استفاده از پایه دایروی و شرایط بستر هموار و صلب و جریان آب زلال به انجام رسانید که تاکنون مورد استناد محققین متعددی جهت مقایسه آزمایشات و مدل سازی های عددی قرار گرفته است. وی در آزمایشات خود از کانالی به طول ۱۹ m، عرض ۰/۴۵۶ m، شیب بستر ۰/۰۱ درصد، پایه پلی به قطر ۰/۰۵۱ m، رسوبات بستر با اندازه متوسط دانه ها $D_{50}=0/385$ mm، سرعت متوسط جریان ۰/۲۵ m/s و عمق جریان ۰/۱۵ m استفاده نمود. به منظور ایجاد امکان مقایسه نتایج با نتایج آزمایشگاهی ملویل (۱۹۷۵)، هندسه مدل پایه و کانال و مواد بستر و شرایط جریان در مدل سازی حاضر نیز همانند شرایط آزمایشات وی در نظر گرفته شد. تنها به منظور پرهیز از طولانی شدن روند تحلیل مدل و با در نظر گرفتن این شرط که جریان اطراف پایه متأثر از فاصله خود از ورودی کانال نبوده و به حالت توسعه یافته رسیده باشد و نیز فاصله پایه از خروجی کانال به اندازه ای باشد که بتوان جریان ها و تنش های پشت پایه را بررسی نمود، طول کانال در مدل ساخته شده به ۳ m در بالادست و ۱/۵ m در پایین دست پایه پل محدود گردید.

میزان دقت و نحوه شبکه بندی بر روی همگرایی، دقت نتایج و پایداری حل و همچنین مدت زمان محاسبات و در نتیجه هزینه آن موثر است و در این میان میزان دقت در نحوه شبکه بندی در نزدیک مرزهای کف کانال و پایه پل از اهمیت بالاتری برخوردار می باشد. محاسبه دقیق جریان در ناحیه نزدیک جداره ها موجب می شود مدل بتواند جریان های آشفته دورتر از دیواره ها و تنش های ایجاد شده در کف کانال را نیز بهتر محاسبه نماید. نرم افزار FLUENT قابلیت ساخت هندسه و تولید شبکه برای مدل ها را دارا نمی باشد و بدین منظور از نرم افزار GAMBIT استفاده گردید. در این نرم افزار هندسه مدل با استفاده از روش طراحی از پایین به بالا ساخته شد یعنی ابتدا نقاط گوشه ها (vertex) با توجه به ابعاد کانال و پایه پل ایجاد شد سپس از اتصال نقطه ها، خط ها (edge) و با اتصال خط ها، صفحات و در نهایت از ترکیب صفحات با هم حجم ها ایجاد گردیدند. به منظور ایجاد مش هایی منظم در صفحات از الگوریتم Map و در حجم ها از الگوریتم Cooper استفاده شد. پس از ایجاد هر شبکه بندی با استفاده از ابزار کنترل کیفیت شبکه بندی در GAMBIT، شبکه های تولید شده کنترل گردید تا از وجود خاصیت هایی مانند Skewness که می تواند به طور جدی بر روی دقت و صحت جواب های حل CFD موثر باشند در شبکه ها احتراز گردد. لازم به ذکر است برای ایجاد ناحیه شبکه بندی با دقت بالاتر در اطراف پایه پل و همچنین ورودی های شکاف و ... و نیز حفظ الگوی منظم شبکه بندی ها از صفحاتی کمکی در مدل ها استفاده شد. با توجه به مطالب ذکر شده جهت انتخاب شبکه بندی مناسب، چهار نوع شبکه بندی با ابعاد مختلف که با نزدیک شدن به پایه پل و کف کانال ریزتر می شدند، ساخته شد و از آن میان و با در نظر گرفتن معیارهای دقت و سرعت همگرایی جواب های حاصله، شبکه مناسب برای حالت تک پایه بدون شکاف انتخاب گردید و مدل های تک پایه های شکاف دار و گروه پایه های دوتایی نیز بر اساس این شبکه بندی و نیز مقتضیات هندسی هر مدل شبکه بندی شدند. شکل ۱ دیدی سه بعدی را از کانال و شبکه بندی تک پایه پل بدون شکاف نشان می دهد.



شکل ۱- نمایشی از مدل کانال جریان و شبکه بندی تک پایه پل بدون شکاف

۳. شرایط مرزی

در حل های عددی تعیین شرایط مرزی مناسب با توجه به نوع جریان و شرایط مسئله دارای اهمیت بالایی است. در مدل سازی انجام شده برای دیواره های کانال و نیز پایه پل شرط مرزی Wall استفاده شد که با توجه به دانه بندی مواد بستر کانال و نیز جنس پایه پل و دیواره های کانال که از جنس پلکسی گلاس در نظر گرفته شدند میزان بلندای المان های زبری در نرم افزار اعمال گردید. به منظور ایجاد سرعت صفر جریان در سطوح Wall

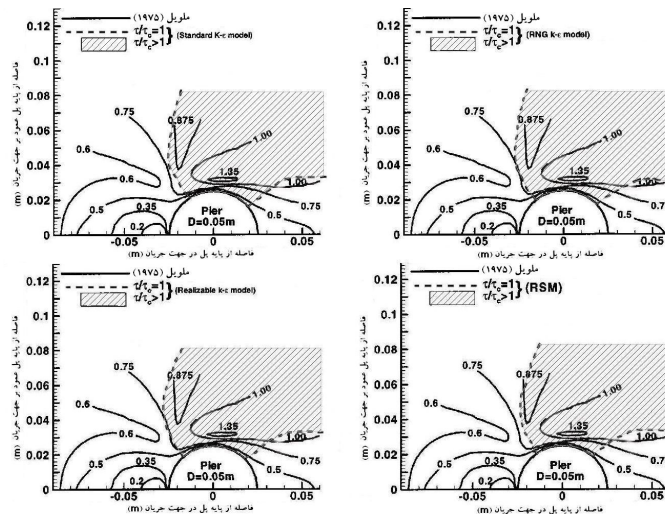


شرایط No Slip در تنظیمات این مرزها انتخاب شد. به صفحات کمکی که در ایجاد هندسه مدل و در ورودی و خروجی شکاف پایه ها به کار برده شدند، شرایط مرزی داخلی (Interior) اختصاص داده شد تا به این ترتیب تاثیر آن ها در آنالیز جریان از بین برود. در مدل سازی کانال با استفاده از مدل جریان چند فازه، یک ناحیه دو فازه شامل آب و هوا تشکیل شد. میزان عمق انتخاب شده برای فاز هوا باید به گونه ای باشد که از هرگونه تاثیر ناحیه مرزی بالادست بر مدل ساخته شده جلوگیری شود. بر اساس تحقیقات محققین پیشین نسبت عمق هوا به عمق آب یک به سه یا بیشتر پیشنهاد شده است که در این تحقیق نسبت یک به سه برای تمام حل ها مورد استفاده قرار گرفت و برای سطح فوقانی هوا نیز از شرایط مرزی متقارن (Symmetry) استفاده شد.

۴. انتخاب مدل آشفتگی

مندوزا (۱۹۹۳) با استفاده از مدل آشفتگی k-ε استاندارد جریان در نزدیکی پایه پل دایروی قائم را به صورت سه بعدی مدل سازی نموده و از این طریق توانست تنش های برشی ایجاد شده در بستر کانال را به دست آورد. دی و همکاران (۱۹۹۵) یک مدل سینماتیک نیمه تجربی سه بعدی برای شبیه سازی جریان گردابه های اطراف پایه پل در شرایط جریان آب زلال ایجاد کردند و به این وسیله توزیع سرعت در اطراف پایه پل را بررسی نمودند. ایشان برای صحت سنجی مدل خویش نتایج خود را با نتایج آزمایشگاهی تحقیقات ملویل (۱۹۷۵) مقایسه نمودند. داو و همکاران (۱۹۹۸) با استفاده از مدل آشفتگی تنش رینولدزی RSM که توسط داو (۱۹۸۰) ارائه گردیده بود به بررسی تنش های برشی در بستر کانال پرداختند. صلاح الدین و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از مدل های آشفتگی مختلف k-ε و RSM جریان اطراف پایه پل دایروی را به صورت سه بعدی شبیه سازی کردند. ایشان برای صحت سنجی مدل های خویش و بررسی تنش های حاصل از مدل های آشفتگی مختلف در بستر کانال، نتایج خود را با نتایج آزمایشگاهی تحقیقات ملویل (۱۹۷۵) مقایسه نمودند.

مدل های آشفتگی متعددی در نرم افزار FLUENT موجود است. هرمدل بسته به نوع و شرایط ناحیه جریان مدل سازی شده و دقت مورد نظر دارای مزایای خاص خود می باشد و امکان معرفی مدلی که بتواند به صورت جامع و کلی برای انواع مسائل مناسب عمل نماید وجود ندارد. برای انتخاب مدل آشفتگی مناسب با توجه به تحقیقات صورت گرفته پیشین، مدل های k-ε استاندارد، RNG k-ε، Realizable k-ε و RSM که تاکنون نتایج قابل قبولی را در شبیه سازی سه بعدی جریان اطراف پایه پل نشان داده اند مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور انتخاب مناسب ترین مدل آشفتگی، نتایج تنش های برشی بستر و توزیع سرعت در اطراف پایه پل با نتایج آزمایشگاهی ارائه شده توسط ملویل (۱۹۷۵) که با استفاده از پایه های پل دایروی و در شرایط بستر هموار وصلب انجام شده اند و نیز مدل سازی های عددی صلاح الدین و همکاران (۲۰۰۴) و مندوزا (۱۹۹۳) مقایسه گردید. شکل ۲ نشان دهنده مقایسه توزیع تنش های برشی کف حاصل از مدل های آشفتگی مختلف که با تقسیم بر تنش برشی بحرانی τ_c بی بعد شده اند با نتایج آزمایشات ملویل (۱۹۷۵) است. نواحی هاشور خورده نشان دهنده ناحیه $\tau_c > 1$ است که در این ناحیه از بستر کانال، آبشستگی آغاز می شود. تنش برشی بحرانی بستر همانند مقدار به دست آمده از آزمایشات ملویل (۱۹۷۵) و برابر $\tau_c = 0.196 \text{ pa}$ در نظر گرفته شد.



شکل ۲- مقایسه توزیع تنش های برشی کف حاصل از مدل های آشفتگی مختلف با نتایج آزمایشات ملویل (۱۹۷۵)



همان طور که در شکل ۲ دیده می شود، تمامی مدل های آشفتگی توانسته اند تخمین خوبی از ناحیه تنش های برشی بحرانی بستر و محل شروع آن در کناره پایه و امتداد و نحوه گسترش آن در اطراف پایه را ارائه دهند. نتایج حاصله از دقت بالاتری نسبت به نتایج مدل سازی عددی صلاح الدین و همکاران (۲۰۰۴) و مندوزا (۱۹۹۳) برخوردار بود. از میان مدل های آشفتگی مورد بررسی مدل های $k-\epsilon$ استاندارد و RSM ناحیه $\tau/\tau_c > 1$ را به صورت نزدیک تری نسبت به نتایج آزمایشگاهی مدل نمودند. از میان این دو مدل آشفتگی، $k-\epsilon$ استاندارد به دلیل سرعت بالاتر در رسیدن به همگرایی و اقتصادی تر بودن انتخاب گردید و در مدل سازی پایه های شکاف دار و گروه پایه های دوتایی به کار گرفته شد.

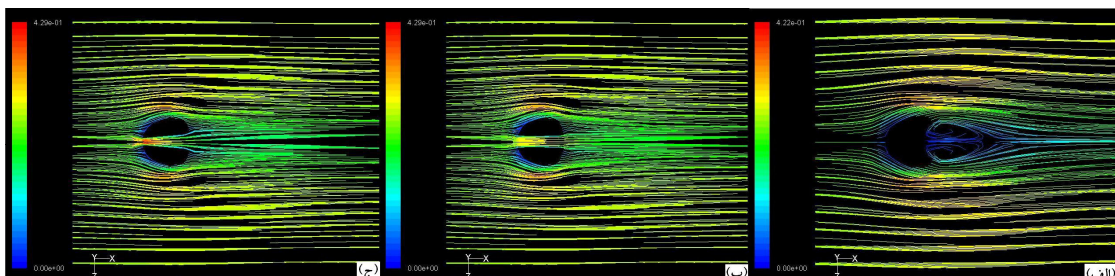
۵. پایه های پل شکاف دار

پس از صحت سنجی مدل تک پایه بدون شکاف و انتخاب مدل آشفتگی مناسب، سه پایه پل دارای شکاف با مقطع مستطیلی شکل و با نسبت های اندازه بازشدگی شکاف به قطر پایه (W/D) برابر ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ و همچنین دو پایه با شکاف های بازشونده و تنگ شونده که هردو دارای مساحت مقطع شکافی مشابه شکاف پایه پل با مقطع مستطیلی شکل و $W/D = 0.3$ بودند ساخته شد. نسبت بازشدگی شکاف در جلو پایه به بازشدگی شکاف در عقب پایه برای شکاف بازشونده ۰/۵ و برای شکاف تنگ شونده برابر ۲ انتخاب گردید. جدول ۱ نشان دهنده پایه های پل شکاف دار مدل شده می باشد. با توجه به نتایج محققین پیشین که شکاف امتداد یافته تا بستر کانال را در کاهش عمق آبستگي موضعی موثرتر دانسته اند، طول شکاف ها برابر عمق جریان و ۱۵cm انتخاب گردید.

جدول ۱- شکل های شکاف پایه پل مدل سازی شده

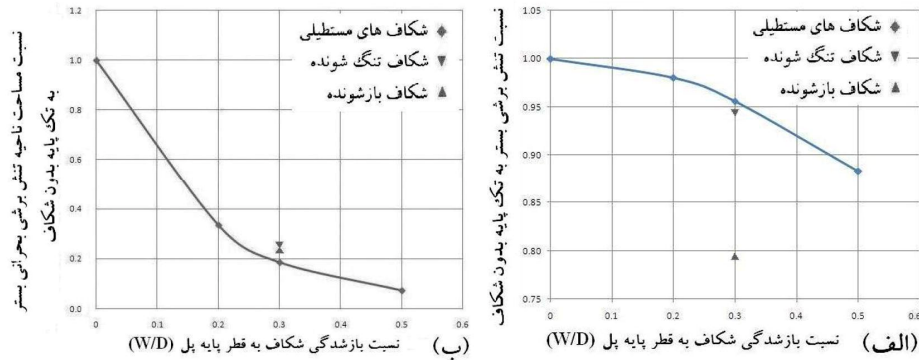
	W/D=0.2	W/D=0.3	W/D=0.5	شکاف بازشونده	شکاف تنگ شونده
شکل مقطع شکاف					
نمای پایه ها از رویرو					

در شکل ۳ می توان خطوط جریان (path lines) اطراف پایه پل بدون شکاف و پایه پل دارای شکاف مستطیلی با بازشدگی ای به اندازه $W/D = 0.3$ و نیز پایه دارای شکاف بازشونده را در صفحه ای قرار گرفته به فاصله ۵ cm از بستر کانال، مشاهده نمود. در پشت پایه بدون شکاف جریان های برگشتی که نشان دهنده وجود گردابه های فرساینده می باشند مشاهده می شود و می توان دید وجود شکاف پایه سبب کاهش جریان های برگشتی در پشت پایه پل گردیده است. همچنین می توان شدت گرفتن سرعت جریان خروجی از شکاف پایه مستطیلی شکل که موجب ایجاد آبستگي در پشت پایه می شود را مشاهده کرد در حالی که در شکاف باز شونده جریان خروجی شکاف از قدرت کمتری برخوردار بوده و موجب ایجاد آبستگي در پشت پایه نمی گردد بلکه با انحراف به دو وجه کناری پایه و برخورد با گردابه های نعل اسبی، به نحو موثرتری سبب کاهش قدرت آن ها می گردد.



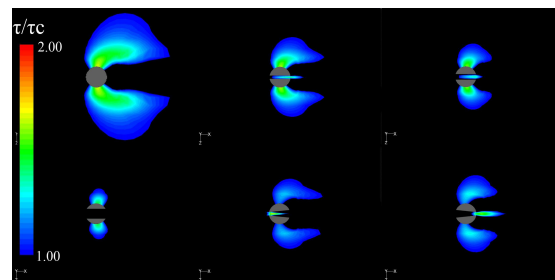
شکل ۳- خطوط جریان به فاصله ۵ cm از بستر کانال و در اطراف: (الف) پایه بدون شکاف (ب) پایه دارای شکاف $W/D = 0.3$ (ج) پایه دارای شکاف باز شونده

در شکل ۴- الف می توان نسبت تنش برشی بیشینه بستر در اطراف پایه های شکاف دار به تک پایه بدون شکاف را مشاهده نمود. شکل ۴-ب نسبت مساحت ناحیه تنش برشی بحرانی بستر در اطراف پایه های شکاف دار به تک پایه پل بدون شکاف را نشان می دهد و در شکل ۵ می توان نواحی تنش برشی بحرانی بدون بعد بستر اطراف پایه های پل بدون شکاف و شکاف دار را مشاهده کرد.



شکل ۴- الف) نسبت تنش برشی بیشینه بستر در اطراف پایه های شکاف دار به تک پایه بدون شکاف (ب) نسبت مساحت ناحیه تنش برشی بحرانی بستر اطراف پایه های شکاف دار به تک پایه پل بدون شکاف

همان طور که نمودار های شکل ۴ نشان می دهند با استفاده از شکاف در پایه پل به نحو موثری از میزان تنش های برشی بیشینه اطراف پایه ها و گستردگی ناحیه تنش های برشی بحرانی که محل آغاز آبهستگی در اطراف پایه پل ها می باشند، کاسته می شود. همچنین می توان گفت با افزایش نسبت W/D میزان تاثیر شکاف پایه در حفاظت از پایه پل در برابر آبهستگی موضعی افزایش می یابد. با توجه به نمودار شکل ۴-الف می توان گفت مدل شکاف باز شونده پیشنهاد شده در این تحقیق، به رغم استفاده از سطح مقطعی برابر با سطح مقطع شکاف مستطیلی با $W/D=0.3$ ، عمل کرد مطلوب تری در انحراف جریان شکل گرفته در اطراف پایه پل و در نتیجه کاهش تنش های برشی کف در اطراف پایه از خود نشان داده است. نحوه اثر شکاف پایه به این ترتیب است که در پایین شکاف و نزدیک بستر، جریان نزدیک شونده به پایه در لایه های تحتانی و برای عبور از شکاف شتاب گرفته و رفتاری همانند جتی افقی خواهد داشت. از آنجایی که جت افقی بر جریان رو به پایین ایجاد شده در جوار پایه پل عمود است باعث انحراف آن گردیده و از برخورد مستقیم و قدرت برخورد جریان رو به پایین به بستر و توان فرسایش کاسته خواهد شد و همچنین موجب شکسته شدن گردابه های نعل اسبی شکل گرفته در اطراف پایه پل خواهد شد. از طرف دیگر قسمت بالای شکاف در نزدیک سطح آب نیز به طور موثری از عمق جریان نزدیک شونده می کاهد و با کاهش میزان چشمگیر در جریان رو به پایین و گردابه های نعل اسبی به کاهش میزان آبهستگی موضعی کمک می کند.



شکل ۵ - نواحی تنش برشی بحرانی بستر ($\tau/\tau_c > 1$) اطراف پایه های پل بدون شکاف و شکاف دار

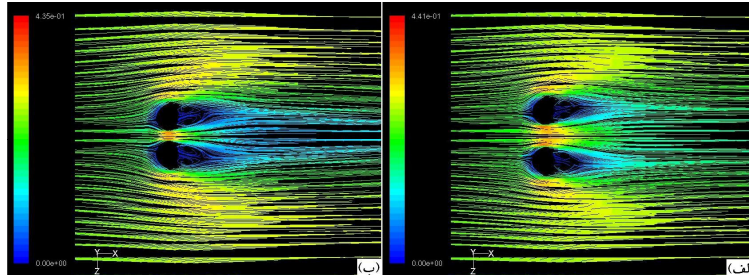
۶. گروه پایه های دوتایی عمود بر جریان

به دلیل مطرح شدن محدودیت های اجرایی و سازه ای احتمالی که از طرف طراحان سازه ای پل ها در مورد کاربرد عملی تک پایه های شکاف دار مطرح می گردد، در این تحقیق کاربرد دو پایه پل دایروی قرار گرفته در کنار هم و عمود بر راستای جریان را که با مجموع مساحت مقطع قسمت توپر پایه در مقطع های شکاف دار تک پایه برابر می باشد نیز مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور تک پایه شکاف دار با $W/D=0.3$ انتخاب گردید



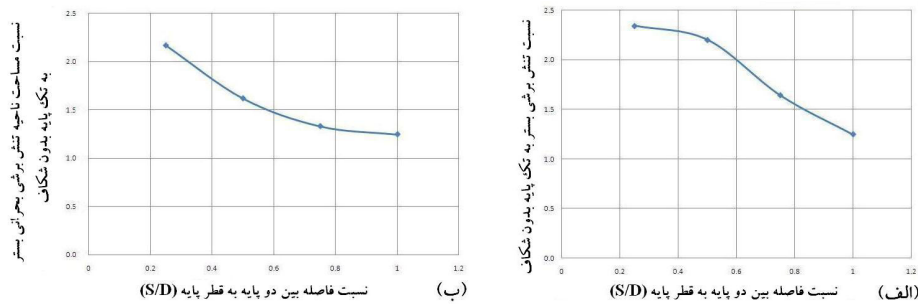
و با اندازه گیری مساحت مقطع قسمت توپر در مقطع شکاف دار، اندازه شعاع در پایه دایروی مجزا محاسبه گردید. این پایه ها با فواصلی برابر $0.75D$ ، $0.5D$ و $0.25D$ (اندازه قطر هر کدام از پایه ها است) از یکدیگر قرار گرفتند.

شکل ۶ خطوط جریان اطراف پایه هایی که به فاصله D و $0.5D$ از یکدیگر قرار گرفته اند را در صفحه ای به فاصله 5 cm از بستر کانال نشان می دهد.



شکل ۶ - خطوط جریان به فاصله 5 cm از بستر کانال و در اطراف پایه هایی به فاصله: (الف) $S/D=1$ و (ب) $S/D=0.5$ از یکدیگر

در شکل ۷-الف می توان نسبت تنش برشی بیشینه بستر در اطراف گروه پایه های دوتایی عمود بر مسیر جریان به تک پایه بدون شکاف را مشاهده نمود. شکل ۷-ب نسبت مساحت ناحیه تنش برشی بحرانی بستر در اطراف گروه پایه های دوتایی عمود بر مسیر جریان به تک پایه پل بدون شکاف را نشان می دهد.



شکل ۷- (الف) نسبت تنش برشی بیشینه بستر در اطراف گروه پایه های دوتایی عمود بر مسیر جریان به تک پایه بدون شکاف (ب) نسبت مساحت ناحیه تنش برشی بحرانی بستر در اطراف گروه پایه های دوتایی عمود بر مسیر جریان به تک پایه بدون شکاف

همان طور که نمودارهای شکل ۷ نشان می دهند این آرایش قرارگیری پایه های پل موجب افزایش بیشینه و نیز گستردگی ناحیه تنش برشی بستر در اطراف پایه های پل گردید است و با نزدیک تر شدن پایه ها به یکدیگر بر میزان تنش و گستردگی آن افزوده شده است. افزایش در میزان تنش برشی بستر و گستردگی آن با نزدیک شدن دو پایه به یکدیگر به این دلیل رخ می دهد که با این کار، بازوهای گردابه های نعل اسبی شکل گرفته در میان دو پایه متراکم تر شده و در نتیجه قدرت فرساینده گی جریان و تنش های برشی کف ایجاد شده افزایش می یابد (شکل ۶). با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت این آرایش پایه ها نه تنها نمی تواند به عنوان جایگزینی برای شکاف پایه پل مطرح گردد بلکه نسبت به تک پایه بدون شکاف نیز آبهستگی بیشتری در اطراف پایه پل ایجاد خواهد کرد.

نتیجه گیری

در این تحقیق از مدل سازی عددی جریان سه بعدی اطراف پایه پل ها به کمک نرم افزار FLUENT برای مطالعه تاثیرات استفاده از شکاف ایجاد شده در تک پایه پل ها و نیز دو پایه پل کنار هم و عمود بر راستای جریان بر روی آبهستگی موضعی اطراف پایه پل ها استفاده گردید. تعیین شکاف در تک پایه های دایروی موجب کاهش میزان تنش های برشی کف کانال در اطراف پایه پل و نیز کوچک تر شدن ناحیه تنش های برشی بحرانی ($\tau/\tau_c > 1$) و



کاهش قدرت گردابه های مخرب شکل گرفته در اطراف پایه پل گردید. با افزایش باز شدگی شکاف پایه بر میزان تاثیرات مثبت شکاف در محافظت پایه در برابر آبشستگی موضعی افزوده شد. مدل شکاف باز شونده پیشنهاد شده در این تحقیق، به رغم استفاده از سطح مقطعی برابر با سطح مقطع شکاف مستطیلی با $W/D=0.3$ کارایی مطلوب تری در انحراف جریان شکل گرفته در اطراف پایه پل و در نتیجه کاهش تنش های برشی کف در اطراف پایه از خود نشان داد. همچنین با توجه به شکل مقطع باز شونده کاربرد آن به جای شکاف های مستطیلی می تواند یکی از نقطه ضعف های مطرح شده در مورد شکاف پایه که گیر کردن آشغال های شناور در رودخانه در شکاف و بسته شدن آن می باشد را کاهش دهد.

در مدل سازی های صورت گرفته، استفاده از گروه پایه های دوتایی عمود بر مسیر جریان موجب افزایش تنش برشی در بستر کانال و نیز گسترش ناحیه تنش های برشی بحرانی ($\tau/\tau_c > 1$) گردید و با نزدیک شدن دو پایه به یکدیگر بر میزان بیشینه تنش های برشی و گستردگی ناحیه آن افزوده گشت. به عبارت دیگر در عمل استفاده از تک پایه ای بزرگتر به جای دو پایه مجزای عمود بر مسیر جریان، منجر به ایجاد آبشستگی های کمتری در اطراف پایه پل خواهد بود و در صورت استفاده از دو پایه عمود بر جریان نیز باید فاصله مناسب بین دو پایه در نظر گرفته شود تا حتی المقدور از اثرات مخرب این آرایش در ایجاد آبشستگی موضعی کاسته گردد.

۱۲. مراجع

1. Melville, B. W. and Hadfield, A. C. (1999), "Use of sacrificial piles as pier scour countermeasures", J. Hyd. Eng, ASCE, Vol. 125, No. 11, pp. 1221-1224.
2. Chiew, Y. M. (1992), "Scour protection at bridge piers", J. Hyd. Eng, ASCE, Vol. 118, No. 9, pp. 1260-1269.
3. Kumar, V., Ranga Raju, K. G. and Vittal, N. (1999), "Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars", J. Hyd. Eng, ASCE, Vol. 125, No. 12, pp. 1302-1305.
4. Heidarpour, M. (2002), "Control and reduction of local scour at bridge piers by using slot", River flow 2002, D. Bousmar and Y. Zech, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, Vol. 2, 1069-1072.
5. El-Razck, M. A., El-Motaleb, M. A. and Bayoumy, M. (2003), "Scour reduction around bridge piers using internal openings through the pier", J. Alexandria Engineering, Vol. 42, No. 2, pp. 241-248.
۶. پیرمحمدی، ر.، حیدرپور، م. (۱۳۸۵)، "بررسی شکل و ابعاد محدوده سنگ چین اطراف پایه های استوانه ای پل ها برای کنترل آبشستگی موضعی"، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تهران.
7. Grimaldi, C., Gaudio, R., Calomino, F. and Cardoso, A. H. (2009), "Countermeasures against local scouring at bridge piers: slot and combined system of slot bed sill", J. Hyd. Eng, ASCE, Vol. 135, No. 5, pp. 425-431.
8. Melville, B. W. (1975), "Local scour at bridge sites", Rep. No. 117, Dept. of Civil Engineering, School of Engr., Univ. of Auckland, Auckland, New Zealand.
9. Salaheldin, T. M. and Chaudhry, H. (2004), "Numerical Modeling of Three-Dimensional Flow Field Around Circular Piers", J. Hyd. Eng, ASCE, Vol. 130, No. 2, pp. 91-99.
10. Mendoza-Cabrales, C. (1993), "Computation of flow past a pier mounted on a flat plate", Proc., ASCE Water Resources Engineering Conf., San Francisco, July 25-30, pp. 899-904.
11. Dey, S., Bose, S. K. and Sastry, G. L. N. (1995), "Clear water scour at circular piers: A model", J. Hyd. Eng, ASCE, Vol. 121, No. 12, pp. 869-876.
12. Dou, X., Jones, S., Young, G. K. and Sten, S. M. (1998), "Using a 3-D model to predict local scour", Proc., ASCE, Water Resources Engineering Conferences, Memphis, Tenn., August 3-5, 198-203.
13. FLUENT 6.2 User's Guide. (2005), Fluent Incorporated, Lebanon, N.H.