

بررسی عددی تاثیر افزایش ارتفاع شکاف پایه بر کاهش بیشینه سرعت برشی حول پایه پل در گروه پایه پل های استوانه ای

غلام عباس کرد^۱، ابراهیم نوحانی^{۲*}

۱- گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، g.abbas44@yahoo.com

۲- گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، Nohani_e@yahoo.com

چکیده

یکی از دلایل اصلی وقوع آبخستگی پایه پل تنش برشی اطراف پایه است. از راههای کاهش اثر این عامل استفاده از شکاف در پایه پل ها برای تقویت پایداری سنگ چین اطراف پایه پل می باشد. در این تحقیق به منظور دستیابی به مدل عددی شکاف پایه پل از مدل فیزیکی اسماعیلی و همکاران (۲۰۱۱) با دو پایه به قطر $b=6\text{cm}$ به فواصل $3b$ و $4b$ که در آن شکاف هایی به عرض متغییر w با مقادیر 0.1 و 0.2 و 0.3 سانتیمتر و ارتفاع متغییر yl از بستر با مقادیر 0.12 و 0.2 سانتیمتر در کانالی به طول 6 متر و عرض 6 سانتیمتر و عمق 2 سانتیمتر با دبی جریان $Q=0.04$ متر مکعب بر ثانیه استفاده شد. نتایج تحقیق حاضر با بهره گیری از مدل فلوتریدی نشان داد بهترین حالت برای کاهش سرعت بیشینه زمانی است که شکاف پایه ارتفاعی معادل عمق جریان از بستر داشته باشد و می توان گفت شکاف در وضعیت $0/5 = \frac{w}{b}$ و هم ارتفاعی با عمق جریان $1 = \frac{yl}{y_0}$ ، بیشینه سرعت برشی به میزان 13% درصد نسبت به وضعیتی که در آن شکاف پایه $1/4$ عمق جریان از بستر ارتفاع دارد کاهش می یابد.

واژه های کلیدی: آبخستگی، گروه پایه پل، شکاف پایه پل، مدل عددی، سنگ چین

مقدمه

موضعی یکی از دلایل عمده عدم پایداری پل ها و در نهایت شکست آنها می باشد. به این ترتیب روش های مناسب جهت کنترل و کاهش آبخستگی از جمله مسائلی است که بسیار مورد توجه بوده است. راهکارهای کاهش آبخستگی در اطراف پایه های پل 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 شود به کار رفته و به صورت سپری در برابر آنها 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

هر تحقیق، فرآیندی علمی است که طی آن پژوهشگر تلاش می کند تا برای یک مسئله، پاسخی نظری پیدا کند. در این تحقیق یا برای حل یک مشکل واقعی در دنیای عمل راهکاری بیابد. در این فصل به کلیات تحقیق پرداخته شده است و مفاهیم کلی تحقیق اعم از بیان مسئله، اهمیت و ضرورت تحقیق، اهداف و فرضیه های تحقیق، جدیدی بودن و نوآوری تحقیق، قلمرو تحقیق و تعاریف واژه های کلیدی تحقیق ارائه گردیده است. در تخریب پل ها، عواملی نظیر تنگ شدگی مسیر جریان و ایجاد جریان های ثانویه و گردابی در اطراف پایه ها موجب آبخستگی موضعی ذرات در اطراف پایه میشود که اجزاء اصلی این سیستم جریان رو به پایین، گرداب نعل اسبی و گرداب های جاری می باشند. وقوع آبخستگی

بررسی پدیده مزبور در شرایط واقعی (اندازه‌گیری متغیرهای مشهود به صورت درجا یا آزمایش صحرایی).

ساخت مدل فیزیکی با مقیاس آزمایشگاهی و انجام بررسی‌های لازم روی مدل ساخته شده.

بیان پدیده مزبور به صورت تئوریک و حل روابط تئوریک از طریق اعمال شرایط موجود بر مدل.

دو حالت اول به روش‌های تجربی و حالت سوم به روش تئوریک معروف است. در روش‌های تئوریک، ابتدا با مشاهده پدیده فیزیکی، به بیان معادلات حاکم مربوطه پرداخته می‌شود. مشکلی که در اینجا وجود دارد این است که بر خلاف پدیده‌هایی که برای حل آنها مدل ریاضی مناسبی ارائه شده است و راه حل تحلیلی برای آنها موجود است، پدیده‌هایی نیز موجود است که هنوز مدل تحلیل برای آنها یافت نشده است (نظیر جریان‌های دوفازی). برای حل این نوع مسائل از روش‌های عددی استفاده می‌شود. دینامیک سیالات محاسباتی یکی از روش‌هایی است که به کمک آن می‌توان از سیستم‌های شامل جریان سیال، انتقال حرارت و انتقال جرم همراه با (بدون) واکنش شیمیایی را بر اساس شبیه‌سازی کامپیوتری تحلیل کرد. در این روش با مجزاسازی، معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر سیالات به معادلات جبری تبدیل می‌شوند و شرایطی فراهم می‌شود تا معادلات به صورت عددی حل شود، زیرا حل معادلات جبری به روش عددی به مراتب آسان‌تر است. با تقسیم محدوده‌ی حل به المان‌های کوچک‌تر و سپس تعریف معادلات برای هر المان براساس شرایط مرزی مسأله، و سپس حل همزمان تمام معادلات می‌توان مقادیر دما، سرعت، غلظت و دیگر پارامترهای مربوطه را در هر نقطه بدست آورد. همچنین می‌توان با استفاده از داده‌های بدست آمده مقادیر مربوط به ضرایب تعریف شده در انتقال حرارت، جرم و سیالات را محاسبه کرد.

پایین و گردابه‌های نعل اسبی اطراف پایه‌های پل است. از روش‌های مقاوم سازی بستر برای پایه‌های میانی و کناری پل‌ها می‌توان به استفاده از پوشش سنگریزه و استفاده از توری سنگی اشاره کرد. از وسایل دگرگون‌کننده جریان در پایه‌های پل‌ها نیز میتوان به طوقه‌ها که دور پایه‌ها ساخته می‌شوند و شمع‌های فرعی یا اصطلاحاً شمع‌های فدایی که در بالادست پایه‌های پل قرار می‌گیرند، اشاره نمود. در سال‌های اخیر نیز استفاده از شکاف در پایه پل به عنوان روشی جدید در این زمینه مطرح گردیده است. هدف اصلی 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 قرارگیری شکاف و طولی از شکاف که درون بستر رودخانه قرار می‌گیرد، عوامل مهم شکاف پایه پل‌ها هستند. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیقات صورت پذیرفته و تاثیر قابل قبول شکاف پایه در کاهش عمق تعادلی آبستنگی موضعی پایه‌های پل استنباط می‌شود. روش ایجاد شکاف و سنگ چینی به عنوان روش‌هایی موثر در حفاظت پل‌ها در برابر آبستنگی موضعی مورد توجه مهندسين قرار بگیرد، اما از طرفی در حال حاضر آگاهی‌ها در مورد چگونگی قرارگیری سنگ چین و طراحی شکاف‌های پایه جامع نبوده است. بنابراین در این تحقیق بر آن شدیم تا با بررسی توام هر دو روش میزان تاثیر همزمان آن را بر کاهش آبستنگی در گروه پایه پل‌های استوانه‌ای شکل بررسی و تعیین نماییم. در خصوص نسبت اندازه ریب رپ به قطر پایه تقریباً در تمام حالات این مقادیر به دست آمده بین $0/3$ تا $0/5$ بوده و با افزایش عرض شکاف این مقدار کاهش می‌یابد و همچنین نتایج نشان می‌دهد که شکاف در صورتی تاثیر ملموس تری خواهد داشت که عرض آن زیاد و در تمام عمق ادامه داشته باشد.

مواد و روش‌ها

در حالت کلی شناخت یک پدیده فیزیکی و بررسی شرایط موجود آن به سه طریق زیر صورت می‌گیرد:

مقدمه

در این فصل به بررسی اثر وجود شکاف و تأثیر آن بر روی اندازه ریب رپ پایه های پل پرداخته می شود. بدین منظور برای حالات مختلف شکل شکاف میدانهای سرعت و تنش برشی در اطراف پایه های پل دایره ای در حالت تک پایه و دو پایه بدست آمده و سپس با استفاده از روابط موجود اندازه ریب رپ تعیین می گردد. انتظار می رود که تغییر در مشخصات شکاف روی پایه پل شکل تنشهای برشی و سرعتهای ماکزیمم تغییر نماید. این مسئله می تواند باعث ایجاد تنش برشی و سرعتهای کمتر و به تبع آن کم شدن قطر دانه بندی ریب رپ گردد. به منظور مدلسازی از مدل آزمایشگاهی ارائه شده توسط اسماعیل و همکاران (۲۰۱۱)^۱ استفاده شده است. برای بررسی اندازه دانه بندی ریب رپ از مقاله ارائه شده توسط کریمی طبرستانی و زراتی (۲۰۱۵)^۲ استفاده شده است.

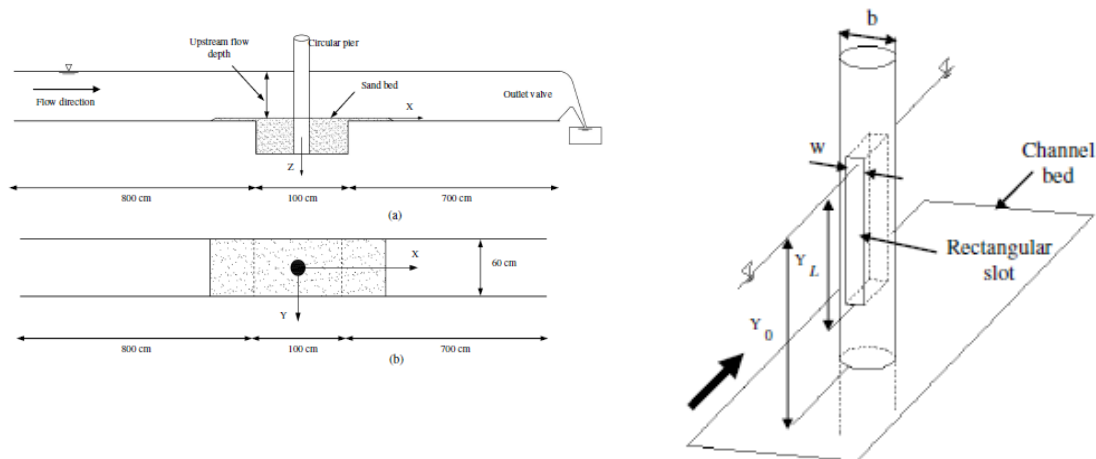
مدلسازی

همانطور که قسمت قبل اشاره شده، برای مدلسازی عددی از آزمایشات انجام شده توسط اسماعیل و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شده است. در شکل (۱) مدل فیزیکی این مدلسازی نشان داده شده است. کانال آزمایشگاهی با طول ۱۶ متر، عرض ۶۰ سانتی متر و عمق آب ۴۰ سانتی متر مورد مدلسازی قرار می گیرد. قطر پایه در این آزمایشات ۶ سانتی متر می باشد. در مدلسازی قطر پایه در وسط کار قرار گرفته و قطر پایه $b=6\text{ cm}$ در نظر گرفته شده است. عمق آب در آزمایشات $Y_0=20\text{ cm}$ و پارامتر عرض شکاف (w) و عمق آب (YL) متغیر در نظر گرفته شده است. قطر دانه بندی کف $d_{50}=1\text{ mm}$ و انحراف معیار آن ۱.۲۹ در نظر گرفته شده است. به منظور

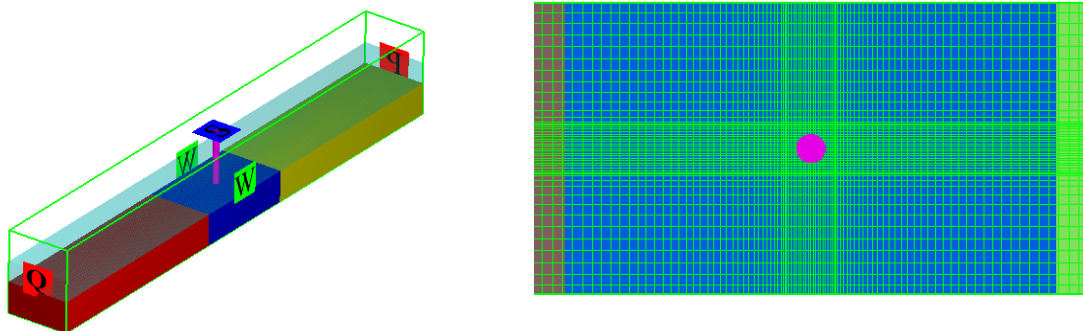
مدلسازی از مشهای متغیر استفاده شده است. در شکل (۲) مش بندی مدل نشان داده شده است. همانطور که مشخص است در این مدل از مشهای ۵ میلیمتر برای اطراف پایه و از مشهای ۱ تا ۲ سانتی متر برای نقاط دور استفاده شده است. این مسئله در فصل قبل در تستهای همگرایی دیده شده بود. با این حال پارامترهای مختلفی در این مسئله مورد بررسی قرار می گیرند. با توجه به شکل پایه تنشهای برشی و میدانهای سرعت در تستهای مختلف مورد محاسبه و نتایج آن مورد مقایسه قرار گرفته است. در جدول (۳) محدوده تغییرات متغیرها را در این تحقیق نشان داده شده است. جدول مورد اشاره صرفاً برای حالت تک پایه که مشخصات جریان و پایه مشابه آزمایشات انجام شده توسط اسماعیل و همکاران (۲۰۱۱) می باشد. در این حالت در مدلسازی قطر پایه در وسط کار قرار گرفته و قطر پایه $b=6\text{ cm}$ در نظر گرفته شده است. عمق آب در آزمایشات $Y_0=20\text{ cm}$ ، دبی انتقال 0.04 متر مکعب بر ثانیه و سرعت متوسط 0.333 متر بر ثانیه می باشد. در این تحقیق مقادیر عرض شکاف از ۰ در حالت دایره کامل تا حالت ۳ سانتی متر در حالت بیشترین باز شدگی در نظر گرفته شده است. مقدار ارتفاع شکاف از کف بستر کانال در نظر گرفته شده است. این برای سه حالت ۵ سانتی متر، ۱۲ و ۲۰ سانتی متر معادل عمق نسبی (YL/Y_0) برابر ۰.۲۵ الی ۱ در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی رفتار سیستم تحت اثر حالات مختلف پایه ها، مقادیر سرعت ماکزیمم و تنش برشی و سرعت برشی در حوالی پایه ها بدست آمده است. این مقادیر در جدولی در ادامه ارائه می گردد. برای بررسی اثر پایه های متوالی دو حالت فاصله پایه بصورت ۳ و ۴ برابر قطر نیز در نظر گرفته شده است.

¹ Esmaeili et al. (2011)

² karimae tabarestani and zarrati(2015)



شکل ۱- مدل فیزیکی مورد استفاده در مدلسازی عددی- در شکل سمت چپ مدل با وجود شکاف نشان داده شده است



شکل ۲- مدل عددی Flow-3D برای اطراف تک پایه بدون شکاف

جدول ۳- محدوده تغییرات متغیرها را در این تحقیق

1-pier			
Q = 0.04 cms			
b = 6 cm	Y0 = 20 cm		
w(cm)	YL(cm)	w/b	YL/Y0
0	0	0	0
1	5-15-20	0.1667	0.25-1
2	5-15-20	0.3333	0.25-1
3	5-15-20	0.5	0.25-1

مقاله در زمینه طراحی ریپ رپ ارائه شده است ، استفاده شده است. طبق تحقیقات انجام شده توسط هگر و الیوتو(۲۰۰۲)^۱، ریپ رپ زمانی ناپایدار خواهد شد که نسبت سرعت U/U_c از ۰.۳ بزرگتر شود بطوریکه U سرعت جریان قبل از رسیدن به پایه و

طریقه محاسبه ابعاد ریپ رپ

در این قسمت به طور اجمالی به بررسی روابط موجود در تعیین ابعاد ریپ رپ اطراف پایه های پل پرداخته می شود. بدین منظور از مقاله ارائه شده توسط کریمی طبرستانی و زراتی (۲۰۱۵) که بعنوان آخرین

¹Hager and Oliveto(2002)

U_c سرعت بحرانی حرکت دانه های ریپ ریپ است. مقدار سرعت بحرانی ریپ ریپ از روابط زیر بدست می آید:

$$U_c = 2.33 (g' \cdot d_{50})^{1/2} \sigma^{1/3} D_*^{-0.25} \left(\frac{R_h}{d_{50}}\right)^{1/6} \quad D_* \leq 10$$

$$U_c = 1.08 (g' \cdot d_{50})^{1/2} \sigma^{1/3} D_*^{1/12} \left(\frac{R_h}{d_{50}}\right)^{1/6} \quad 10 < D_* < 150$$

$$U_c = 1.65 (g' \cdot d_{50})^{1/2} \sigma^{1/3} \left(\frac{R_h}{d_{50}}\right)^{1/6} \quad D_* \geq 150$$

یکنواختی دانه بندی می باشد که از روابط زیر بدست می آید: (واحد ها بر اساس دستگاه متریک)

که در روابط فوق، g' ، D_* و σ به ترتیب ثقل کاهش یافته، پارامتر بدون بعد سایز رسوبات و ضریب

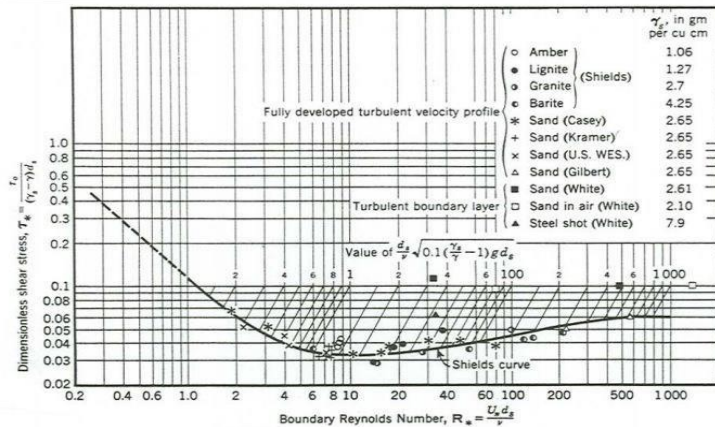
$$g' = \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right) \cdot g \quad D_* = \left(\frac{g'}{g}\right)^{1/3} d_{50} \quad \sigma = \left(\frac{d_{84}}{d_{16}}\right)^{0.5}$$

بحرانی در مسئله را مشخص نمود. سپس این مقدار با تنش برشی ماکزیمم موجود در اطراف پایه مقایسه می گردد. برای تعیین تنش برشی بحرانی از دیاگرام شیلدز استفاده می گردد. در شکل (۴) این دیاگرام نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است محور افق عدد رینولدز دانه ها Re_* و محور قائم تنش برشی بی بعد τ_* است که طبق روابط زیر بدست می آید:

و ϑ ویسکوزیته سینماتیکی، R_h شعاع هیدرولیکی، d_{50} قطر متوسط مصالح ریپ ریپ و ρ و ρ_s به ترتیب چگالی و چگالی رسوب می باشد. با توجه به روابط فوق مقادیر پارامترهای مسئله مشخص می باشد. همانطور که مشخص است قبل از تعیین اندازه ریپ ریپ می بایست مقدار تنش برشی

$$Re_* = \frac{u_* d_{50}}{\nu} \quad \tau_* = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma) d_{50}}$$

در روابط فوق u_* سرعت برشی، τ تنش برشی که با رابطه $u_* = \sqrt{\tau/\rho}$ به هم مرتبط می شوند.



Courtesy of American Society of Civil Engineers. Used with permission.

شکل ۴- دیاگرام شیلدز در تعیین تنش برشی بحرانی

تحلیل نتایج

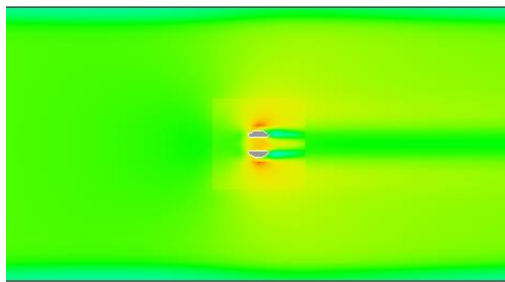
مختلف قرارگیری شکاف پایه در اطراف $\frac{1}{4}$ ، $\frac{6}{10}$ و هم سطح جریان، سرعت برشی حداکثر ۵ تا ۶ درصد کاهش نشان می دهد افزایش ارتفاع شکاف تاثیر بیشتری در کاهش سرعت بیشینه برشی دارد و در گروه پایه پل ها، با افزایش ارتفاع از ۰/۲۵ عمق جریان تا سطح جریان سرعت بیشینه برشی به مقدار ۱۳ درصد کاهش می یابد.

با توجه به خروجی نرم افزار در اطراف پایه پل مشخص شد بیشینه سرعت برشی در گروه پایه پل ها به فواصل 3b و 4b حداکثر ۳۵ درصد نسبت به متوسط سرعت جریان افزایش نشان می دهد و در پایه پل منفرد این افزایش به میزان حداکثر ۴۰ درصد می باشد. افزایش سرعت برشی اطراف پایه پل تابع ابعاد شکاف پایه است.

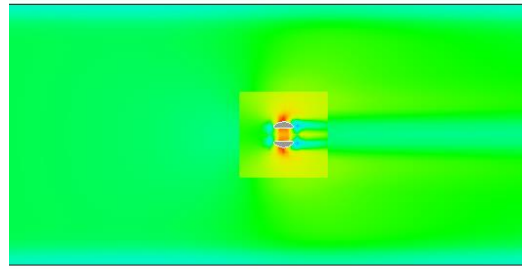
عرض شکاف پایه سهم ناچیزی در کاهش سرعت بیشینه اطراف پایه ها دارد به نحوی که در شرایط

Flow →

W=3 YL=5 , 1-pier

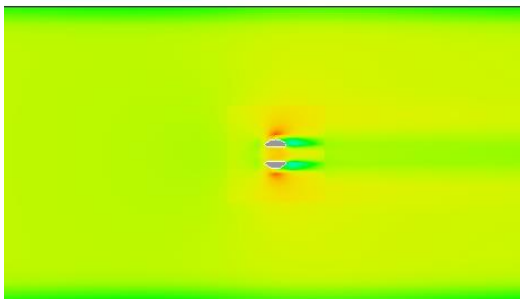


0.106 0.193 0.280 0.367 0.454

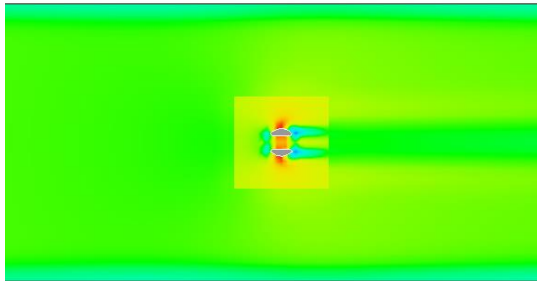


0.0080 0.0126 0.0172 0.0218 0.0263

W=3 YL=12, 1-pier

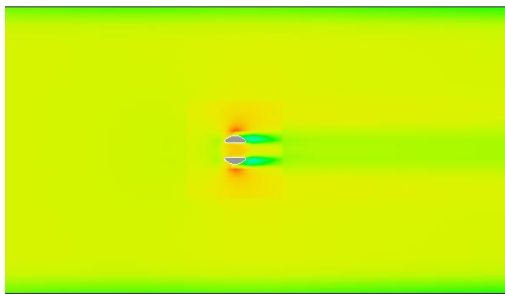


0.078 0.162 0.246 0.331 0.415

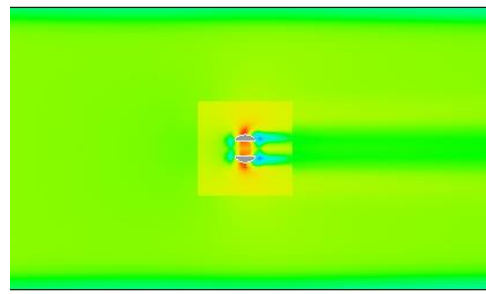


0.0077 0.0118 0.0160 0.0201 0.0243

W=3 YL=20 , 1-pier



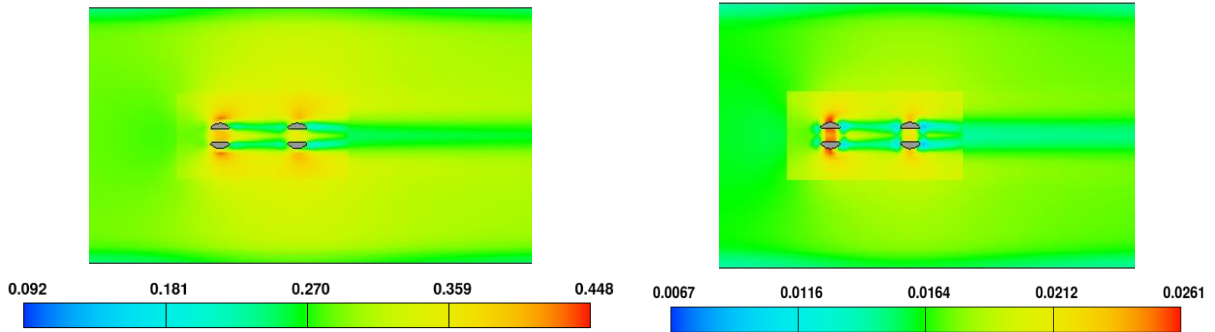
0.071 0.152 0.233 0.315 0.396



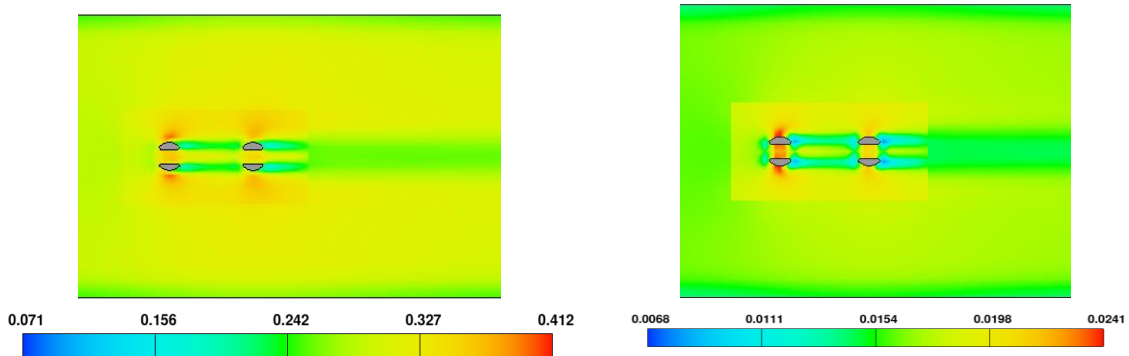
0.0071 0.0112 0.0152 0.0193 0.0233

شکل ۵- میدانهای سرعت (ستون سمت چپ) و تنش برشی (ستون سمت راست) در اطراف پایه تک پایه به عرض شکاف ۳ سانتی متر و مقادیر ارتفاع مختلف شکاف

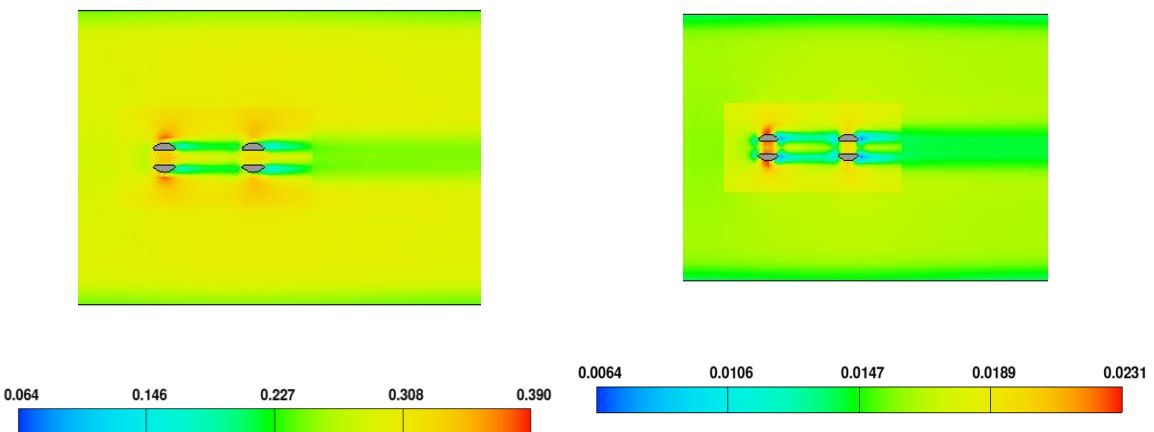
Flow \longrightarrow
 W=3 , YL=5, 2 Pier, 3b



W=3 , YL=12, 2 Pier, 3b



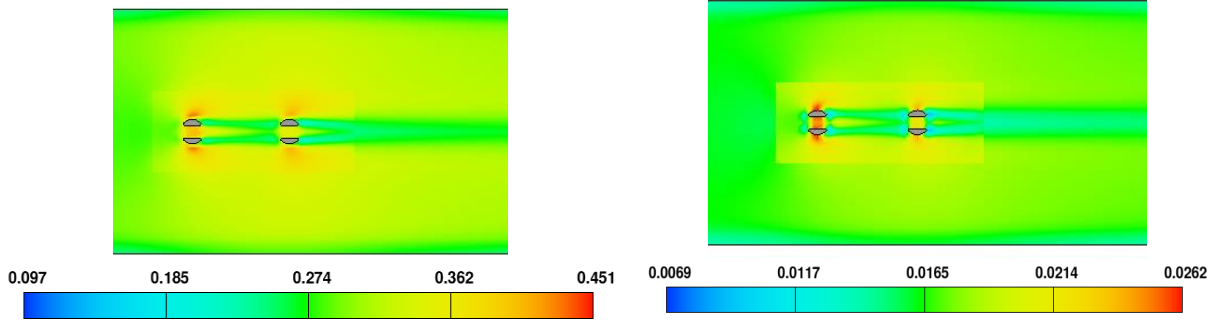
W=3 , YL=20, 2 Pier, 3b



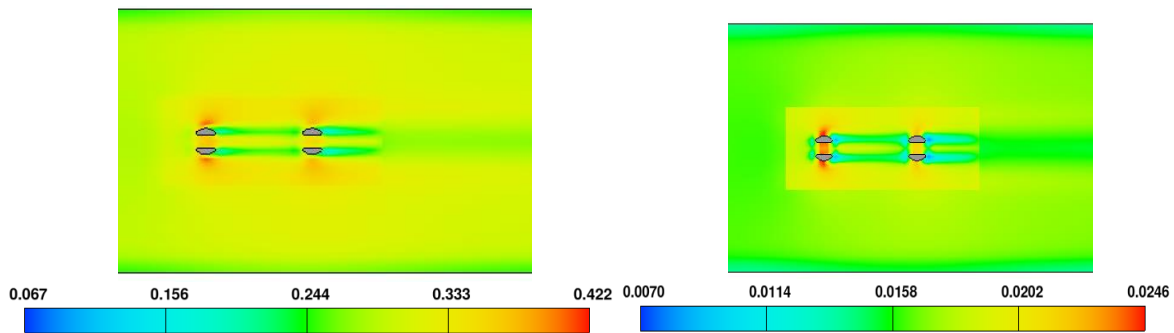
شکل ۶- میدانهای سرعت (ستون سمت چپ) و تنش برشی (ستون سمت راست) در اطراف دو پایه با فاصله 3b به عرض شکاف ۳ سانتی متر و مقادیر ارتفاع مختلف شکاف

Flow →

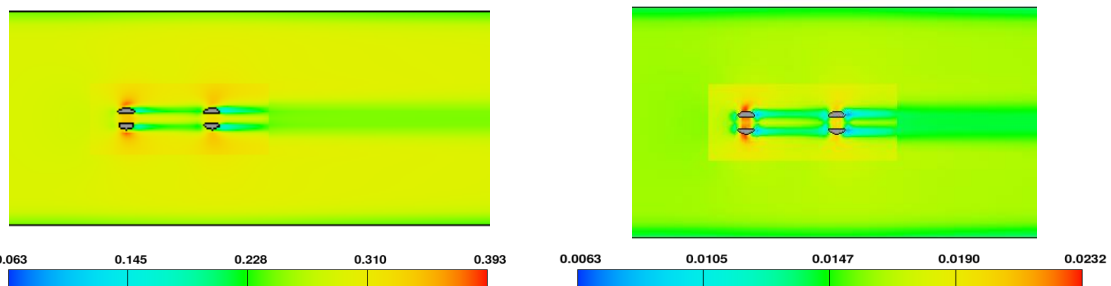
W=3 , YL=5, 2 Pier, 4b



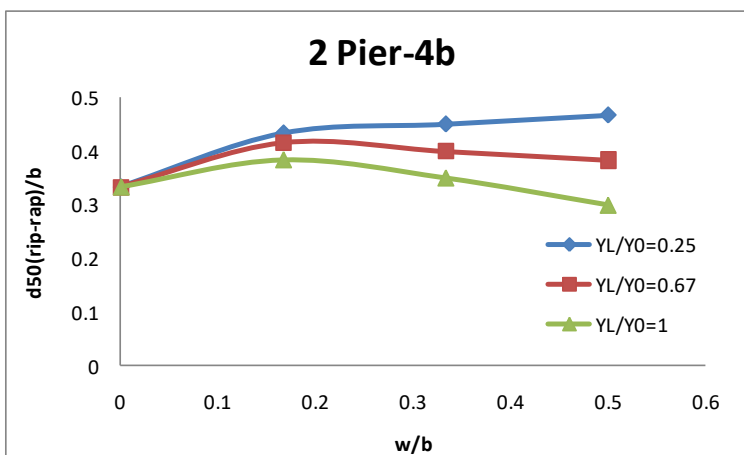
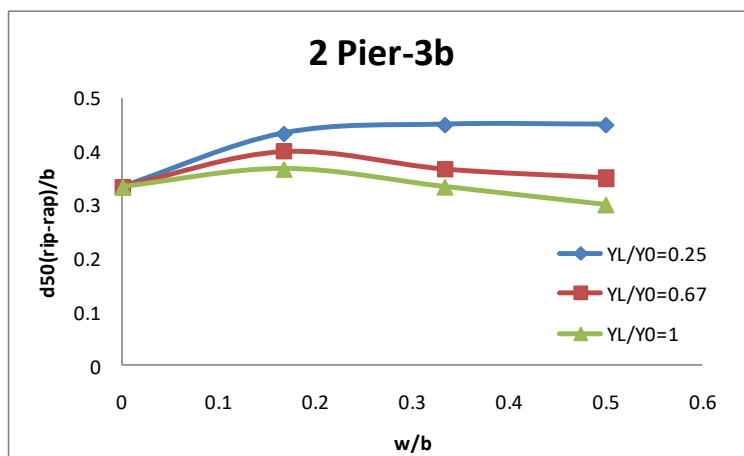
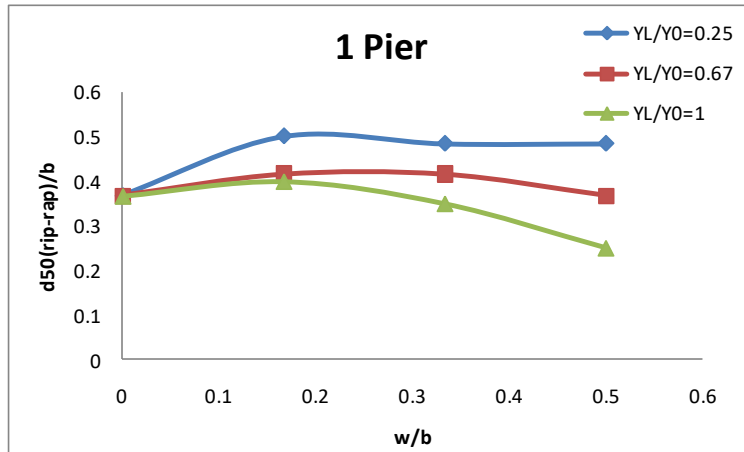
W=3 , YL=12, 2 Pier, 4b



W=3 , YL=20, 2 Pier, 4b



شکل ۷- میدانهای سرعت (ستون سمت چپ) و تنش برشی (ستون سمت راست) در اطراف دو پایه با فاصله 4b به عرض شکاف ۳ سانتی متر و مقادیر ارتفاع مختلف شکاف



شکل ۸- تغییرات مقادیر قطر ریپ ریپ به قطر پایه در برابر پارامتری بعد عرض شکاف به قطر پایه برای مقادیر مختلف $YL/Y0$

سرعت برشی بیشینه اطراف پایه پل ها، در گروه پایه پل به فواصل 3b و 4b تاثیر گذار تر است به طوری که حداکثر تاثیر ارتفاع شکاف پایه بر کاهش سرعت برشی

نتیجه گیری
تاثیر افزایش ارتفاع شکاف پایه در مقایسه با افزایش عرض شکاف به طور ملموس تری بر کاهش

ماکزیمم اطراف پایه ها ۱۳ درصد بوده در حالی که تاثیر افزایش عرض شکاف پایه بر کاهش سرعت بیشینه حداکثر ۵ درصد است.

منابع

- ۱- آقا خانی افشار، امیر حسین و کاظم اسماعیلی، ۱۳۹۰، بررسی آزمایشگاهی اثر هندسه شکاف پایه و پایه های مجاور هم بر کاهش آبشستگی موضعی و ارائه روابط حاکم بر عمق نهایی و نیز گسترش زمانی حفره فرسایشی، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، دانشگاه سمنان.
- ۲- پیرمحمدی، رحیم، حیدر پور، منوچهر، تاثیر شکاف پایه بر پایداری سنگ چین در کنترل و کاهش آب شکستگی موضعی پایه های استوانه اب پل ها.
- ۳ - حیدر پور، منوچهر، افضلی مهر، حسین، خدارحمی، زهرا، ۱۳۸۶، حفاظت گروه پایه های استوانه ای پل در برابر آب شکستگی موضعی با استفاده از شکاف، مجله ع علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهارم، شماره ۳.
- ۴ - خادم، غ، ۱۳۸۱، طراحی لایه ریپ ریپر اطراف پایه پل، با آبشستگی محدود مجاز، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۵ - رسواد، سجاد و محمد رض شکاری مهر آبادی، ۱۳۹۳، بررسی آزمایشگاهی تاثیر فاصله بین آبپایه های صلیب و کنترل آبشستگی با استفاده از سنگ چینی، دومین همایش ملی پژوهشی های کاربردی در عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، دانشگاه جامع علمی کاربردی
- ۶ - زکی زاده، رضا، نجف هدایت و علی محمد اخوند علی، ۱۳۹۳، بررسی عددی اثر شکاف بر الگوی جریان اطراف پایه های پل با استفاده از مدل flow-3d پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، ارومیه، انجمن علمی دانشجویی عمران دانشگاه ارومیه.
- ۷- عباسی چناری، سامان؛ جواد احدیان؛ عبدالمجید متین فرد و فرشید قلاوند، ۱۳۹۰، بررسی الگوی جریان و آبشستگی اطراف پایه های پل شکاف دار با تغییر طول و جابجایی شکاف به روش حجم محدود، پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور، کرمان، انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران.
- ۸- کیخانی، ملیحه، حیدر پور، منوچهر، موسوی، فرهاد، ۱۳۸۵، بررسی مشاهدات آزمایشگاهی رفتار سنگ چین در اعماق ناپایداری در گروه پایه ها، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- 11- Abdallah Mohamed, Y . Mohamed Abdel –Aal ., Hemdan Nasr –Allah., Shawky., A2016. Experimental and theoretical investigations of scour at bridge abutment. Journal of king saud University- Engineering .Vol.26.pp.32-40
- 12- Ataie –ashtiani , b ..aslani – Kordkandi ,a. flow field around single and tandem piers. Flow turbulcnce and combusition90(3). 490(2013).
- 13- Biswas , P..Barbhuiya ,A.K.2015. Experimental study on scour at 90 horizontal forced bend and its protection using riprap. International conference on water resource, Costal and Ocean Engineering .Aquatic procedia . Vol.4.pp.797 -804.
- 14- Chow v.T,(1988). Open Channel Hydraulics”, Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- 15- Chow , V.T.,(1967),”Handbook of Applied Hydrology”, Mc Graw Hill Book Co., New.
- 16- Ibrahim h. elsebaie -2013 an experimental study of local scour around circular bridge pier in sand soil, Intemational jhournul of civil & environ mental engineering ijce - ijens vol :13no:01
- 17- 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
- 18- Kumar, A., Kothyari, U.C., Raju, K. 2012.Flow structure and scour around circular compound bridge piers e A review. Journal of Hydro – environment Research. Vol.4.pp.251-265
- 19- M karimace tabarestani, ar zarrati.2015. design of rip rap stone around piers using empirical and neural network metrod , civil engineering infrastructures jgournal.
- 20- Martin –Vide , J.p.,M.Roca and C.A.Alvarado.2010. Bend scour protection using riprap Water Management. Vol.163(2):489-497.
- 21- Simarro, G., CH.Chreties and L.Teixeria,2011. Riprap sizing for pile group.J.of Hydraulc Eng. Doi: 10.1061(ASCE)HY.1943.1943-7900-0000458.
- 22- Taymaz esmaeili, amir ahmad deghani , mohammad reza pirestani ,tesuya sumi,(2011) numerical simulation of skewd slot effect on local scour reduction journal of wafer sciences research.