

## بررسی عددی تاثیر طوقه و صفحات مستغرق همسطح با بستر جریان بر کاهش عمق

### آبشستگی پایه پل

جمال عامری<sup>۱</sup>، ابراهیم نوحانی<sup>۲\*</sup>

(۱) گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

(۲) استادیار گروه عمران، مرکز تحقیقات مواد و انرژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

\*نویسنده مسئول: nohani\_e@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷

#### چکیده

پل‌ها یکی از مهمترین سازه‌های رودخانه‌ای هستند. مهمترین عامل تخریب پل‌ها، آبشستگی اطراف پایه‌های پل می‌باشد. همه ساله پل‌های زیادی در سراسر جهان بدلیل در نظرنگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی تخریب می‌شوند. در این تحقیق به بررسی عددی تاثیر توام طوق و صفحات مستغرق بر کاهش عمق آبشستگی پایه‌های پل پرداخته می‌شود. بدین منظور ۱۸ آزمایش با دبی‌های متفاوت و طول صفحات مستغرق مختلف و محل قرارگیری صفحات مماس با بستر با استفاده از نرم افزار FLOW3D مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفتند. نتایج شبیه‌سازی با نرم افزار Flow3D نشان می‌دهد که با افزایش فرود جریان آبشستگی فزایش خواهد یافت. به طور کلی با قرار دادن همزمان طوق و صفحات مستغرق عمق آبشستگی کاهش پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: طوقه، آبشستگی، پایه پل.

## مقدمه

آبشستگی پایه پل یکی از مهمترین مباحث در هیدرولیک جریان و مهندسی روخانه می‌باشد. در اثر آبشستگی اطراف پایه پل، حفره‌ای شکل گرفته که توسعه آن حفره باعث ناپایداری سازه و تخریب آن می‌شود. در اثر برخورد سیال به پایه پل، کاهش فشار از سطح آزاد جریان به سمت بستر رخ داده و جریان‌های رو به پایین به وجود می‌آیند. این جریان‌ها پایین‌رونده پس از برخورد به بستر با جریان اصلی ترکیب شده و باعث ایجاد گرداب نعل اسبی می‌شوند. گرداب‌های نعل اسبی اغلب در جلو پایه پل ایجاد می‌گردند. در اثر جدایی خطوط جریان از پایه پل گرداب برخاستگی ایجاد می‌شود. این نوع سیستم مانند یک گرداب عمل می‌کند و رسوبات را از کف به سمت بالا حرکت می‌دهد. به عبارت دیگر جهت حرکت این سیستم گردابی به سمت بالا است. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی نقش مهم و اساسی در ایجاد حفره آبشستگی حول پایه پل دارند. (Melville and Sutherland, 1988). هر ساله پل‌های زیادی در سراسر جهان به علت در نظر نگرفتن عوامل هیدرولیکی در طراحی از بین می‌روند. در سال ۱۹۸۷ تعداد زیادی پل بر روی رودخانه سچوهاری واقع در نیویورک تخریب گردید و در سال ۱۹۹۵ در ایالت کالیفرنیا تعداد ۵ پل در اثر در نظر نگرفتن عوامل هیدرولیکی ویران شد. در کشور ایران نیز در سال ۱۳۶۵ تعداد زیادی از پل‌های ساخته شده در اثر سیلاب رخ داده در استان فارس تخریب گردید. عوامل بسیاری نظیر تنگ‌شدگی مسیر جریان و ایجاد جریان‌های ثانویه و گردابی در اطراف پایه‌ها موجب آبشستگی موضعی ذرات در اطراف پایه‌های پل‌ها می‌شوند؛ که شکل غالب جریان در نزدیک یک پایه سیستم گردابی است که در اطراف پایه توسعه یافته و اصلی‌ترین مکانیزم آبشستگی را تشکیل می‌دهد؛ که اجزاء اصلی این سیستم جریان‌های پایین‌رونده و گرداب نعل اسبی می‌باشند. وقوع آبشستگی موضعی یکی از عمده‌ترین دلایل عدم پایداری پل‌ها و در نهایت شکست پل می‌باشد. به همین دلیل روش‌های مناسب جهت کاهش و کنترل عمق آبشستگی از جمله مواردی است که بسیار حائز اهمیت می‌باشد. این روش‌ها در دو فاز متفاوت، مقابله با فرسایش و از بین بردن عوامل فرسایش انجام می‌پذیرد در ابتدا با بکارگیری مواد و مصالح متفاوت مانند انواع سنگ‌چین‌های حفاظتی یا سنگریزهای حفاظتی در اطراف پایه پل سعی در جلوگیری از حرکت ذرات بستر می‌نمایند و در روش دیگر تلاش در جهت حذف عوامل فرسایش‌دهنده مانند جریان‌های ثانویه و گرداب‌های نعل اسبی می‌کنند. همچنین استفاده از شکاف در پایه‌ها از جمله شیوه‌های جدید کاهش آبشستگی موضعی می‌باشد. کشاورزی و همکاران (۱۳۹۸) به مطالعه و ارزیابی ساختار جریان و آبشستگی در اطراف پایه‌های پل تکی و دوتایی به صورت آزمایشگاهی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که اثر متقابل دو پایه با فاصله کم روی یکدیگر باعث تشدید فرآیند آبشستگی در فاصله بین دو پایه و محل پایه دوم می‌گردد. همچنین افزایش تعداد پایه منجر به توسعه عرضی حفره آبشستگی و در نتیجه افزایش حجم گودال آبشستگی می‌شود. طاهری و قمشی (۱۳۹۸) به مطالعه اثر موقعیت قرارگیری طوقه‌های مشبک به عمق آبشستگی پایه پل دوکی شکل پرداختند. آنها در این پژوهش اثر موقعیت قرارگیری طوقه‌های

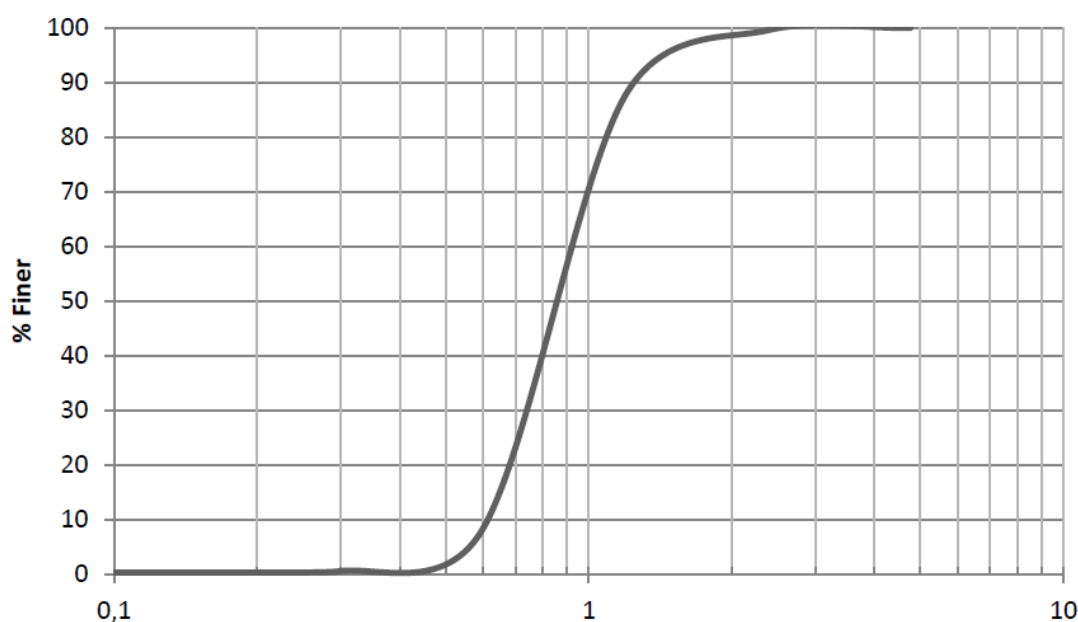
مشبک با ۳ درصد بازشدگی ۳۰، ۵۰، ۷۰ درصد و طوقه ساده در اطراف پایه پل دوکی مورد مطالعه قرار دادند و آنها به این نتیجه رسیدند که نصب طوقه مشبک تکنیک مناسبی جهت کاهش آبشستگی موضعی پیرامون پایه پل دوکی است. نوحانی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی آزمایشگاهی تاثیر توام صفحات مستغرق و سنگ چین بر میزان کاهش آبشستگی گروه پایه‌های پل استوانه‌ای به قطر ۵ سانتی‌متر پرداختند. آنها بدین منظور از صفحات مستغرق با تعداد ۲، ۴، ۶ و فرودهای ۰/۲، ۰/۲۲، ۰/۲۵ و با قطر دانه سنگچین ۱، ۱/۵، ۲/۵ سانتی‌متر را مورد ارزیابی و آزمایش قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که افزایش قطر سنگ‌چین و تعداد صفحات مستغرق باعث کاهش نسبت درصدمعق آبشستگی به میزان قابل ملاحظه‌ایی شده است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق، به بررسی عددی تاثیر طوقه و صفحات مستغرق هم‌سطح با بستر بر کاهش عمق آبشستگی پایه‌های پل پرداخته شد. نرم‌افزار مورد استفاده در این تحقیق نرم‌افزار Flow-3D بود؛ که یک نرم‌افزار بسیار قدرتمند در زمینه مهندسی آب و هیدرولیک جریان می‌باشد. دبی‌های مورد استفاده ۱۵، ۳۰ و ۴۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده‌اند. عرض کانال مورد استفاده ۸۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد؛ که بر گرفته از مقاله شجاعی و همکاران (۱۳۹۰) می‌باشد. اندازه پایه‌ها با توجه به معیار شجاعی و همکاران (۱۳۹۰) انتخاب شد. آنها گزارش کردند که برای حذف تاثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی پایه، عرض کانال باید حداقل ۶/۲۵ برابر بزرگتر از قطر پایه باشد، لذا با توجه به عرض کانال که برابر با ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد؛ قطر پایه حداکثر می‌تواند ۱۲/۸ سانتی‌متر باشد. از طرفی شجاعی و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد؛ لذا با توجه به عرض کانال حداکثر قطر پایه می‌تواند برابر با ۸ سانتی‌متر باشد. در نتیجه برای اطمینان بیشتر، قطر پایه، برابر با ۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. طول صفحات بر اساس قطر پایه به ترتیب برابر با ۱/۵ برابر قطر پایه (۹ سانتی‌متر) و برابر با قطر پایه (۶ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. طبق نتایج همتی و همکاران (۱۳۹۴) کمتر گرفتن طول صفحات مستغرق از قطر پایه تاثیری در آبشستگی ندارد. همچنین صفحات مستغرق در زوایای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه قرار داده شده‌اند. دو ارتفاع جهت قرارگیری صفحات مستغرق در نظر گرفته شده است؛ که به ترتیب برابر با ۰/۱ قطر پایه پل و مماس بر بستر می‌باشند. برای مدل طوق، از مدل طوق دایره‌ای شکل به قطر ۱۸ سانتی‌متر (۳ برابر قطر پایه) استفاده شد؛ و ارتفاع نصب طوق در تراز بستر در نظر گرفته شد. مواد یکنواخت و یک شکل بستر که در آزمایشگاه موجود بود بار دیگر غربال شده و به بخش آزمایشگاه ریخته شد. ضخامت مواد بستر ۳۰ سانتی‌متر و شیب بستر به موازات با سطح بتنی تنظیم گردید به عبارتی  $S_0=0.001$ . ویژگی‌های مربوط به توزیع اندازه ذره و ماسه در جدول (۱) و شکل (۱) آمده است.

جدول ۱: ویژگی مواد بستر

$d_{10}$	۰/۶۳ mm	$\sigma_g$	۱/۲۸۴
$d_{159}$	۰/۶۸ mm	$C_u$	۱/۴۶۰
$d_{50}$	۰/۸۸ mm	$K_\sigma$	۰/۹۴۷
$d_{60}$	۰/۹۲ mm	$\gamma_s$	۲۶/۲ kN.m <sup>3</sup>
$d_{841}$	۱/۱۳mm	$d_m$	۰/۹۵۰



شکل ۱: توزیع اندازه ذره مواد بستر

همانطور که در جدول (۱) دیده می‌شود، انحراف معیار هندسی کوچکتر از ۱/۳ است و توزیع رسوبات به صورت یکنواخت برای این مقدار تعریف می‌شود. اگر  $\delta_g < 1/3$  باشد، ماده بستر یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. در غیر این صورت یعنی اگر  $\delta_g > 1/3$  باشد، رسوبات بستر غیریکنواخت می‌باشد. انحراف معیار هندسی، درجه بندی رسوبات را نشان می‌دهد که با استفاده از نمودار توزیع اندازه ذره محاسبه می‌شود.

$$\sigma_g \equiv \left[ \frac{d_{841}}{d_{159}} \right]^{0.5} = \frac{d_{841}}{d_{50}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

## نتایج و بحث

با استفاده از مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی آزمایشگاهی شجاعی و همکاران (۱۳۹۰) میزان خطا محاسبه و سپس صحت‌سنجی نرم‌افزار مورد پذیرش قرار گرفت. لذا برای این منظور، ابتدا درصد خطای حاصله، از رابطه ذیل محاسبه شد:

$$\text{رابطه ۲:} \quad \left| \frac{\text{مقدار شبیه سازی (نرم افزار)} - \text{مقدار واقعی (آزمایشگاهی)}}{\text{مقدار واقعی (آزمایشگاهی)}} \right| * 100 = \text{درصد خطا}$$

پس از محاسبه درصد خطا، چنانچه میانگین خطاهای محاسباتی از ۵ درصد کمتر باشد نشانگر دقت لازم نرم افزار بوده، زیرا در غیر اینصورت نرم افزار قابلیت تحلیل نتایج را ندارد. در جدول (۲) صحت سنجی انجام شده و میزان خطای نرم افزار قابل مشاهده می باشد.

جدول ۲: صحت سنجی

نتایج شبیه سازی (سانتی متر)	نتایج آزمایشگاهی	عمق قرار گیری صفحه	زاویه قرار گیری صفحه (درجه)	طول صفحه (سانتی متر)	دبی (لیتر بر ثانیه)	آزمایش
۷	۶/۷ سانتی متر	مماس با بستر	۲۰	۶	۳۰	بدون صفحه و طوق
۳/۹	۳/۸ سانتی متر	مماس با بستر	۲۰	۶	۳۰	همراه با صفحه و طوق

با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج شبیه سازی شده در جدول بالا خطای نرم افزار از ۵ درصد کمتر و قابل اطمینان می باشد.

### سناریوها

در این پژوهش، تعداد ۳ دبی متفاوت که برگرفته از مقاله شجاعی و همکاران (۱۳۹۰) و ۳ زاویه قرار گیری متفاوت صفحات مستغرق و همچنین ۲ طول صفحات مختلف به همراه طوق با ابعاد و محل قرار گیری ثابت و عمق قرار گیری صفحات مستغرق مماس با سطح بستر و مجموعاً ۱۸ شبیه سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

### بی بعد سازی داده ها:

تغییرات حداکثر عمق آبستنگی بی بعد پایه استوانه ای پل و عدد فرود جریان محاسبه شده است. منظور از حداکثر عمق آبستنگی بی بعد، نسبت عمق آبستنگی به قطر پایه ها می باشد؛ که در تمامی حالت ها قطر پایه ها برابر با ۶ سانتی متر در نظر گرفته شد.

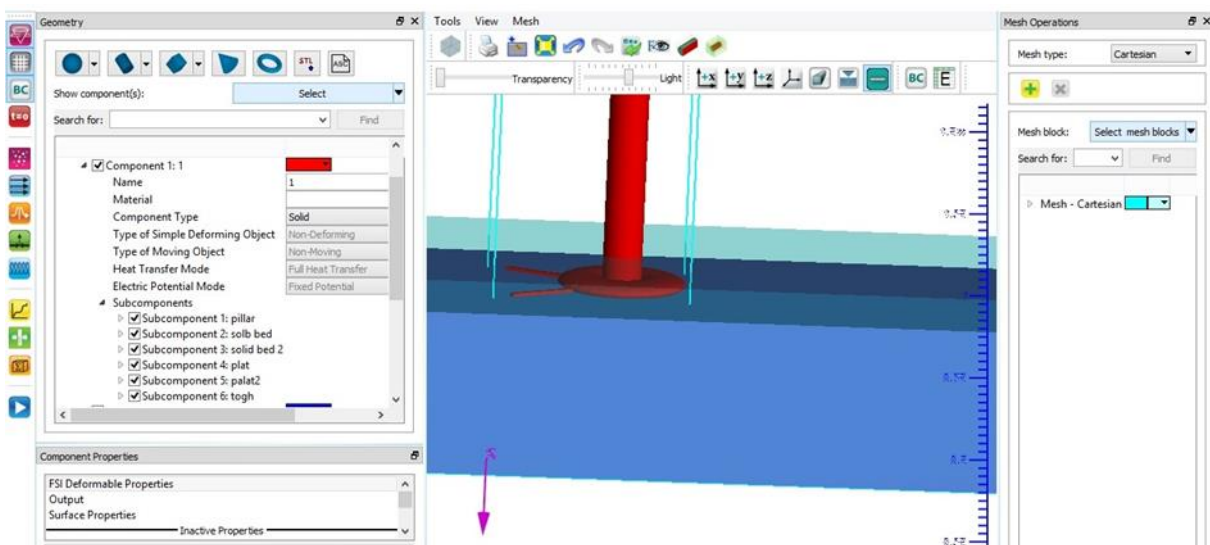
جدول ۳: نتایج حاصل از شبیه سازی

ردیف	دبی (L/S)	طول صفحه (سانتی‌متر)	زاویه قرار گیری صفحه (درجه)	عمق قرار گیری صفحه	عمق آبشستگی بدون طوق و صفحه (سانتیمتر)	عمق آبشستگی همراه با طوق و صفحه (سانتیمتر)
۱	۱۵	۶	۱۰		۵	۳
۲	۱۵	۶	۲۰		۵	۲/۷۵
۳	۱۵	۶	۳۰		۵	۲/۹
۴	۱۵	۹	۱۰		۵	۲/۹۵
۵	۱۵	۹	۲۰		۵	۲/۵
۶	۱۵	۹	۳۰		۵	۲/۷
۷	۳۰	۶	۱۰		۷	۴/۵
۸	۳۰	۶	۲۰	مماس با سطح	۷	۳/۹
۹	۳۰	۶	۳۰		۷	۴/۳
۱۰	۳۰	۹	۱۰		۷	۴/۴
۱۱	۳۰	۹	۲۰		۷	۳/۹
۱۲	۳۰	۹	۳۰		۷	۴/۱
۱۳	۴۰	۶	۱۰		۸/۵	۵/۴
۱۴	۴۰	۶	۲۰		۸/۵	۵/۱
۱۵	۴۰	۶	۳۰		۸/۵	۵/۲۵
۱۶	۴۰	۹	۱۰		۸/۵	۵/۷
۱۷	۴۰	۹	۲۰		۸/۵	۵/۳
۱۸	۴۰	۹	۳۰		۸/۵	۵/۵

جدول ۴: نتایج حاصل از بی بعد سازی

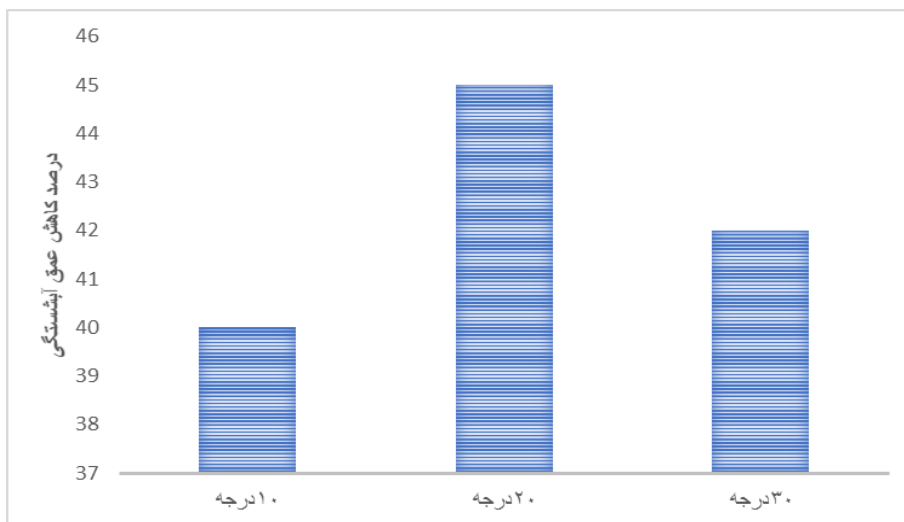
ردیف	فرود جریان	عمق بی بعد آبستنگی بدون طوق و صفحه	عمق بی بعد آبستنگی همراه با طوق و صفحه
۱	۰/۱۰	۰/۸۳	۰/۵۰
۲	۰/۱۰	۰/۸۳	۰/۴۶
۳	۰/۱۰	۰/۸۳	۰/۴۸
۴	۰/۱۰	۰/۸۳	۰/۴۹
۵	۰/۱۰	۰/۸۳	۰/۴۲
۶	۰/۱۰	۰/۸۳	۰/۴۵
۷	۰/۲۱	۱/۱۷	۰/۷۵
۸	۰/۲۱	۱/۱۷	۰/۶۵
۹	۰/۲۱	۱/۱۷	۰/۷۲
۱۰	۰/۲۱	۱/۱۷	۰/۷۳
۱۱	۰/۲۱	۱/۱۷	۰/۶۵
۱۲	۰/۲۱	۱/۱۷	۰/۶۸
۱۳	۰/۲۸	۱/۴۲	۰/۹۰
۱۴	۰/۲۸	۱/۴۲	۰/۸۵
۱۵	۰/۲۸	۱/۴۲	۰/۸۸
۱۶	۰/۲۸	۱/۴۲	۰/۹۵
۱۷	۰/۲۸	۱/۴۲	۰/۸۸
۱۸	۰/۲۸	۱/۴۲	۰/۹۲

برای ساخت مدل در نرم‌افزار Flow3D، از اشکال موجود در نرم‌افزار استفاده شد. بدین منظور با استفاده از component ها و subcomponent ها به ترسیم پایه پل، طوق، صفحات مستغرق و همچنین کف بستر رسوبی پرداخته شد. همچنین در این طرح از دو مش بلوک تو در تو استفاده شد. به این صورت که یک مش بلوک کلی به ابعاد فلوم در نظر گرفته شد و یک مش بلوک در اطراف پایه پل و طوق و صفحات مستغرق با مش‌های ریزتر به منظور محاسبات دقیق‌تر در این ناحیه استفاده شد. دلیل این کار کاهش زمان محاسبات و دقت بیشتر در شبیه‌سازی بود. همچنین شرایط مرزی در جهت X بصورت دبی ورودی و خروجی مدل بیان شد و در دیگر جهات از گزینه symmetry استفاده شد. استفاده از این گزینه کمک می‌کند تا در قسمت آنالیز بتوان شرایط جریان را با وضوح بهتری نمایش داد.



شکل ۲: مدل شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار FLOW-3D

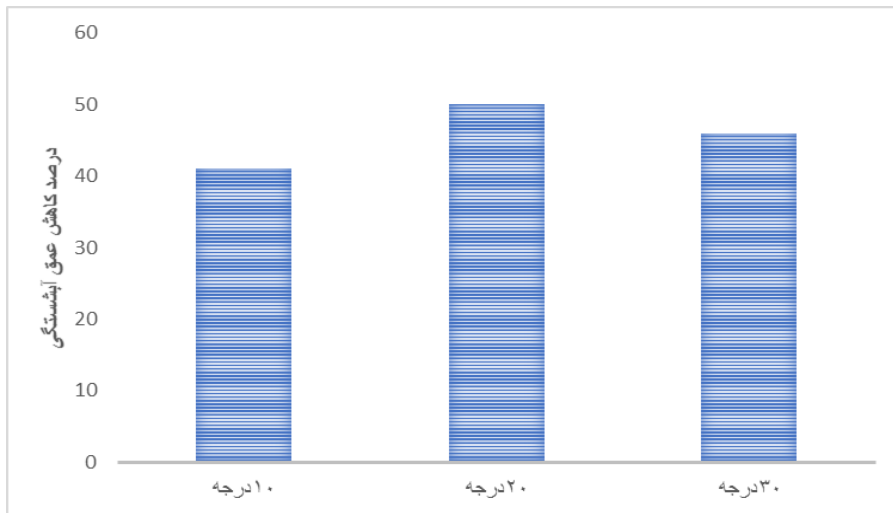
در این تحقیق ۱۸ شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D انجام شد، در شکل (۳) طول صفحه مستغرق بکار برده شده ۶ سانتی‌متر، فرود ۰/۱۰ و عمق قرارگیری صفحه، مماس با سطح بستر در نظر گرفته شده است. صفحات مستغرق با سه زاویه ۱۰، ۲۰، ۳۰ درجه در فلوم به کار گرفته شدند. نتایج نشان داد که زاویه ۱۰ درجه حدود ۴۰ درصد عمق آبشستگی را کاهش می‌دهد، اما زاویه ۲۰ درجه بهترین حالت برای کاهش حداکثری عمق آبشستگی بود و تا ۴۵ درصد عمق آبشستگی را کاهش داد.



شکل ۳: نمودار درصد کاهش عمق آبشستگی با توجه به زوایای نصب صفحات و طول صفحه ۶ سانتی‌متر

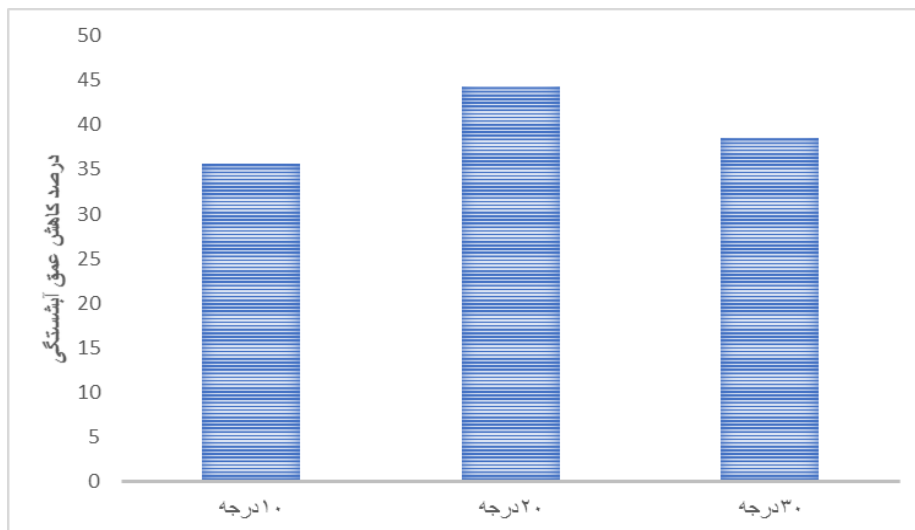
در شکل (۴) فرود ۰/۱۰ و طول صفحه ۹ سانتی‌متر و عمق قرارگیری صفحات، مماس با سطح بستر می‌باشد. با افزایش طول صفحات مستغرق از ۶ به ۹ سانتی‌متر، کاهش عمق آبشستگی مشاهده شد. مقدار کاهش عمق آبشستگی در این حالت نسبت به حالتی که از طوق و صفحات مستغرق استفاده نشده است حدود ۵۰ درصد می‌باشد؛ که بیانگر عملکرد مثبت طوق و صفحات مستغرق می‌باشد.





شکل ۴: نمودار درصد کاهش عمق آبشستگی با توجه به زوایای نصب صفحات و طول صفحه ۹ سانتی‌متر

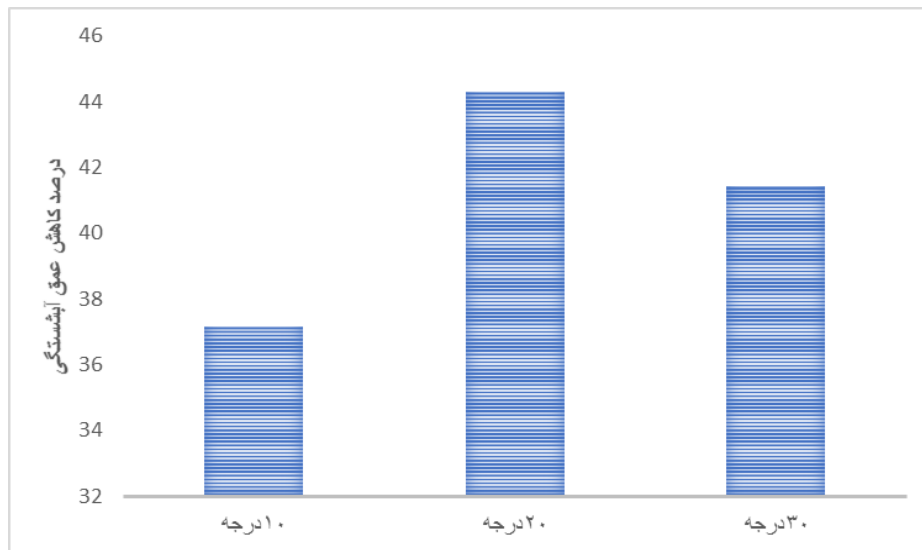
در شکل (۵) فرود جریان ۰/۲۱ و طول صفحه ۶ سانتی‌متر و عمق قرارگیری، مماس با سطح بستر می‌باشد. زمانی که فرود جریان از ۰/۱ به ۰/۲۱ افزایش پیدا می‌کند؛ مقدار سرعت جریان و دبی جریان نیز افزایش پیدا می‌کند. این افزایش در سرعت برخورد جریان بر پایه پل تاثیر می‌گذارد؛ و گرداب نعل اسبی و برخاستگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد؛ که نهایتاً باعث افزایش عمق آبشستگی می‌گردد. زمانی که از صفحه و طوق به هم همزمان استفاده می‌شود؛ مقدار این آبشستگی برای زوایای ۱۰، ۲۰، ۳۰ درجه به ترتیب ۳۶، ۴۴، ۳۹ درصد کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۵: نمودار درصد کاهش عمق آبشستگی با توجه به زوایای نصب صفحات و طول صفحه ۶ سانتی‌متر

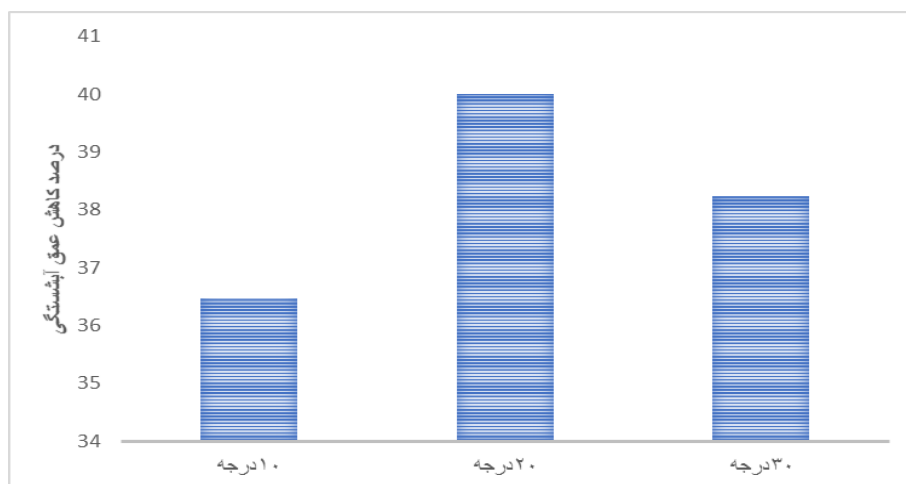
در شکل (۶) فرود جریان ۰/۲۱ و طول صفحه ۹ سانتی‌متر و عمق قرارگیری صفحات، مماس بر سطح بستر می‌باشد. با افزایش طول صفحه، کاهش آبشستگی اطراف پایه پل مشاهده می‌شود؛ که دلیل آن افزایش تنش عرضی در جهت عرض رودخانه و طولانی‌تر شدن حرکت مارپیچی در بستر رودخانه که منتهی به انتقال بیشتر رسوبات در دو جهت پایه پل می‌شود؛

و از تمرکز رسوبات در یک نقطه جلوگیری می‌کند. در این حالت نیز با مقایسه بین سناریو با و بدون طوق و صفحه به نظر می‌رسد؛ میزان کاهش عمق آبشستگی در زاویه ۲۰ درجه صفحات حدود ۴۴ درصد می‌باشد.



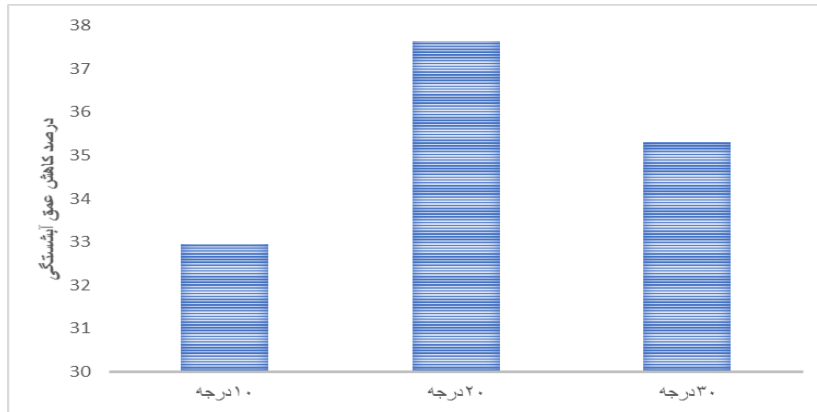
شکل ۶: نمودار درصد کاهش عمق آبشستگی با توجه به زوایای نصب صفحات و طول صفحه ۹ سانتی‌متر

شکل (۷) فرود جریان ۰/۲۸ و طول صفحه ۶ سانتی‌متر و عمق قرارگیری، مماس با بستر نشان می‌دهد؛ در فرود جریان ۰/۲۸ زمانی که صفحات مستغرق با زاویه ۱۰ درجه قرار می‌گیرند؛ تاثیر ۳۶ درصدی در کاهش عمق آبشستگی از خود نشان می‌دهند. وقتی همین صفحات در زاویه ۳۰ درجه قرار می‌گیرند؛ مقدار تاثیر مثبت‌تری از خود نشان داده و مقدار عمق آبشستگی را تا حدود ۳۸ درصد کاهش می‌دهد. اما زمانی که صفحات مستغرق در زاویه ۲۰ درجه قرار می‌گیرند؛ حداکثر تاثیر را در کاهش عمق آبشستگی دارند که حدود ۴۰ درصد می‌باشد.



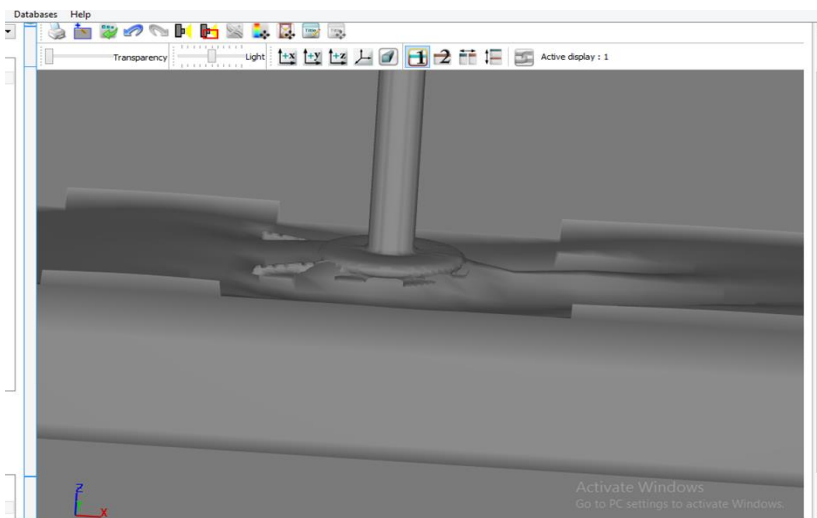
شکل ۷: نمودار درصد کاهش عمق آبشستگی با توجه به زوایای نصب صفحات و طول صفحه ۶ سانتی‌متر

در شکل (۸) فرود جریان ۰/۲۸ می‌باشد؛ و طول صفحات مستغرق از ۶ به ۹ سانتی‌متر افزایش پیدا می‌کند؛ و عمق قرارگیری صفحه مماس با بستر می‌باشد. در این حالت که طول صفحات ۳ سانتی‌متر افزایش می‌یابد، کاهش عمق آبشستگی به مراتب بیشتر از حالتی است؛ که طول صفحه ۶ سانتی‌متر بوده است و تا حدود ۴۲ درصد عمق آبشستگی را کاهش می‌دهد.



شکل ۸: نمودار درصد کاهش عمق آبشستگی با توجه به زوایای نصب صفحات و طول صفحه ۹ سانتی‌متر

در شکل (۹) آبشستگی و رسوب‌گذاری ایجاد شده اطراف پایه پل در حضور طوق و صفحات مستغرق نشان داده شده است. با توجه به شکل (۹) مشخص است که نرم‌افزار Flow3D قابلیت بالایی در شبیه‌سازی آبشستگی کف بستر رسوبی و آبشستگی ایجاد شده اطراف پایه پل را دارد. صفحات مستغرق با ایجاد جریان گردابه‌ای باعث تغییر در رژیم حرکت بار بستر و در نتیجه تغییر محل رسوب‌گذاری و فرسایش می‌شوند. این صفحات در مقطع عرضی کانال با زاویه کوچکی نسبت به جهت جریان بصورت عمودی در بستر نصب می‌شوند. از ترکیب جریان گردابه‌ای با سرعت در جهت جریان، حرکت ماریچی در پایین دست صفحات رخ می‌دهد؛ که تنش برشی عرضی به بستر رودخانه القا می‌کند؛ و رسوبات را در جهت عرضی انتقال می‌دهد.



شکل ۹: آبشستگی بستر در نمای سه بعدی

## نتیجه‌گیری

حفره آبستگي که در اطراف پایه‌ای پل‌ها به وجود می‌آید مهم‌ترین عامل تخریب پل‌ها می‌باشد. در این تحقیق ۱۸ شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D انجام شد. در طی آزمایشات از دو سری صفحات مستغرق با طول‌های ۶ و ۹ سانتی‌متر استفاده شد. نتایج نشان داد که افزایش طول صفحات باعث کاهش آبستگي می‌شود؛ که دلیل آن افزایش تنش عرضی در جهت عرض رودخانه و طولانی‌تر شدن حرکت مارپیچی در بستر رودخانه که منتهی به انتقال بیشتر رسوبات در دو جهت پایه پل می‌شود و از تمرکز رسوبات در یک نقطه جلوگیری می‌کند. با افزایش فرود جریان، افزایش بار رسوبي و متناسب با آن افزایش عمق آبستگي و رسوب‌گذاری مشاهده شد.

## منابع

- شجاعی، پ.، فرشادی زاده، د. و حسین زاده دلیر، ع. (۱۳۹۰). تأثیر توام صفحات مستغرق و طوق در کاهش عمق آبستگي پایه‌های استوانه‌ای شکل پل‌ها. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۵۷، ص ۳۳-۲۳
- طاهری، قمشی. م. (۱۳۹۸). بررسی اثر موقعیت قرارگیری طوقه‌های مشبک به عمق آبستگي پایه پل دوکی شکل، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۱، شماره ۲، ص ۲۶۵-۲۵۷.
- کشاورزی، ع.، حمیدی فر، ح. و خواجه نوری، ل. (۱۳۹۸). ساختار جریان و آبستگي موضعی در اطراف پایه‌های پل تکی و دوتایی. مجله علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۲، شماره ۴، ص ۹۰-۷۵.
- نوحانی، ا.، خواجه موگهی، م. و فرزاد، رضا. (۱۳۹۹). بررسی آزمایشگاهی تأثیر توام صفحات مستغرق و سنگ‌چین بر میزان کاهش آبستگي گروه پایه‌های پل استوانه‌ای، فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب، دوره ۸، شماره ۲، ص ۶۴-۵۰.
- همتی، م.، قلی‌زاده، ن. و دولتخواه، س. (۱۳۹۴). بررسی آزمایشگاهی تأثیر قطر و رقوم کارگذاری طوقه مشبک بر کاهش آبستگي پایه پل. مجله علمی- پژوهشی علوم مهندسی و آبیاری، جلد ۳۹، شماره ۴، ص ۱۲۲-۱۱۲.

**Melville, B.W. and Sutherland, A.J. (1988).** Design Method for Local Scour at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 114 (10), PP: 1210-1226.

# **Numerical investigation of the influence of the collar and submerged sides flush with the flow bed on the reduction of scour depth of the bridge foundation**

Jamal Ameri<sup>1</sup>, Ebrahim Nohani<sup>2\*</sup>

1) Department of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

2) Assistant Professor of Civil Engineering Department, Materials and Energy Research Center, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

\*Correspondence author: nohani\_e@yahoo.com

**Received Data: 2023. 07. 18**

**Accepted Data: 2023. 09.07**

## **Abstract**

Bridges are one of the most important river structures. The most important factor in the destruction of bridges is the erosion around the bridge foundations. Every year, many bridges around the world are destroyed due to not considering the role of hydraulic factors. In this research, the effect of the combined collar and submerged plates on the reduction of scour depth of bridge foundations is investigated numerically. For this purpose, 18 experiments with different flow rates and the length of submerged plates and the location of plates tangent to the bed were evaluated and analyzed using FLOW3D software. We will increase the scouring. In general, by placing the collar and submerged plates at the same time, the depth of scouring is reduced.

**Key words:** collar, scour, bridge foundation