****

مجله علمی – پژوهشی

مهندسی عمران مدرس

دوره بیست و دوم، شماره 6، سال1400

یادداشت تحقیقاتی

شبیه­سازی عددی الگوی جریان پیرامون پایه پل منفرد با حضور صفحات مستغرق بالادستی در قوس 180 درجه تند با بستر آبرفتی تحت تأثیر فاصله صفحات مستغرق از هم و پایه پل

## چنور عبدی چوپلو1\*، محمد واقفی2، یاسر صفرپور3

1. دانشجوی دکتری مهندسی عمران آب و سازه­های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

2. دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

3. دانش­آموخته­ی کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر

[**a.chonoor@modares.ac.ir\***](mailto:a.chonoor@modares.ac.ir*)

**تاريخ دريافت: 26/11/99 تاريخ پذيرش03/05/1400**

**چکیده**

در اين پژوهش از مدل عددي  SSIIMبراي بررسی الگوي جريان، کانتورهایی سرعت، قدرت جریان و پارامترهای آشفتگی در اطراف پايه­ پل عمودي با حضور صفحات مستغرق با طول هم­پوشانی مختلف، و قرارگيري صفحات مستغرق از پایه­ی پل و از يكديگر در شش فاصله مختلف، در قوس 180 درجه تند استفاده شد و مقایسه نتایج تحلیل عددی و آزمایشگاهی انجام شد. هماهنگی داده­های عددی و آزمایشگاهی بیانگر عملکرد مناسب مدل عددی SSIIM  در مدل‌سازي الگوي جريان در مسئله مورد بررسی می­باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که محدوده قدرت جریان ثانویه، در تمامی مدل­های با حضور صفحات مستغرق از 5/10 تا 12 درصد اندازه­گیری شد. در حالتی که صفحات مستغرق هم­پوشانی با هم نداشتند و استقرار صفحات مستغرق در فاصله­ی 5/2 برابر قطر پایه از پایه و فاصله معادل 2 برابر قطر پایه از همدیگر و در بالادست پایه بوده کمترین مقدار و در حالت هم­پوشانی 100 درصد صفحات، در آرایش استقرار صفحات مستغرق در فاصله 5 برابر قطر پایه از آن و فاصله 2 برابر قطر پایه از همدیگر و در بالادست پایه بیشترین مقدار خود را داشته است. همچنین تغییرات تنش برشی بعد از ایجاد آبشستگی موضعی محاسبه شد. تنش برشی ماکزیمم از ابتدای قوس تا نزدیکی خروجی قوس به سمت جداره داخلی قوس متمایل بود و در محدوده خروجی قوس تنش برشی ماکزیمم به سمت میانه قوس و سپس نیمه دوم قوس منتقل شد.

**واژگان‌کلیدی:** پایه پل، صفحات مستغرق، الگوی جریان، قوس 180 درجه، مدل عددی SSIIM

**1- مقدمه**

پل­ها يكي از مهم­ترين و پركاربردترين سازه­هاي روخانه‌ای هستند كه از ديرباز مورد استفاده بشر قرار گرفته­اند. الگوي غالب براي شكل رودخانه در پلان پيچانرودي است. با وارد شدن جریان در قوس رودخانه توزیع سرعت آن عوض می­شود، به گونه‌ای که در قوس رودخانه­ها توزیع سرعت به صورت لگاریتمی نیست. الگوی جریان اطراف یک پایه استوانه­ای مستقر در قوس بسیار پیچیده است و این پیچیدگی با پیشرفت حفره آبشستگی بیشتر می­شود. با احداث پایه­های پل در مسير جریان رودخانه­ها، گرداب­هایي ایجاد شده و این گرداب­ها باعث خواهد شد كه مواد بستر در اطراف پایه­های پل، شسته شده و به پایين­دست حمل شوند. روش­های متعددی برای کاهش آبشستگی حول پایه پل وجود دارد که یکی از این روش­ها استفاده از صفحات مستغرق در بالادست آن است. وقتی که یک صفحه مستغرق در بستر رودخانه با زاویه کوچکی نسبت به امتداد جریان نصب شوند، به علت اختلاف فشار موجود در دو طرف صفحه، گرداب و گردش القایی در اطراف صفحه به وجود می­آید. تغییرات فشار عمودی در دو طرف سطح صفحه منجر به جریان چرخشی می­شود. ترکیب چرخش ایجاد شده با سرعت در جهت جریان، سبب ایجاد یک حرکت مارپیچی در پایین‌دست صفحات می‌شود. این حرکت مارپیچی یک تنش برشی عرضی به بستر رودخانه القا می‌کند. تکنیک استفاده از صفحات مستغرق در اوایل دهه هشتاد میلادي توسط ادگارد و کندي[[1]](#footnote-1)(1983) به منظور حفاظت سواحل خارجی پیچ رودخانه استفاده شد [1]. *جانسون و همکاران[[2]](#footnote-2)(2001)، واقفی و همکاران(2018)، زارعی و همکاران(2019) و صفری­پور و همکاران(2020) اثر صفحات* مستغرق بر آبشستگی اطراف پایه پل را به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. نتیجه پژوهش آنها نشان داد که به طور کلی این صفحات منجر به کاهش آبشستگی پیرامون پایه پل می­شوند [2-5]*.* در زمینه الگوی جریان در قوس، پژوهشگرانی مانند گیری و همکاران[[3]](#footnote-3)(2004)، ناجی ابهری و همکاران(2010) و کاسوی و همکاران[[4]](#footnote-4)(2017) مطالعات متعددی انجام دادند [6-8]. پژوهشگران بسیاری با *مدل عددی* SSIIM به بررسی ساختار جریان پرداخته­اند. ويلسون و همكاران[[5]](#footnote-5)(2003) با استفاده از مدل عددي SSIIM به بررسي الگوي جريان و چگونگی پخش ماده رنگي در كانال آزمايشگاهي مئاندري پرداختند [9]*.* احترام و مهدوي (2015) جريان و رسوب در محل تنگ­شدگی پل را با استفاده از نرم­افزار SSIIM2، به صورت سه­بعدي، مدل­سازي نمودند [10]. نتایج پژوهش اسداللهی و همکاران (2019)، نشان داد كه از مدل SSIIM می­توان با دقت قابل قبولی در شبيه­سازي الگوی آبشستگي و جریان در قوس با و بدون پایه­های پل استفاده كرد [11]. راسائی و همکاران (2020)، به بررسی آزمایشگاهی و عددی آبشستگی با استفاده از مدل عددی SSIIM پرداختند[12]. اسدالهی و همکاران(2020)، به بررسی عددی الگوی جریان و الگوی آبشستگی پیرامون پایه­های پل با استفاده از نرم­افزار عددی SSIIM پرداختند [13] با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط پژوهشگران در سال­های گذشته بررسی عددی الگوی جریان پیرامون پایه پل مستقر در قوس 180 درجه تند با حضور صفحات مستغرق بالادستی بررسی نشده است. پس در این پژوهش این موضوع مورد مطالعه قرار گرفته شده است. بنابراین مطالعه حاضر دو هدف اساسی زیر را در دنبال می­کند:

1) درستی آزمایی، نتايج مدل شبيه­سازي شده با نتایج آزمايشگاهي در دسترس در حالت استقرار صفحات مستغرق در بالادست پایه پل

2) بررسی تغییرات طول­پوشانی صفحات مستغرق، فاصله صفحات مستغرق از پایه و فاصله صفحات مستغرق از همدیگر بر الگوي جريان پیرامون پایه پل منفرد مستقر در يک قوس تند 180 درجه با مدل عددی SSIIM 1.

**2- مواد و روش­ها**

**2-1-** **مدل عددي و معادله­های حاکم بر جريان:**

مدل عددی SSIIM، دینامیک سیالات محاسباتی(CFD) سه­بعدی بر مبنای روش حجم محدود و معادلات ناویراستوكس در حالت جریان آشفته به كمک مدل K*-ɛ* استاندارد برای رسيدن به سرعت و تنش برشي آشفتگي در یک هندسه سه­بعدی حل می­کند. معادلات ناویر- استوکس برای جریان­های غيرقابل تراكم با چگالي ثابت و جریان دائمی مي­تواند به صورت زیر بيان شود [14]:

|  |  |
| --- | --- |
| (1) |  |
| (2) |  |

که در آن x بیانگر فاصله وU بیانگر سرعت در سه جهت هستند، چگالی سیال، نشانگر فشار کل وδij دلتاي کرونکر است که در حالتi=j برابر واحد و در غير اين صورت صفر است. در رابطه فوق اولين جمله سمت چپ معرف تغييرات جريان نسبت به زمان و دومين جمله معرف انتقال جريان در مسافت معيني است. جمله اول در سمت راست بيانگر تغييرات فشار در سيستم و جمله دوم نيز تنش رينولدز را بيان مي­کند.

**1-1-2 مدل آشفتگی K*-ɛ***

مدل K-ɛ، لزجت گردابه­ای را به صورت زیر محاسبه می‌نماید [14]:

|  |  |
| --- | --- |
| (3) |  |

در رابطه فوق K انرژی جنبشی آشفتگی است و به صورت زیر تعریف می شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (4) |  |

معادله دیفرانسیلی مربوط به k به صورت زیر بیان می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (5) |  |

در رابطه فوق به فرم زیر تعیین می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (6) |  |

بیانگر میزان اتلاف k بوده و به صورت زیر مشخص می‌شود [14]:

|  |  |
| --- | --- |
| (7) |  |

در معادلات بالا، C­ها ثوابتی هستند که توسط کاربر قابل تغییر نیستند [14].

**2-2- مدل آزمایشگاهی**

میدان مورد نظر برای شبیه­سازی عددی، نتایج مربوط به مطالعات آزمایشگاهی عبدی چوپلو و همکاران (2018) [15]، که شامل یک کانال قوسی شکل با زاویه 180 درجه تند با شعاع انحنای نسبی 2 متر واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه خلیج فارس است. عرض کانال 1 متر است که در بالادست و پایین­دست کانال یک قسمت مستقیم به طول 5/6 و1/5 متر قرار داشته و ارتفاع کانال 90 سانتی­متر و جنس دیواره­ها شیشه نشکن است. در آزمایش‌ها از یک لایه ماسه به ضخامت 30 سانتی­متر و با قطر متوسط 5/1 میلی­متر و ضریب انحراف 3/1 پوشیده شده است. دبی جریان ثابت و برابر با 70 لیتر بر ثانیه و ارتفاع آب در قسمت ورودی کانال 18/0 متر و عدد فرود نیز 3/0 است. برای مدل پایه، از یک لوله استوانه­ای شکل به قطر 5 سانتی‌متر استفاده کردند. *صفحات مستغرق مورد استفاده در تحقیق آنان، صفحاتی با* ضخامت معادل 20 درصد قطر پایه و به طول 5/1 برابر قطر پایه و با درصد استغراق 75% با زاویه قرارگیری با خط افقی 25 درجه بود. به منظور اندازه­گیری مولفه­های سرعت در آزمایشگاه نیز از دستگاه سرعت­سنج سه­بعدی Vectrino استفاده شده است. *در شکل (1) نمایی از پلان کانال به همراه بزرگنمای از قرارگیری صفحات مستغرق در بالادست پایه پل آورده شده است.* *در این شکل قطر پایه با نماد* D*، طول هم‌پوشانی صفحات با نماد* Lcv *و فاصله صفحات از پایه و از یکدیگر به ترتیب با نمادهای* Lvp *و* Lvv *نشان داده شده است.*

|  |
| --- |
| **شکل 1.** نمایی از الف) پلان کانال به­همراه ب) بزرگنمای از قرارگیری صفحات مستغرق در بالادست پایه پل­ |
|  |
| (الف) |
|  |
| (ب) |
| **Fig. 1.** View of a) Plan of the channel with b) magnification of the submerged vanes at the bridge pier upstream |

در این پژوهش با استفاده از نرم­افزار SSIIM، کانالی مشابه با کانال آزمایشگاه مدل شده و سرعت‌های سه‌بعدی جریان مقایسه شده‌اند. به منظور بررسی بهترین شبکه برای اجرای مدل مش‌بندی‌های گوناگونی با اندازهای مختلف ساخته و برخی از مدل‌ها با آن اجرا شد. نتیجه نشان داد اگرچه مش یکنواخت با اندازه‌های ریز دقت بالایی داشته و مقدار سرعت‌های سه‌بعدی در مدل عددی را به مقدار آزمایشگاهی خیلی نزدیک می­کند اما زمان ران‌گیری را خیلی زیاد می­کند. در شبکه‌بندی مورد استفاده دارای مش‌بندی غیریکنواخت است به گونه­ایی که در محدوده نزدیک به پایه پل و صفحات مستغرق سلول­ها ریزتر می‌شود. تعداد مقاطع استفاده شده در پلان در جهت طولی 45 و در جهت عرضی 55 عدد است. در شکل (2) نمایی از مش­بندی در کل قوس و پلان اطراف پایه و صفحات مستغرق ارائه شده است.

برای مرزهای مدل­سازی در نرم­افزار عددی SSIIM کلیه مرزها مانند پایه پل یا صفحات مستغرق به صورت صلب نمودن مرزها با معرفی پارامترهای مربوط در منوی کنترل برنامه تعریف می‌شوند.

|  |
| --- |
| **شکل 2.** نمایی از شبکه­بندی نقاط در برداشت الگوی جریان در کل قوس به همراه پلان در اطراف پایه و صفحات مستغرق |
|  |
| **Fig. 2.** A view of the points mesh in flow pattern collection throughout the bend with in the plan around the pier and submerged vanes |

**3- اعتبار‌سنجي مدل عددي با مدل‌آزمايشگاهي**

برای اعتبار­سنجي این مدل از نتايج آزمايشگاهي که توسط عبدی چوپلو و همکاران (2018) [15] انجام شده است، استفاده شد. شکل‌های (3 و 4) نمونه‌هايي از مقايسه توزیع سرعت­هاي جريان را در مقاطع عرضی گذرانده از محل استقرار صفحات مستغرق و پایه پل را براي هر دو مدل عددی و آزمایشگاهی نشان مي­دهد. همان‌گونه که در این اشکال مشاهده می­شود، سرعت‌هاي جريان در این دو بسیار به هم نزدیک بوده و نتایج عددی و آزمایشگاهی از هماهنگی مناسبی برخوردار هستند.

|  |
| --- |
| **شکل 3.** مقايسه عددی و آزمایشگاهی توزیع سرعت­های الف) مماسی ب) شعاعی ج) عمقی در محل استقرار صفحات مستغرق |
|  |
| (الف) |
|  |
| (ب) |
|  |
| (ج) |
| **Fig. 3.** Numerical and laboratory comparison of velocities distribution a) tangential b) radial c) vertical at the position of the submerged vanes |
| **شکل 4.** مقايسه عددی و آزمایشگاهی توزیع سرعت­های الف) مماسی ب) شعاعی ج) عمقی در محل استقرار پایه پل |
|  |
| (الف) |
|  |
| (ب) |
|  |
| (ج) |
| **Fig. 4.** Numerical and laboratory comparison of velocities distribution a) tangential b) radial c) vertical at the position of the bridge pier |

در شکل (5) نمودار مربوط به مجذور میانگین مربعات خطا مطابق رابطه (8) براي بررسي خطاي مدل عددي SSIIM نسبت به مدل­هاي آزمايشگاهي استفاده شد.

|  |  |
| --- | --- |
| (8) |  |

در رابطه بالا مقدار محاسبه شدهسرعت در مدل عددی SSIIM است و VLab مقدار اندازه­گیری شده سرعت در آزمایشگاه و N تعداد کل داده­های موجود، معادل تعداد نقاط موجود در مش مورد نظر است.

|  |
| --- |
| شکل 5. خطای مدل عددی SSIIM نسبت به مدل آزمایشگاهی |
|  |
| Fig. 5. Error of in SSIIM numerical model compared to the experimental model |

با توجه به شکل (5) می­توان نتیجه گرفت که مدل عددی SSIIM به خوبی الگوی جریان در کانال­هاي قوسي شکل، همراه با سازه­های هیدرولیکی مانند پایه پل و صفحات مستغرق را شبیه­سازی می­کند.

همان‌گونه که ذکر شد، یکی از روش­های کنترل آبشستگی پیرامون پل، استفاده از صفحات مستغرق است. در مرحله دوم 27 مدل با استقرار تعداد 2 صفحه مستغرق در بالادست پایه پل و در فاصله معادل 40 درصدی عرض کانال از ساحل داخلی با هدف بررسی تغییرات طول­پوشانی صفحات مستغرق (0، 50 و 100 درصد هم­پوشانی)، فاصله صفحات مستغرق از پایه (5/2، 5 و 5/7 برابر قطر پایه) و فاصله صفحات مستغرق از همدیگر (1، 5/1، 2 برابر قطر پایه)، انجام شد. به منظور مقایسه نتایج تأثیر استقرار صفحات مستغرق بالادستی پایه­ی پل با مدل پایه پل بدون صفحات مستغرق بالادستی، مدل پایه پل تنها (P) شبیه­سازی شد. در تمامی مدل­ها پایه پل در رأس قوس مستقر شد. برای بیان حالت مدل­ها از نماد PV(Lcv)-(Lvp/D)-(Lvv/D) استفاده می­شود که در آن P و V نشان دهنده حضور پایه و صفحات مستغرق در مدل­ها است، عدد اول درصد هم­پوشانی صفحات مستغرق و عدد دوم و سوم به ترتیب فاصله بی­بعد شده صفحات از پایه پل و از همدیگر هستند.

بنابراین *با استفاده از نرم افزار* SSIIM *میدان جریان حول پایه استوانه شکل با حضور صفحات مستغرق بالادستی را شبیه­سازی و آثار آبشستگی موضعی بر الگوی جریان را بررسی نموده و* براي به دست آوردن ترم­هاي آشفتگي در معادلات ناوير استوکس در این پژوهش از میان مدل­های آشفتگی مختلفی که در مدل عددی SSIIM کدگذاری شده­اند از مدل آشفتگي k-ɛ استفاده شده است.

**4- نتایج و بحث**

با توجه به اینکه در مسیر­های قوسی شکل خطوط جریان به صورت منحنی­های موازی نیستند، به بررسی خطوط جریان آشفته در پلان پرداخته شده است. نمونه­ای از خطوط جریان و کانتورهای سرعت­های مماسی و شعاعی در مقاطع پلان در نزدیکی بستر و سطح جریان برای بررسی چگونگی توزیع سرعت در عمق، در شکل‌های (6 و 7) نشان داده شده است. با توجه به شکل (6-الف) مشاهده می­شود بیشینه سرعت مماسی در نزدیکی کف، تا قبل از رسیدن به پایه، در مجاورت ساحل داخلی رخ می‌دهد که این رویداد به علت افزایش گرادیان فشار در نزدیکی ساحل داخلی است. با نزدیک شدن به پایه، ناحیه حداکثر سرعت در حال فاصله گرفتن از ساحل داخلی است و به اطراف پایه منتقل می­شود. همان‌گونه که در شکل (6–ب) مشاهده می­شود، با افزایش ارتفاع از بستر، بیشینه سرعت­های مماسی مثبت نیز افزایش می­یابند که به دلیل کاهش اثر زبری بستر است. در ابتدای قوس، بیشینه سرعت مماسی در مجاورت ساحل داخلی و در سطح آب رخ می­دهد که این رویداد به علت افزایش گرادیان فشار در نزدیکی ساحل داخلی است.

جریان ثانویه در نزدیکی بستر به سمت ساحل داخلی و در سطح آب به سمت ساحل خارجی است که انتظار می‌رود مولفه­های سرعت شعاعی نیز به همان طریق در نزدیکی بستر و سطح آب در دو جهت نمایش داده شوند. مقدار منفی سرعت شعاعی در بستر کانال باعث حرکت رسوبات خروجی از چاله آبشستگی به طرف ساحل داخلی می­شود (شکل7-الف).

|  |
| --- |
| **شکل 6.** نمونه­ای از کانتور سرعت مماسی همراه با خطوط جریان در تراز نزدیک الف) کف بستر ب) سطح جریان |
|  |
| (الف) |
|  |
| (ب) |
| **Fig. 6.** Sample of a tangential velocity contour with flow lines in close level of a) bed b) flow surface |
| **شکل 7.** نمونه­ای از کانتور سرعت شعاعی همراه با خطوط جریان در تراز نزدیک الف) کف بستر ب) سطح جریان |
|  |
| (الف) |
|  |
| (ب) |
| **Fig. 7.** Sample of a Radial velocity contour with flow lines in close level of a) bed b) flow surface |

همچنین با مقدار مثبت این پارامتر در سطح جریان، یک سلول چرخشی در کل مقطع شعاعی به وجود می­آید که در نزدیکی کف کانال به طرف ساحل داخلی و در نزدیکی سطح جریان به طرف ساحل خارجی است. همان‌گونه که در شکل (7-ب) مشاهده می­شود، با فاصله گرفتن از بستر به سطح آب، مقدار بیشینه سرعت شعاعی مثبت افزایش پیدا می­کند که بدین معناست که قدرت حرکت به سمت ساحل خارجی در سطح آب از تراز نزدیک به بستر بیشتر می­باشد. مشخص است که بیشینه سرعت­های شعاعی در تمامی حالات و ترازها در اطراف پایه ایجاد شده­اند.

در شکل (8) نمونه­ای از الگوي میدان جريان در مقطع عرضی گذرانده از صفحات مستغرق نشان داده شده است.

مشاهده می­شود که ﺟﺮﻳﺎﻥ ﭼﺮﺧﺸﻲ ﻧﺎﺷﻲ ﺍﺯ ﺗﻐﻴﻴﺮﺍﺕ ﻓﺸﺎر ﻋﻤﻮﺩﻱ ﺩﺭ ﺩﻭ ﻃﺮﻑ ﺳﻄﺢ ﺻﻔﺤﻪ وجود دارد. ﻓﺸﺎﺭ ﺟﺮﻳﺎﻥ ﺩﺭ ﻭﺟﻪ ﭘﺮﻓﺸﺎﺭ ﺍﺯ ﭘﺎﻳﻴﻦ ﺻﻔﺤﻪ ﺑﻪ ﺳﻤﺖ ﺑﺎﻻﻱ ﺁﻥ کم­تر ﻣـﻲﺷﻮﺩ. ﺍﻣﺎ ﺩﺭ ﻭﺟﻪ ﻛﻢ­ﻓﺸﺎﺭ ﺻﻔﺤﻪ، ﻓﺸﺎﺭ ﺍﺯ ﭘﺎﻳﻴﻦ ﺻﻔﺤﻪ ﺑﻪ ﺳﻤﺖ ﺑﺎﻻﻱ ﺁﻥ ﺍﻓﺰﺍﻳﺶ ﻣﻲﻳﺎﺑﺪ. ﺩﺭ ﻭﺍﻗﻊ، ﺳﻴﺎﻝ ﺩﺭ ﺳﻤﺖ ﭘﺮ ﻓﺸﺎﺭ ﺻﻔﺤﻪ ﺩﺍﺭﺍﻱ ﻣﺆﻟﻔﻪ ﺳﺮﻋﺖ ﺭﻭ ﺑﻪ ﺑﺎﻻ ﻭ ﺩﺭ ﺳﻤﺖ ﮐﻢﻓﺸﺎﺭ ﺩﺍﺭﺍﻱ ﻣﺆﻟﻔﻪ ﺳﺮﻋﺖ ﺭﻭ ﺑﻪ ﭘﺎﻳﻴﻦ است؛ ترکیب چرخش ایجاد ﺷﺪﻩ ﺑﺎ ﺳﺮﻋﺖ ﺩﺭ ﺟﻬﺖ ﺟﺮﻳﺎﻥ، ﺳﺒﺐ ﺍﻳﺠﺎﺩ ﻳﮏ ﺣﺮﮐﺖ ﻣﺎﺭﭘﻴﭽﻲ ﺩﺭ ﭘﺎﻳﻴﻦﺩﺳﺖ ﺻﻔﺤﺎﺕ ﺷﺪﻩ ﻭ ﺍﻳﻦ ﺣﺮﮐﺖ ﻣﺎﺭﭘﻴﭽﻲ ﻳﮏ تنش ﺑﺮﺷﻲ ﻋﺮﺿﻲ ﺑﻪ ﺑﺴﺘﺮ ﺭﻭﺩﺧﺎﻧﻪ ﺍﻟﻘﺎ ﻣﻲﮐﻨﺪ ﮐﻪ ﻣﻨﺘﺞ ﺑﻪ ﺍﻧﺘﻘﺎﻝ ﺭﺳﻮﺏ ﺩﺭ ﺟﻬﺖ ﻋﺮﺿﻲ ﻣﻲ‌ﺷﻮﺩ.

|  |
| --- |
| **شکل 8.** نمایش الگوی جریان پیرامون صفحات مستغرق  Submerged vanes |
|  |
| **Fig. 8.** shows the flow pattern around submerged vanes |

براي محاسبه قدرت جريان ثانويه از روش شکری استفاده شده است. این مقدار بر اساس معادله (9) تعریف می‌شود [16].

|  |  |
| --- | --- |
| (9) |  |

در رابطه بالا Sxقدرت جریان، ، *و مؤلفه­های سرعت در امتداد* x*،* y *و* z *است*.

نمونه­ای از روند تغییرات قدرت جریان ثانویه در طول قوس در شکل (9) ارائه شده است.

بر اساس شکل (9) مشاهده شد قدرت جریان ثانویه از ابتدای قوس تا مقطع 75 درجه سیر صعودی داشته اما با رسیدن به محل استقرار صفحات به طور ناگهانی کاهش یافته است. با برخورد جریان به صفحات یک محدوده جریان بازگشتی با سرعت کم ایجاد می­شود و باعث کاهش قدرت جریان ثانویه می­شود. پس از آن در رأس قوس، محل استقرار پایه، به بیشترین مقدار خود رسیده است و بلافاصله پس از پایه پل قدرت جريان ثانويه کاهش يافته زيرا به دليل تشکيل گردابه­هاي ميدان پایه، جريان­هاي رو به پايين تضعيف شده، پس قدرت جريان ثانويه کاهش مي­يابد. با نزدیک شدن به انتهای قوس به تدریج دوباره بر شدت جریان ثانویه افزوده شده است. دلیل آنرا می­توان چگونگی تغییرات توپوگرافی بستر و تاثیر مسیر مستقیم پایین­دست دانست. همچنین مشاهده می­شود با تغییر موقعیت صفحات مستغرق محل بيشينه قدرت جريان ثانويه تغييري نکرده ولي مقدار آن بستگی به موقعیت صفحات مستغرق دارد. بنابراین در جدول (1) درصد کاهش ماکزیمم قدرت جريان ثانويه نسبت به مدل P، در تمامی مدل­ها با حضور صفحات مستغرق بیان شده است. با توجه به جدول مشاهده می­شود که مقادیر درصد کاهش ماکزیمم قدرت جریان ثانویه همگی مثبت هستند که بیانگر تأثیر صفحات مستغرق در بالادست پایه پل، بر کاهش قدرت جریان ثانویه است. کمترین و بیشترین درصد کاهش قدرت جریان ثانویه به ترتیب در مدل PV100-5-2 و PV0-2.5-2 است

|  |
| --- |
| **شکل 9****.** نمونه­ای از تغییرات قدرت جريان ثانويه |
|  |
| **Fig. 9.** Sample of secondary flow power changes |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **جدول 1.** درصد کاهش ماکزیمم قدرت جريان ثانويه نسبت به مدل P | | | | |
| Lcv  (%) | Lvp/D  =2.5 | Lvp/D  =5 | Lvp/D  =7.5 | Lvv  /D |
| 0 | 16.5 | 13 | 17 | 1 |
| 18 | 18 | 19 | 1.5 |
| 21 | 13 | 17 | 2 |
| 50 | 18 | 13 | 16 | 1 |
| 17 | 17 | 20.5 | 1.5 |
| 19.5 | 14 | 17 | 2 |
| 100 | 17 | 13 | 15 | 1 |
| 15 | 17 | 16 | 1.5 |
| 18 | 12 | 18 | 2 |
| **Table. 2.** Reduction percentage of maximum secondary flow power compared to model P | | | | |

تنش برشی کلی بستر بر اساس مجموع تنش برشی متوسط و تنش­های برشی رینولدزی بر اساس معادلات شماره (10 تا 12) محاسبه می شود که *τb*تنش برشی بستر، *τƟ* و *τr* به ترتیب برابر با تنش برشی بستر در جهت طولی و شعاعی هستند. *u* ʹ, *v*ʹ و *w*ʹ نوسانات مولفه­های سرعت در سه جهت، *ρʹ*, *ρʹ* و *ρ* تنش­های رینولدزی در نزدیک بستر و *ρ* دانسیته سیال است [17].

|  |  |
| --- | --- |
| (10) |  |
| (11) |  |
| (12) |  |

نمونه­ای از تغییرات تنش برشی بستر در شکل (10) ارائه شده است. تغییرات تنش برشی بعد از ایجاد آبشستگی موضعی است، به همین دلیل در مقاطع اطراف پایه و صفحات مستغرق، به دلیل وجود چاله آبشستگی، سطح مقطع بزرگتر و سرعت کمتر شده و در نتیجه تنش برشی کم می‌شود. همچنین بررسی این تغییرات نشان می­دهد که در بخش مرکزی ساحل داخلی، تنش برشی بستر مقداری بیشتر داشته است و با وجود استقرار تنش برشی ماکزیمم در نزدیکی جداره داخلی قوس تا نزدیکی خروجی قوس در محدوده خروجی قوس تنش برشی ماکزیمم به نیمه دوم قوس منتقل می­شود. هر چقدر میزان رسوبگذاری بستر بیشتر باشد مقدار تنش برشی بستر می­تواند بیشتر شود. در تمام حالات، بیشینه تنش برشی در نزدیکی بالادست و در پایین­دست پایه، بیشترین مقدار را دارد و تغییرات در تنش برشی بستر بیشتر شده است. بیشینه تنش برشی ساحل داخلی بیشتر نمایان می­شود و کمینه تنش برشی نیز بیشتر در میانه عرض کانال و اطراف سازه­ها مشاهده می­شود.

|  |
| --- |
| **شکل 10.** نمونه­ای از تغییرات تنش برشی بستر |
| PV50-2.5-2  Inlet outlet  **Fig. 10.** Sample of bed shear stress changes  Bed shear stress (N/*/*m2) |

برای تایید مطالب بالا نمونه­ای از توپوگرافی بستر، حاصل از آزمایش آبشستگی پس از تعادل می­تواند مورد توجه قرار گیرد. مشاهده می­شود در ساحل داخلی رسوبگذاری و پیرامون سازه­ها آبشستگی رخ داده است، و انتقال وقوع رسوبگذاری از جداره داخلی به سمت محور کانال و جداره خارجی در حوالی خروجی قوس در این شکل مشاهده می‌شود.

|  |
| --- |
| **شکل 11** نمونه­ای از تغییرات توپوگرافی بستر |
|  |
| **Fig. 11.** Sample of bed topography |

همان‌گونه که بیان شد بدیهی است که تغییرات تنش برشی به چگونگی حرکت مصالح بستر و وقوع آبشستگی و رسوب­گذاری در آن بستگی دارد. به عبارت دیگر بیشینه تنش برشی باید در مناطقی تشکیل شده باشند که توده­های رسوبی تشکیل شود و به تبع آن مساحت سطح حداقل مقدار بوده و محل کمینه تنش برشی نیز در مناطق وقوع آبشستگی صورت پذیرفته باشد. مقایسه شکل (10 با 11) نشان می­دهد که توزیع تنش برشی بعد از بستر تعادل یافته با سازوکار آبشستگی و رسوبگذاری در قوس همخوانی داشته است.

**5- نتیجه­گیری**

مهم­ترین نتایج به دست آمده از این پژوهش به شرح ذیل است:

از مدل عددی SSIIM می­توان با دقت قابل قبولی در شبيه سازي الگوی جریان در کاال­های قوسی شکل همراه با سازه های هیدرولیکی مانند پایه پل و صفحات مستغرق استفاده كرد.

با نزدیک شدن به محدوده استقرار صفحات و پایه به مقدار سرعت مماسی افزوده شده است، به گونه‌ای که سرعت مماسی بیشینه در مقطع گذرنده از پایه رخ داده است، و با افزایش ارتفاع از بستر، بیشینه سرعت­های مماسی مثبت افزایش می­یابند که به دلیل کاهش اثر زبری بستر است.

در تراز نزدیک بستر، تمامی جریان شعاعی منفی بوده است که این بدان معنا است که در قوس در نزدیکی بستر جریان به سمت ساحل داخلی است. بیشترین اختلاف بین مرز بالا و پایین سرعت­های شعاعی بر عکس سرعت مماسی، در تراز نزدیک بستر مشاهده می­شود.

بیشترین تغییرات سرعت شعاعی در حالت بدون طول هم­پوشانی در آرایش صفحات مستغرق در فاصله برابر 5 برابر قطر پایه از پایه مشاهده می­شود.

بیشترین مقدار قدرت جریان ثانویه در راس قوس، محل قرارگیری پایه پل، است.

آرایش PV0-2.5-2 و PV100-5-2 به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار قدرت جریان ثانویه را داشته­اند این مقادیر به ترتیب منجر به کاهش 21 و 12 درصدی قدرت جریان ثانویه نسبت به مدل P شده­اند.

بیشینه تنش برشی در ساحل داخلی بیشتر نمایان می­شود و کمینه تنش برشی نیز بیشتر در میانه عرض کانال و اطراف سازه­ها (پایه پل و صفحات مستغرق) مشاهده می­شود.

**6- منابع**

1. Odgaard A.J. & Kennedy J.F. 1983. River-Bend Bank Protection by Submerged Vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, **109**(8), pp.1161-1173. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:8(1161)
2. Johnson P.A. Hey R.D. Tessier M. & Rosgen DL. 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, **127**(9), pp.772-778. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:9(772)
3. Vaghefi M. Safaripour N. Zarei E. Mahmoudi A. & Hashemi S.Sh. 2018. Experimental investigation on the effect of overlapping upstream submerged vanes on bend topography with a bridge pier. *Modares Civil Engineering Journa*l (M.C.E.J), **15**(2), pp.245-255. "(In Persian)"
4. Zarei E. Vaghefi M. & Hashemi. S.Sh. 2019. Bed topography variations in bend by simultaneous installation of submerged vanes and single bridge pier. *Arabian Journal of Geosciences*, **12**(6), pp.1-10. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4342-z>
5. Safaripour N. Vaghefi M. & Mahmoudi. A 2020. Experimental Study of the Effect of Submergence Ratio of Double Submerged Vanes on Topography Alterations and Temporal Evaluation of the Maximum Scour in a 180-Degree Bend with a Bridge Pier Group. *International Journal of River Basin Management*, pp.1-34. https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1837144
6. Giri S. Shimizu Y. & Surajata B. 2004. Laboratory measurement and numerical simulation of flow and turbulence in a meandering-like flume with spurs. *Flow Measurement and Instrumentation*, **15**(5-6), pp.301-309. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2004.05.002>
7. Naji Abhari M. Ghodsian, M. Vaghefi, M. & Panahpur, N. 2010. Experimental and numerical simulation of flow in a 90-degree bend. *Flow Measurement and Instrumentation*, **21**(3), pp.292-298. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2010.03.002
8. Kasvi E. Laamanen L. Lotsari, E. & Alho P. 2017. Flow patterns and morphological changes in a sandy meander bend during a Flood-Spatially and temporally intensive ADCP measurement approach. *Water*, **9**(2), pp.106. <https://doi.org/10.3390/w9020106>
9. Wilson C.A.M.E., Boxall J. B. Guymer I. & Olsen N. R. B. 2003. Validation of a three dimensional numerical code in the simulation of pseudo-natural meandering flows. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, **129**(10), 758-767. <https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:10(758)>
10. Ehteram M Mahdavi Meymand A. 2015. Numerical modeling of scour depth at side piers of the bridge. *Journal of Computational and Applied Mathematics,* **280**, pp.68–79. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2014.11.039>
11. Asadollahi M. Vaghefi, M & Tabibnejad Motlagh M.J 2019. Experimental and Numerical Comparison of Flow and scour Patterns around a Single and Triple Bridge Piers Located at a sharp 180 degrees Bend. *Scientia Iranica*. doi:10.24200/SCI.2019.5637.1391
12. Rasaei M. Nazari S. & Eslamian, S. 2020. Experimental and numerical investigation the effect of pier position on local scouring around bridge pier at a 90° convergent bend. *Journal of Hydraulic Structures*, **6**(1), pp.55-76. doi: [10.22055/JHS.2020.32753.1134](https://dx.doi.org/10.22055/jhs.2020.32753.1134)
13. Asadollahi M. Vaghefi, M & Akbari M. 2020. Effect of the position of perpendicular pier groups in a sharp bend on flow and scour patterns: numerical simulation. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, **42**(8), pp.1-15. https://doi.org/10.1007/s40430-020-02503-2
14. Olsen N.R.B. 2014. A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movement in water intakes with multi-block option, *Department of Hydraulic and environmental Engineering*, Norwegian University of Science and Technology, User's manual, Norway, pp.172-173.
15. Abdi Chooplou Ch. Vaghefi M. & Meraji S.H. 2018. Study of Streamlines under the Influence of Displacement of Submerged Vanes in Channel Width, and at the Upstream Area of a Cylindrical Bridge Pier in a 180 Degree Sharp Bend. *Journal of Hydraulic Structures*, **4**(1), pp.55-74.doi: 10.22055/JHS
16. Shukry A. 1950. Flow around Bends in an open Flume. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **115**(1), pp.751-779. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0006426>
17. Barbhuiya A.K. & Dey S. 2003. Measurement of turbulent flow field at a vertical semicircular cylinder attached to the sidewall of a rectangular channel, *Journal of Flow Measurement and Instrumentation*, **15**(2), pp.87-96. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2003.11.002>

**Numerical simulation of the flow pattern around a single bridge pier with upstream of submerged vanes in sharp 180-degree bend with an alluvial bed under the influence of submerged vanes and the bridge pier**

**Ch. Abdi Chooplou1\*, M. Vaghefi2 and Y. Safarpoor3**

1. Ph.D. Candidate, Water and Hydraulic Structures Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor of Hydraulic Structures, Civil Engineering Department, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.
3. M.Sc. Graduate Student of Hydraulic Structures, Civil Engineering Department, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

**\*a.chonoor@modares.ac.ir**

**Abstract**

In this research, the SSIIM numerical model is investigated to investigate the flow pattern, velocity meters,current strength and turbulence parameters around the pier of the vertical bridge with submerged vanes. The parameters of different overlap length, and the distance of the submerged vanes upstream from the pier of the bridge and from each other in sharp 180-degree bend in the steep-ratio hydraulic radius 2 with a height of 90 cm and a width of 100 cm and a length of straight direction upstream and downstream of the bend respectively 6.5 m and 5 m, were analyzed. SSIIM software was used to investigate the flow field around the around the cylindrical bridge pier and upstream submerged vanes. The K-ε turbulence model was also used to solve the Navier-Stokes equations. In order to validate, the results of the simulated model were compared with the available experimental data in the case of submerged vanes located upstream of the bridge pier. The match between the numerical and experimental data indicated the proper performance of the SSIIM numerical model in modeling the flow pattern in the problem under study. The results showed that the range of secondary flow power was measured in all models with the presence of upstream submerged vanes from 10.5 to 12%. Shear stress changes after local scouring were also calculated. The maximum shear stress from the beginning of the bend to near the bend exit was inclined towards the inner bank of the bend and in the bend output range the maximum shear stress was transferred to the middle of the bend and then the second half of the bend. The results also showed that the tangential velocity was increased as the immersion range of the submerged vanes and the pier approached, so that the maximum tangential velocity occurred in the passage through the pier. As the height from the initial bed increases, the maximum positive tangential velocities increase. The results also showed that at the level near the bed, the radial flow is towards the inner bank. The greatest difference in radial velocities, as opposed to tangential velocities, is observed near the bed. The highest changes in the maximum landing number are related to models with submerged vanes at a distance of 7.5 times the pier diameter, which by changing the distance between the vanes from 1 to 1.5 times the pier diameter from each other, an increase of 12.5% And by changing the distance of the submerged vanes to 2 times the pier diameter from each other, it decreases by 11%.

**Keywords**: Bridge pier, Submerged vanes, Flow pattern, 180-degree bend, SSIIM numerical model

1. . Odgaard & Kennedy [↑](#footnote-ref-1)
2. . Johnson et al. [↑](#footnote-ref-2)
3. . Giri et al. [↑](#footnote-ref-3)
4. . Kasvi et al. [↑](#footnote-ref-4)
5. . Wilson et al. [↑](#footnote-ref-5)