

# شبیه‌سازی عددی اثر صفحات غیر مستغرق بر کاهش آبشستگی پایه پل با استفاده از نرم‌افزار SSIIM

کورس نکوفر<sup>۱</sup>، حافظ کوهپری<sup>۲</sup>، مهرناز روزبهانی<sup>۳</sup>

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، دانشکده فنی و مهندسی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لارستان، دانشکده فنی و مهندسی

۳- کارشناسی ارشد، پژوهشگاه هوافضا

## چکیده

وقوع آبشستگی در اطراف پایه‌های پل یکی از عمده‌ترین دلایل عدم پایداری پل‌ها و در نهایت شکست و تخریب آنها می‌باشد. به همین دلیل ارائه روش‌هایی برای کنترل و کاهش این پدیده حائز اهمیت می‌باشد. در تحقیق حاضر با استفاده از نرم افزار SSIIM به مدل سازی صفحات غیر مستغرق عمود بر جریان آب در بالادست پایه استوانه‌ای پرداخته شده است. مشاهده شد که این صفحات در کاهش عمق حفرة آبشستگی اطراف پایه پل تأثیر به سزایی دارند. همچنین استفاده از مدل ۵ صفحه ای نسبت به مدل تک صفحه ای منجر به نتایج بهتری در زمینه کاهش آبشستگی موضعی اطراف پایه پل گردید. نهایتاً نتایج عددی نشان داد که بهترین نقاط استقرار صفحات در فاصله‌های ۲/۵ متری از مرکز پایه و در بالادست آن می‌باشد.

واژه های کلیدی: آبشستگی، پایه پل، صفحات غیر مستغرق، نرم‌افزار SSIIM

## ۱- مقدمه

مهندسی کشور در طراحی سازه‌ای پل‌ها، جنبه‌های هیدرولیکی آنچنان که باید مورد توجه قرار نگرفته است. از این رو، در بیشتر موارد بر اثر بی‌توجهی به پدیده آبشستگی، سازه پل سال‌ها قبل از پایان عمر مفید آن، کارایی خود را از دست می‌دهد و تخریب می‌شود و این مسئله زمانی بحرانی‌تر می‌شود که پل‌ها زمانی تخریب می‌شوند (مثلاً در زمان وقوع سیلاب) که به راه‌های دسترسی برای کمک به آسیب‌دیدگان بلایای طبیعی بیشترین احتیاج احساس می‌شود.

برای طراحی اقتصادی و قابل اطمینان پایه‌های پل، برآورد حداکثر عمق آبشستگی در اطراف پایه‌ها ضروری است. در حال حاضر، پایه و اساس علمی برای طراحی سازه ای پایه‌ها به خوبی مشخص شده است، ولی هیچ تئوری واحد یا مشخصی وجود ندارد که عمق آبشستگی را در پایه‌های پل با ضریب اطمینان بالا

پل‌ها از جمله مهم‌ترین و پرکاربردترین سازه‌هایی هستند که از دیر باز مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. در اغلب موارد سازه پل روی رودخانه احداث می‌شود که در این صورت پایه‌های آن در تماس با جریان آب خواهد بود. تجربه طولانی مدت احداث پل روی رودخانه‌ها، مهندسان را در دهه‌های گذشته به این نتیجه رسانده است که در طراحی پل‌ها فقط در نظر داشتن مسائل سازه‌ای، زمین‌شناسی، موقعیت راه و پتانسیل ترافیک، کافی نیست، بلکه باید اثرگذاری جریان آب را نیز مورد توجه قرار داد. تخریب و آسیب دیدگی صدها پل بزرگ و کوچک در نقاط مختلف ایران در چند سال اخیر به علت وقوع سیلاب‌های مکرر، خود گویای این مطلب است که علاوه بر برخورداری از دانش فنی مناسب جامعه

برای کاهش آبشستگی مطالعات و آزمایشات فراوانی توسط محققان انجام شده است. برای مقابله با این پدیده در اطراف پایه‌های پل سه راهکار عمده زیر متداول است [۲]:

قراردادن پی (فونداسیون) در تراز پایین‌تر از عمق گودال فرسایشی.

۱. کاهش قدرت گرداب ایجاد شده در اطراف پایه.

۲. ایجاد پوشش حفاظتی سنگچین یا استفاده از طوق یا شکاف یا صفحات مستغرق در اطراف پایه.

پل‌ها در محل احداث خود به چند دلیل موجب آبشستگی در رودخانه‌ها می‌شوند. اول اینکه برای کوتاه کردن طول پل، مقطع پل تنگ‌تر از مقطع رودخانه در نظر گرفته می‌شود که سبب افزایش سرعت جریان و تنش برشی در بستر و موجب آبشستگی خواهد شد (آبشستگی بر اثر تنگ‌شدگی). دوم به دلیل وجود پایه و تکیه‌گاه، یک سامانه سه‌بعدی جریان گردابی در اطراف آن‌ها تولید شده است که موجب جدا شدن دانه‌ها از بستر و آبشستگی موضعی می‌شود. این نوع آبشستگی به دلیل پیچیده بودن جریان‌های ایجاد شده اهمیت زیادی دارد. اگر آبشستگی عمومی در مسیر رودخانه وجود داشته باشد، آن هم به آبشستگی حاصل از احداث پل اضافه می‌شود.

پایه پل به صورت مانعی در مقابل جریان رودخانه عمل می‌کند و خصوصیات هیدرولیکی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شکل هندسی و موقعیت پایه نسبت به امتداد جریان و همچنین تعداد و فواصل پایه‌ها و میزان تنگ‌شدگی در تغییر وضعیت جریان رودخانه و تبعات ناشی از آن مؤثر است [۲].

محققان زیادی با توجه به داده‌های آزمایشگاهی یا صحرایی و مطالعات گسترده در خصوص مکانیزم آبشستگی، روابط زیادی برای تخمین و پیش‌بینی عمق آبشستگی ارائه دادند. هر کدام از این روابط تعدادی از پارامترهای مؤثر در آبشستگی دربر گرفته است. بعضی از محققان تأثیر یک یا دو پارامتر را در روابط خود در

برآورد کند. در طراحی پل‌ها، پی آن‌ها باید به اندازه کافی عمیق باشد تا در مقابل آبشستگی مقاومت کند. از طرفی، این پی نبایستی آنقدر عمیق باشد که سبب بالا رفتن هزینه‌ها گردد. با به کار بردن روش‌هایی برای کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه‌ها، می‌توان پی‌ها را در تراز بالاتری قرار داد و به این ترتیب از هزینه‌ها کاست. با توجه به مطالب ذکر شده شناخت پدیده آبشستگی و مهم‌تر از آن به کار بردن روش‌هایی برای کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های پل ضروری به نظر می‌رسد. شایان ذکر است که آبشستگی از راه‌های مختلف، پایداری سازه‌های هیدرولیکی را تهدید می‌کند و هر ساله پل‌های زیادی در سراسر دنیا بر اثر آبشستگی آسیب‌بینند یا تخریب می‌شوند.

به‌طور کلی انواع مختلف آبشستگی اطراف پایه‌ها را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم کرد [۱]:

الف) آبشستگی عمومی: اگر مقدار رسوب وارد شده به رودخانه یا قسمتی از آن از مقدار رسوب خارج شده کمتر باشد، فرسایش در کف یا دیواره رودخانه رخ می‌دهد. بنابراین، کف رودخانه به تدریج گود می‌شود که آن را کف‌کنی می‌گویند که از عوامل مؤثر بر کاهش تراز بستر در مجاورت پایه‌های پل طی مدت زمان طولانی محسوب می‌شود.

ب) آبشستگی بر اثر تنگ‌شدگی مقطع: این نوع آبشستگی عمدتاً در مجاورت پایه‌های با فواصل نزدیک رخ می‌دهد. در این نوع آبشستگی بر اثر تنگ‌شدگی مقطع جریان، سطح تراز و سرعت جریان آب افزایش و در نتیجه پتانسیل حمل رسوبات از بستر رودخانه و در مجاورت پایه‌های پل افزایش می‌یابد.

ج) آبشستگی موضعی: به‌طور کلی سازه‌های هیدرولیکی و پایه‌های پل‌ها سبب تغییر الگوی جریان و ایجاد جریان‌های آشفته در مجاورت سازه‌های مزبور و در نهایت ایجاد یک حفره در محل سازه‌ها می‌شوند. این نوع فرسایش در شرایط سیلابی شدید خواهد شد و یکی از عوامل اصلی وقوع آسیب‌دیدگی سازه‌های هیدرولیکی و پل‌ها محسوب می‌شود.

CFD سه بعدی بر مبنای روش حجم محدود استوار است و معادلات ناویر-استوکس را بر مبنای مدل آشفتگی  $K-\epsilon$  استاندارد حل می‌کند.

مدل SSIIM یک نرم‌افزار عددی با زمینه کاربرد در مهندسی رودخانه، محیط زیست، هیدرولیک و رسوب است و هدف اولیه از ساختن این نرم‌افزار نیز شبیه‌سازی کردن حرکت رسوب در هندسه رودخانه و کانال بوده است. بعدها استفاده از این نرم‌افزار در دیگر موضوعات هیدرولیکی مانند مدل کردن سرریزها، افت در تونل‌ها، رابطه عمق و دبی در رودخانه‌ها و ... نیز توسعه یافت. مزیت اصلی مدل SSIIM در مقایسه با نرم‌افزار CFD توانایی مدل کردن انتقال رسوب در بستر متحرک در هندسه‌های پیچیده است. طی این سال‌ها برای مدل کردن معابر عبور ماهی‌های آزاد و جریان آزاد جلبک‌ها که به عنوان محاسبات کیفیت آب مطرح است، از نرم‌افزار SSIIM استفاده شده است. البته بیشتر توجه به محاسبات انتقال رسوب معطوف بوده است [۱۴-۱۵].

نرم‌افزار SSIIM معادلات ناویر استوکس را با مدل  $K-\epsilon$  استاندارد روی یک شبکه سه بعدی تقریباً نامتعاد حل می‌کند. برای منفصل‌سازی نیز از یک روش حجم کنترل همراه الگوریتم توانی یا الگوریتم جهتمند مرتبه دوم استفاده می‌شود. روش SIMPLE نیز به عنوان پیش فرضی برای تصحیح فشار به کار می‌رود. این روش قابل فراخوانی توسط مجموعه اطلاعات K9 در فایل Control است. روش SIMPLE برای ارتباط ترم فشار و سرعت به کار می‌رود. با استفاده از یک روش حل ضمنی میدان سرعت در هندسه محاسبه و این سرعت‌ها نیز زمانی استفاده می‌شود که معادلات انتقال - پخش برای اندازه‌های مختلف رسوب حل شده باشند. نرم‌افزار SSIIM برای تسهیل ساختن فایل ورود اطلاعات از جعبه‌های محاوره‌ای استفاده می‌کند [۱۴-۱۵].

نظر گرفته و بعضی دیگر از پارامترهای بیشتری در روابط خود استفاده کرده‌اند.

برای تخمین آبشستگی آزمایشات و مطالعات زیادی توسط محققان انجام شده است [۳-۴]. روی کنترل و کاهش آبشستگی نیز، تحقیقات و آزمایشات گسترده‌ای صورت گرفته است [۲، ۵-۷]. در برخی بررسی‌ها، آبشستگی پایه پل‌ها با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و با استفاده از مدل عددی HEC-RAS4.0 ارزیابی و در ادامه الگوی جریان حول یک صفحه در بستر یک کانال مستطیلی با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی شده است [۸-۹].

در زمینه محاسبه آبشستگی با استفاده از مدل‌های عددی در جریان‌های واقعی روی رودخانه در مجاورت کانال‌ها مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است [۱۰-۱۲].

در برخی از تحقیقاتی، برای اندازه‌گیری عمق آبشستگی متعادل اطراف پایه‌های پل با مقطع دایره‌ای از مدل عددی SSIIM استفاده شده است که نتایج مطالعات بیانگر دقت بسیار بالای مدل عددی SSIIM در محاسبه عمق آبشستگی است [۱۳].

یکی از نرم‌افزارهای پرکاربرد در زمینه مدل‌سازی و تحلیل پدیده آبشستگی، نرم‌افزار SSIIM است. در این مقاله عملکرد صفحات غیرمستغرق با هدف کاهش آبشستگی اطراف پایه پل بررسی می‌شود که با استفاده از این نرم‌افزار و داده‌های آزمایشگاهی موجود به مدل‌سازی و تحلیل پدیده آبشستگی و نیز کاهش آن به روش استفاده از صفحات غیرمستغرق پرداخته و روی نتایج به دست آمده بحث خواهد شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱ معرفی مدل عددی

مدل SSIM یک نرم‌افزار سه بعدی برای شبیه‌سازی حرکت آب و رسوب است که توسط نیلز اولسن در دپارتمان مهندسی هیدرولیک و محیط زیست دانشگاه علوم و تکنولوژی نروژ توسعه یافت. این مدل

۲-۲- مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$

مدل  $k-\varepsilon$  لزجت گردابه‌ای را به صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$v_T = C_\mu \frac{k}{\varepsilon^2} \quad (۱)$$

$K$  انرژی جنبشی آشفتگی است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K = \frac{1}{2} u_i u_i \quad (۲)$$

معادله دیفرانسیلی مربوط به  $k$  به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{v_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + p_k - \varepsilon \quad (۳)$$

در رابطه فوق  $p_k$  طبق رابطه زیر تعیین خواهد شد:

$$p_k = v_T \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (۴)$$

$\varepsilon$  بیانگر میزان اتلاف  $k$  بوده و به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{v_T}{\sigma_k} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k + C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (۵)$$

در معادلات (۱) تا (۵)،  $C$  ضرایب ثابتی‌ها ثوابتی هستند که توسط کاربر قابل تغییر نیست. همان‌طور که توضیح داده شد مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  مدل پیش‌فرضی آشفتگی در SSIIM است.

به طور خلاصه می‌توان معادلات حاکم بر میدان جریان در حالت آشفته را معادله پیوستگی و معادله مومنتوم دانست.

اگر فرض شود که جریان دائمی است ( $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ ) و نوسانات جرم مخصوص صفر است ( $p' = 0$ ) معادلات مومنتوم و پیوستگی به صورت زیر مشخص خواهد شد:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (p u_j) = 0 \quad (۶) \text{ معادله پیوستگی}$$

(۷) معادله مومنتوم (اندازه حرکت)

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (p u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_j} \delta_{ij} + \frac{\partial}{\partial x_j} \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (- \overrightarrow{p u_i} u_j)$$

در روابط (۶) و (۷)،  $U$  مؤلفه سرعت،  $p$  چگالی سیال و  $P$  فشار کل است. ترم  $-\overrightarrow{p u_i} u_j$  همان ترم تنش اینولدر می‌باشد. طبق این معادلات می‌توان سه معادله مومنتوم و یک معادله پیوستگی نوشت که در آنها مجموعاً ۱۰ مجهول (سرعت در سه جهت  $w, v, u$  و فشار  $p$  و شش مؤلفه تنش اینولدر) وجود دارد که بدان معناست که میدان معادلات حاکم بر جریان بسته نیست و تنش‌های اینولدر باید با استفاده از روش‌های ریاضی مدل‌سازی شوند. از این‌رو، برای بستن میدان معادلات حاکم از معادلات آشفتگی استفاده خواهد شد.

۲-۳- معادلات حاکم بر جریان رسوب

روند محاسبات در مدل عددی SSIIM به این صورت است که ابتدا با حل معادله پخش-انتقال رسوب، غلظت رسوب را در فاصله بین سطح آب تا سطح مینا ( $a$ ) محاسبه می‌کند. تراز سطح مینا با توجه به ارتفاع زبری معادل در نظر گرفته می‌شود.

حمل رسوب به صورت سنتی به بار بستر و بار معلق تقسیم می‌شود. بار معلق می‌تواند با استفاده از معادلات پخش-انتقال با محاسبه غلظت رسوب تعیین شود.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_T \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) \quad (۸)$$

در معادله بالا سرعت سقوط ذرات توسط  $W$  مشخص گردید و  $\Gamma_T$  ضریب پخش می‌باشد که از معادله  $k-\varepsilon$  استاندارد به دست می‌آید.

$$\Gamma_T = \frac{u_T}{S_c} \quad (۹)$$

$S_c$  عدد اشمیت و به طور پیش‌فرض برابر ۱ است. وان ریجن در سال ۱۹۸۷ برای تعیین غلظت رسوب در نزدیکی بستر یک فرمول به صورت زیر ارائه داد:

آب از یک مخزن دارای ارتفاع توسط یک لوله از دهانه کانال زمانی که دبی توسط یک سرریز لبه تیز اندازه‌گیری می‌شد به کانال منتقل و سرعت جریان در کانال با استفاده از یک دریچه (شیر آب) تنظیم می‌شد. یک دریچه در پایین دست عمق آب را تنظیم می‌کرد. هد روی سرریز لبه تیز و سطح آب با یک نقطه‌سنج با حساسیت  $0.1\text{mm}$  اندازه‌گیری شدند. یک منطقه با بستر متحرک به طول  $100\text{cm}$ ، عرض  $60\text{cm}$  و عمق  $57\text{cm}$  در فاصله  $800\text{cm}$  پایین دست ابتدای کانال تعبیه و با رسوبات با قطر متوسط ذرات  $d_{50} = 1.28\text{mm}$  و انحراف هندسی استاندارد  $\sigma_g = 1.29$  پر شد. یک پایه دایره‌ای عمودی با قطر  $D = 6\text{cm}$ ، در مرکز منطقه با بستر متحرک قرار داده شده است که قبل از شروع آزمایش ایجاد شده است. شیر آب بدون اینکه هیچ‌گونه آشفتگی در مصالح بستر ایجاد کند تا وقتی که دبی مورد نظر به وجود آید، به آرامی تنظیم شد. جریان یکنواخت تحت شرایط آب زلال برای دبی مورد نیاز به طور کامل حاصل شد. کل فرآیند برای ایجاد کامل جریان یکنواخت تحت شرایط آب زلال در کمتر از سه دقیقه برای هر مورد تثبیت شد. آزمایش‌ها در مرحله‌ای متوقف می‌شدند که آبشستگی کمتر از  $1\text{mm}$  در یک مساحت به وجود آمد یا در کل آبشستگی نداشت. عمق‌های آبشستگی در زمان‌های مختلف توسط یک شاخص متصل ثبت شدند. در این آزمایش تراز سطح آب  $200\text{mm}$ ، قطر پایه استوانه‌ای  $6\text{cm}$ ، قطر متوسط ذرات  $d_{50} = 1.28\text{mm}$ ، دبی  $Q = 0.4\text{m}^3/\text{s}$ ، زمان آبشستگی  $140\text{min}$  و عمق آبشستگی  $78\text{mm}$  است.

#### ۲-۵- مدل‌سازی عددی

در تحقیق حاضر مدل عددی (اوسون) SSIIM برای شبکه‌بندی و حل جریان و آبشستگی در اطراف پایه پل استفاده شده است. همان‌طور که بخشی از شبکه‌بندی میدان در شکل (۱) مشاهده می‌شود در نزدیکی پایه، شبکه ریزتر و در فواصل دورتر شبکه‌ها درشت‌تر می‌شود.

$$C_{bed} = 0.015 \frac{d^{0.3} \left[ \frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right]^{1.5}}{\left[ \frac{(p_s - p_w)g}{p_w u^2} \right]^{0.1}} \quad (10)$$

در رابطه فوق  $d$  قطر ذرات رسوبی،  $a$  تراز مرجع با توجه به ارتفاع زبری،  $\tau$  تنش برشی بستر،  $\tau_c$  تنش برشی بحرانی بستر برای جابجایی ذرات رسوبی با توجه به نمودار شیلدز،  $p_s, p_w$  چگالی آب و رسوب،  $u$  ویسکوزیته آب و  $g$  شتاب ثقل است.

در مدل SSIIM یک ضریب کاهش تنش برشی بحرانی برای رسوبات در بستر شیب‌دار استفاده می‌شود که توسط بروکز (۱۹۶۳) ارائه شده است:

$$K = -\frac{\sin\phi \sin\alpha}{\tan\theta} + \sqrt{\left( \frac{\sin\phi \sin\alpha}{\tan\theta} \right)^2 - \cos^2\phi \left[ 1 - \left( \frac{\tan\phi}{\tan\theta} \right)^2 \right]} \quad (11)$$

در این رابطه  $\alpha$  زاویه بین جهت جریان و خط عمود بر بستر،  $\phi$  زاویه شیب و  $\theta$  پارامتر شیب است. فاکتور  $k$  محاسبه و در تنش برشی بحرانی سطح افقی ضرب می‌شود.

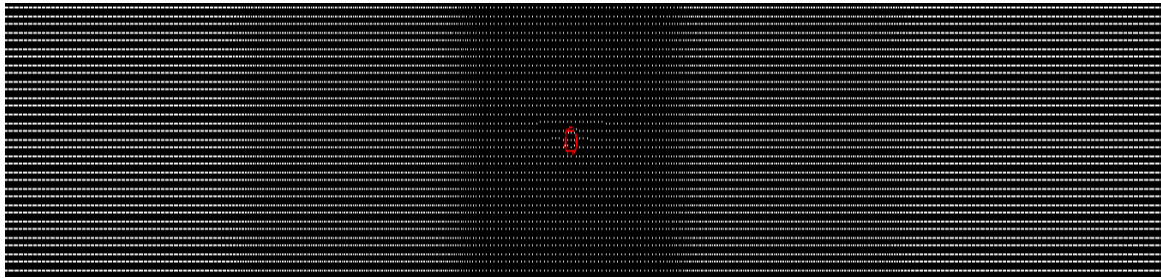
مدل عددی SSIIM برای محاسبه بار بستر در فاصله بار بستر تا سطح مبنا از رابطه زیر استفاده می‌کند.

$$\frac{q_b}{D_{50}^{1.5} \sqrt{\frac{(p_s - p_w)g}{p_w}}} = 0.053 \frac{\left[ \frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right]^{1.5}}{D_{50}^{0.3} \left[ \left( \frac{(p_s - p_w)g}{p_w U^2} \right) \right]^{0.1}} \quad (12)$$

مقدار تجربی  $0.53$  قابل تغییر در مجموعه اطلاعات F83 در فایل control است.

#### ۲-۴- مشخصات کانال آزمایشگاهی

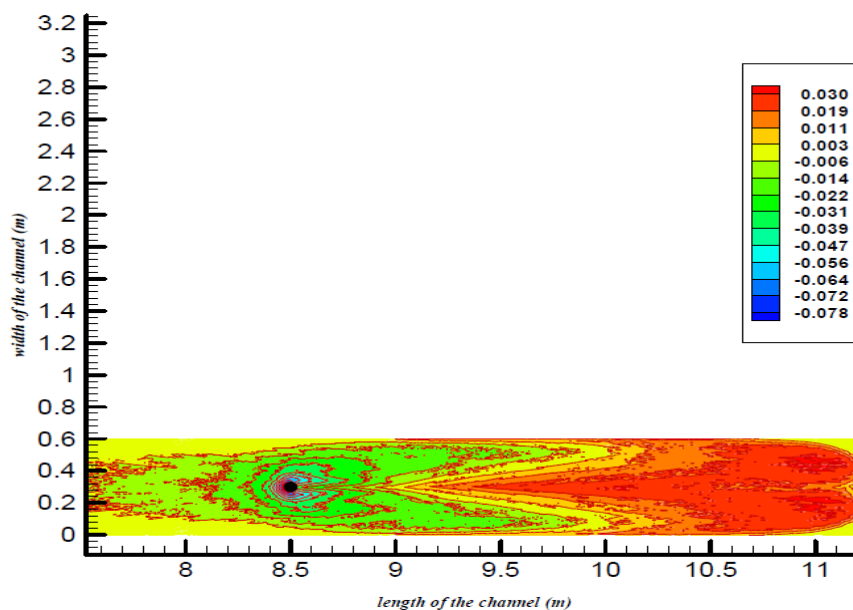
مجموعه‌ای از آزمایش‌های طولانی با استفاده از پایه‌های استوانه‌ای در کانال با بستر یکنواخت تحت شرایط آب زلال در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه اوکایاما در ژاپن انجام شد که در آنها از کانالی به طول  $1600\text{cm}$  و به عرض  $60\text{cm}$  و عمق  $40\text{cm}$  استفاده شد [۱۶].



شکل ۱- ساختار مش به کاررفته در شبیه‌سازی عددی و نمایش شماتیک ریز شدن سلول‌ها با نزدیک شدن به پایه

یا گام‌های زمانی ۴s و با تخصیص ضریب زبری برابر ۰/۰۱۲ کالیبره شد (شکل (۲)).

برای صحت‌سنجی نتایج مدل عددی از نتایج آزمایشگاهی، دبی و تراز آب پایین دست فلوم به عنوان شرایط مرزی به مدل عددی وارد و سپس مدل عددی



شکل ۲- تغییرات تراز بستر حول پایه استوانه‌ای

بهبودترین حالت انتخاب می‌شود. سپس، از این صفحات در جلوی پایه پل استفاده می‌شود و از نتایج به دست آمده می‌توان مقدار کاهش آبشستگی را بر اثر استفاده از این صفحات محاسبه کرد. صفحات باید طوری طراحی شود که علاوه بر اینکه رسوب بیشتر تولید می‌کند خود نیز دچار آبشستگی کمتر

### ۳- تحلیل نتایج

در تحقیق حاضر پیشنهاد شده است که از صفحات غیرمستقر استفاده شود که تقریباً به شکل سرریزهای لبه تیز طراحی می‌شوند. این صفحات با آرایش‌های مختلف مدل‌سازی و در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده از مدل عددی، از بین آرایش‌های مختلف

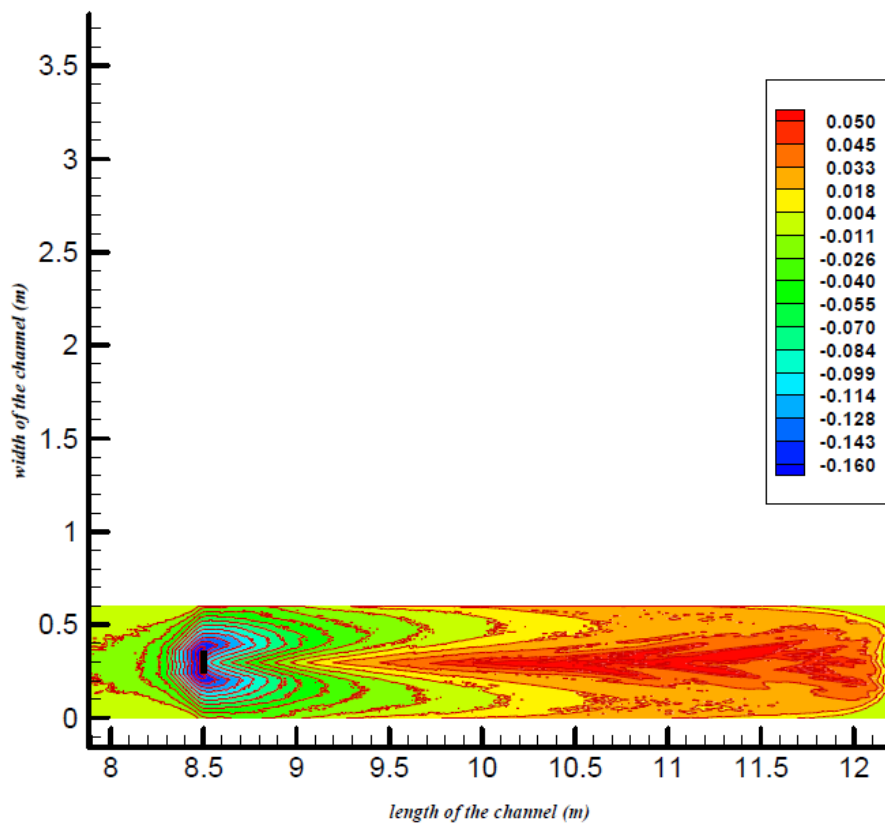
طبق مشخصات آزمایش، چون قطر پایه استوانه‌ای ۶cm است، طول پوشش صفحات در جلوی پایه ۱۲cm در نظر گرفته می‌شود.

شود. برای بررسی آرایش‌های مختلف و تعیین بهینه‌ترین حالت، شکل‌های مختلفی از چیدمان صفحات مدل‌سازی می‌شود که به شرح شکل (۳) است.

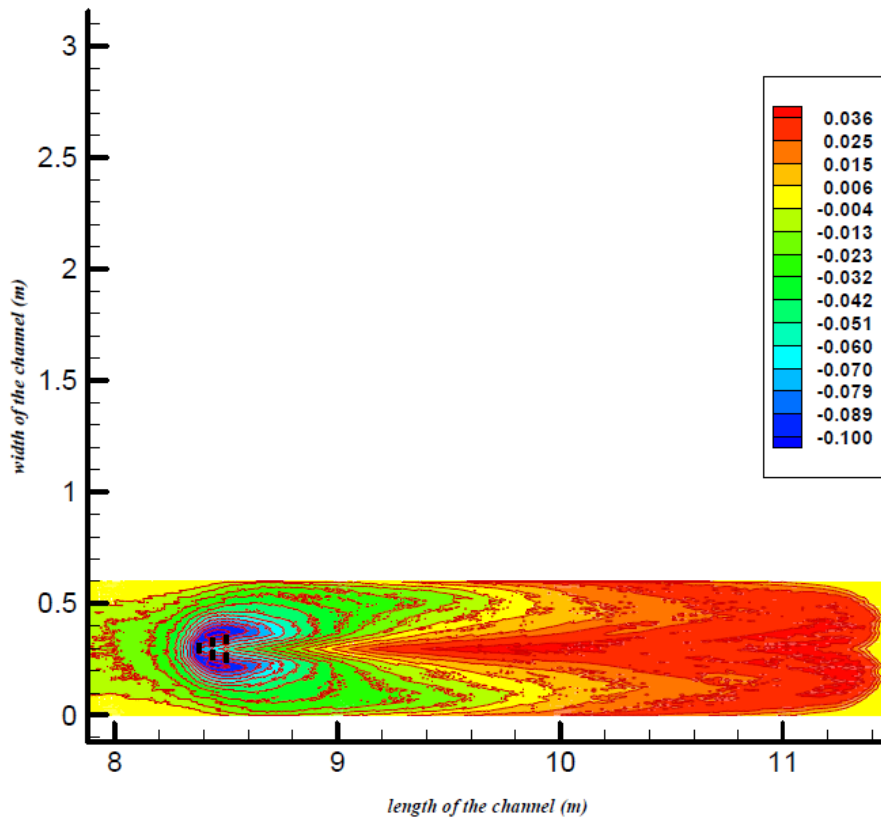


شکل ۳- آرایش‌های مختلف صفحات

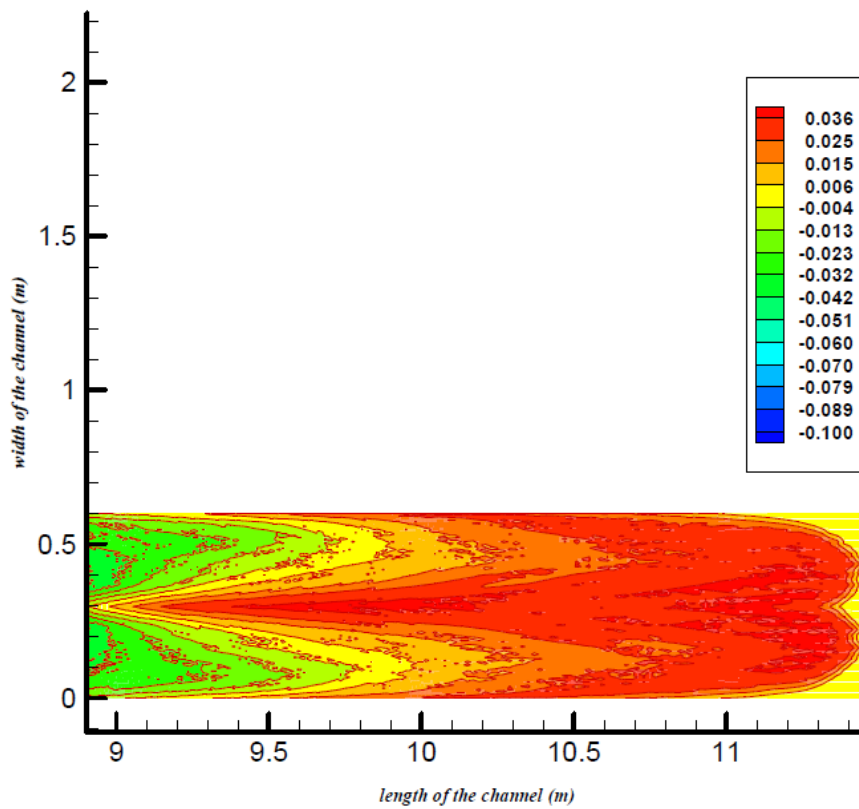
نتایج خروجی‌های به دست آمده از مدل‌های فوق، در شکل‌های (۴) تا (۶) نشان داده شده است.



شکل ۴- تغییرات تراز بستر برای مدل تک صفحه‌ای



شکل ۵- تغییرات تراز بستر برای مدل پنج صفحه‌ای



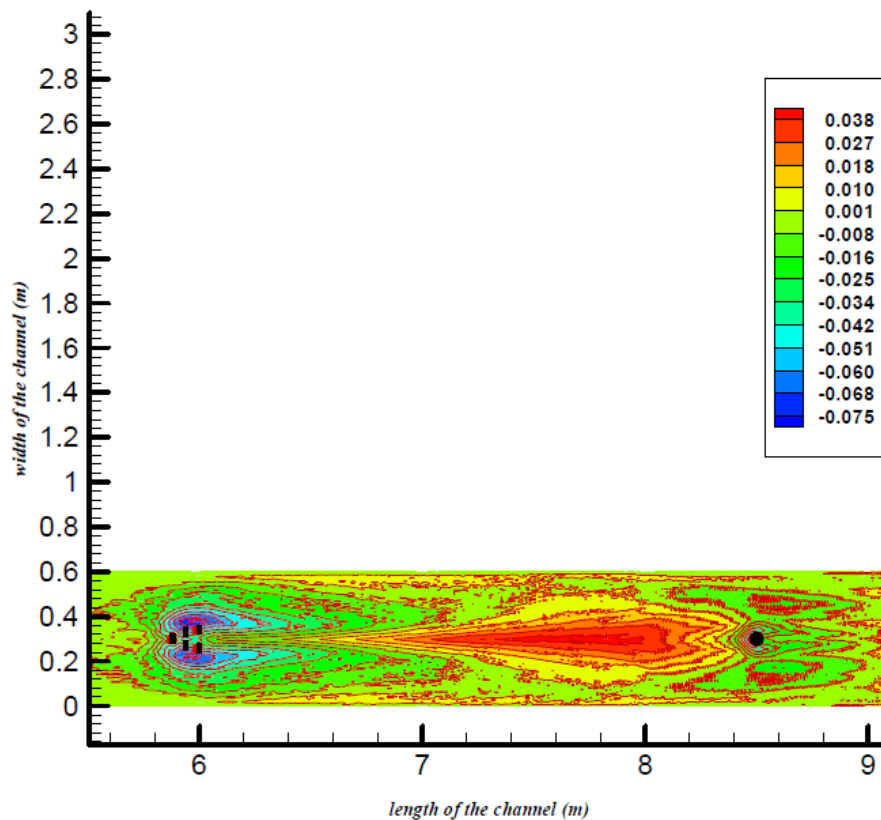
شکل ۶- ناحیه ته‌نشین رسوب بستر در مدل شماره ۳



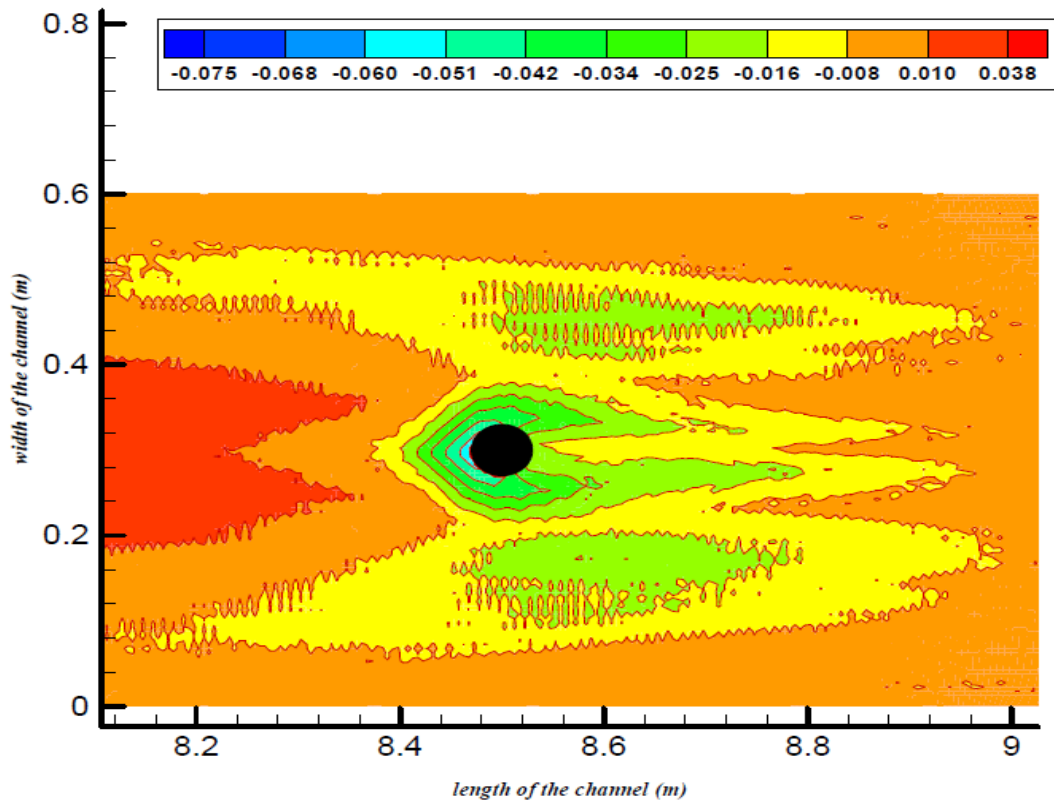
ته‌نشین رسوب در محدوده ۹m تا ۱۱/۴m کانال مورد نظر است و می‌توان تشخیص داد که محدوده حداکثر رسوب در نقطه ۱۱m است.

با توجه به شکل (۶) بهترین نقاط استقرار صفحات در فاصله‌های ۲/۵m از مرکز پایه استوانه‌ای و در بالادست آن تشخیص داده شده است. نتایج خروجی حاصل از مدل‌سازی در صورت تعبیه صفحات در فواصل یادشده و بالادست پایه استوانه‌ای، به صورت شکل‌های (۷) تا (۹) نمایش داده می‌شود.

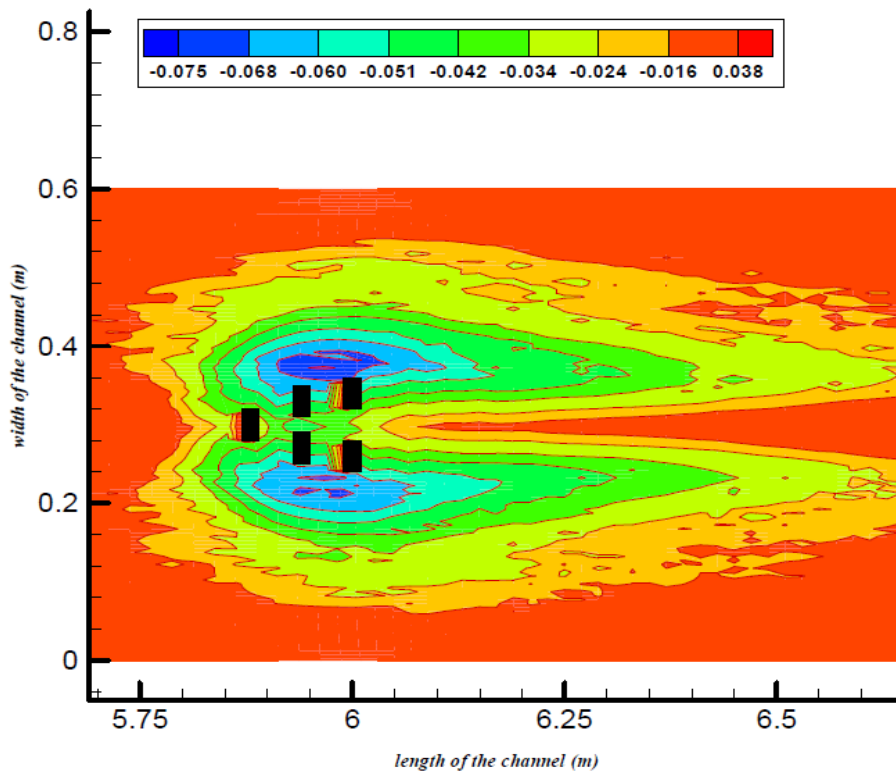
با توجه به میزان ارتفاع رسوب و عمق آبستتگی، باید حالتی را در نظر گرفت که به ازای عمق آبستتگی کم میزان رسوب بیشتری داشته باشد. طبق نتایج به دست‌آمده از شکل‌ها، در مدل پنج صفحه‌ای، عمق آبستتگی برابر ۱۰۰/۲mm و میزان رسوب ۶mm است که به نسبت بهتر از حالت دیگر است. در نتیجه، برای بررسی تأثیر صفحات مستغرق در کاهش آبستتگی پایه استوانه‌ای از مدل دوم، استفاده خواهد شد. با توجه به شکل (۶) مشاهده می‌شود که ناحیه



شکل ۷- تغییرات تراز بستر در صورت استقرار صفحات در فاصله ۲/۵m از مرکز پایه استوانه‌ای و در بالادست آن



شکل ۸- تغییرات تراز بستر حول پایه استوانه‌ای در صورت استقرار صفحات در فاصله ۲/۵m از مرکز پایه و در بالادست آن



شکل ۹- تغییرات تراز بستر حول صفحات در صورت استقرار آنها در فاصله ۲/۵m از مرکز پایه و در بالادست آن

### ۵- فهرست واژگان لاتین

- K: انرژی جنبشی آشفتگی  
 $\epsilon$ : میزان اتلاف انرژی جنبشی آشفتگی  
 U: مؤلفه سرعت  
 p: چگالی سیال  
 P: فشار کل  
 $\vec{p}u_i \vec{u}_j$ : ترم تنش ینولدز  
 W: سرعت سقوط ذرات  
 $\Gamma_T$ : ضریب پخش  
 $S_c$ : عدد اشمیت  
 d: قطر ذرات رسوبی  
 a: تراز مرجع با توجه به ارتفاع زبری  
 $\tau$ : تنش برشی بستر  
 $\tau_c$ : تنش برشی بحرانی بستر برای جابجایی ذرات رسوبی با توجه به دیاگرام شیلدز  
 $P_w$ : چگالی آب  
 $P_s$ : چگالی رسوب  
 u: ویسکوزیته آب  
 g: شتاب ثقل  
 $\alpha$ : زاویه بین جهت جریان و خط عمود بر بستر  
 $\phi$ : زاویه شیب بستر  
 $\theta$ : پارامتر شیب

در شکل (۸) مشاهده می‌شود که حداکثر آبستتگی اطراف پایه استوانه‌ای در فاصله ۲/۵m از پایین دست صفحات برابر ۰/۰۵۱m است و با توجه به شکل (۹) عمق آبستتگی اطراف خود صفحات برابر ۰/۰۶۸m است. در نهایت آبستتگی پایه استوانه‌ای حدود ۳۵٪ نسبت به حالت اولیه کاهش یافته است.

### ۴- نتیجه‌گیری

۱- در این تحقیق با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی و مدل‌های SSIM سعی شده است که راهکار مناسبی برای مقابله با پدیده آبستتگی ارائه شود. با توجه به نتایج، استفاده از صفحات غیرمستغرق با آرایش‌های مکانی متفاوت، روشی مناسب برای کنترل پدیده آبستتگی است.

۲- ابعاد و محل قرارگیری این صفحات روی پایه از پارامترهای مهم در کاهش آبستتگی است، طوری که بین دو حالت بررسی شده مدل دوم (صفحات غیرمستغرق پنج صفحه‌ای) عملکرد بهتری را به لحاظ آبستتگی و ناحیه رسوب از خود نشان داد.

۳- با تغییر مکان پایه استوانه‌ای در محدوده رسوب‌گذاری صفحات غیرمستغرق، عمق آبستتگی پایه استوانه‌ای کاهش چشمگیری دارد.

۴- نرم افزار SSIM یک نرم‌افزار سه‌بعدی است و توانایی مدل کردن توسعه عمق حفره آبستتگی در حالت وابسته به زمان را دارد. این نرم‌افزار می‌تواند گزینه مناسبی برای محاسبات رسوب و عمق آبستتگی اطراف پایه پل باشد.

### ۶- مراجع

۱. مصباحی، م. ۱۳۸۸. مقایسه روابط پیشنهادشده برای حداکثر عمق آبستتگی پایه‌های پل با استفاده از داده‌های صحرائی، اولین همایش منطقه‌ای مهندسی عمران واحد خمینی‌شهر، ۱-۲.
۲. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۸۱. معاونت امور فنی، راهنمای تعیین عمق فرسایش و روش‌های مقابله با آن در محدوده پایه‌های پل، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه شماره ۲۶۰
۳. طهماسبی بیرگانی، ی. ۱۳۸۵. مقایسه روش‌های محاسبه آبستتگی در پایه پل‌ها با بکارگیری داده‌های اندازه‌گیری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴. عباس‌نیا، ا.ح. ۱۳۸۴، مدل کامپیوتری آبشستگی اطراف پایه پل با کاربرد روش‌های دقیق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۵. خدائیان، س. ر. و ک. اسماعیلی، ۱۳۸۸. بررسی عملکرد طوق و شکاف در کاهش آبشستگی پایه پل، دانشگاه فردوسی مشهد و شرکت آب منطقه‌ای خراسان کمیته تحقیقات.
۶. ارونقی، ه و د. فرسادی زاده. ۱۳۸۸. تعیین ابعاد مناسب طوق مستطیلی در کاهش آبشستگی پایه پل، مجله دانش آب و خاک، جلد ۱۹ شماره ۱، ۵۲-۵۴.
۷. صمیمی، ت. و غ.ع. بارانی، ۱۳۸۵، بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مستغرق بر آب شستگی پایه پل‌ها، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، ۱-۲.
۸. عزیزیان، ا. و ا. امیری تکلدانی، ۱۳۸۹، ارزیابی آبشستگی پایه پل‌ها با استفاده از مدل عددی HEC-RAS4.0 و نتایج آزمایشگاهی، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.
۹. رستم‌آبادی، م. و ع.ا. صالحی نیشابوری. ۱۳۸۷. شبیه‌سازی الگوی جریان حول یک صفحه مستغرق در کانال مستطیلی، چهاردهمین کنفرانس سراسری دانشجویان مهندسی عمران.
10. D. Motta, R. Pacheco, R. Telò. 2007. "Advanced numerical modeling of the scouring process around the piers of a bridge".
11. T.A. Heinrichs, D.E. Langley, R.L. Burrows, and J.S. Conaway. 2006. Hydraulic Survey and Scour Assessment of Bridge 524, Tanana River at Big Delta, Alaska Scientific".
12. D. E. Langley. 2006. Calculation of Scour Depth at the Parks Highway Bridge on the Tanana River at Nenana, Alaska, Using One- and Two-Dimensional Hydraulic Models.
۱۳. اسماعیلی، ت. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی عددی هیدرولیکی- هندسی آبشستگی در پایه پل‌های بتنی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران جنوب.
14. N. Reidar B. Olsen. 2011. A Three-Dimensional Numerical Model for Simulation of Sediment movements In Water Intakes with Multi block Option» version 1 & 2.
15. Y. Michael, R. Tilaye. 2010. Numerical Modeling for Settling Basin Design.
16. Md. F. Mia, H. Nago. 2003. Design Method of Time- Dependent Local Scour at Circular Bridge Pie