

مقاله علمی-پژوهشی

مقایسه‌ی آرایش‌های مثلثی و خطی آبشکن‌های محافظ نفوذپذیر

در کنترل آبستگي تکیه‌گاه پل

سجاد مجتهدی^۱، سعید عباسی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۵

چکیده

پل‌ها برای برقراری راه‌های ارتباطی اهمیت بالایی دارند و همه ساله پل‌های زیادی به علت آبستگي اطراف تکیه‌گاه تخریب می‌شوند. آبشکن‌ها سازه‌های هیدرولیکی هستند که با انحراف خطوط جریان از سازه‌های ساحلی، فرسایش را کاهش می‌دهند. در این مقاله یک آرایش مثلثی برای آبشکن‌های نفوذپذیر پیشنهاد شده و عملکرد آن با آبشکن‌های خطی در کنترل آبستگي تکیه‌گاه به صورت عددی بررسی و مقایسه شده است. برای امکان مقایسه‌ی صحیح، نسبت نفوذپذیری و فاصله‌ی استقرار هر دو آرایش مثلثی و خطی یکسان فرض شد. همچنین به جهت تناسب، طول و فواصل آبشکن‌های مثلثی و خطی در جهت عرض و طول کانال یکسان فرض شد. نتایج نشان می‌دهد که آرایش خطی سری سه تایی دو ستونه نسبت به آرایش مثلثی مشابه، عملکرد بهتر و آرایش خطی سری چهار و پنج تایی دو ستونه نسبت به آرایش مثلثی مشابه عملکرد بدتری دارد. همچنین در میان تمامی مدل‌ها، آرایش مثلثی معادل دو سری پنج‌تایی بهینه‌ترین بوده و به میزان ۴۴ درصد عمق آبستگي را نسبت به حالت شاهد (تکیه‌گاه بدون آبشکن محافظ) کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آبستگي موضعی، آبشکن محافظ، الگوی جریان، تکیه‌گاه، رسوب گذاری

مقدمه

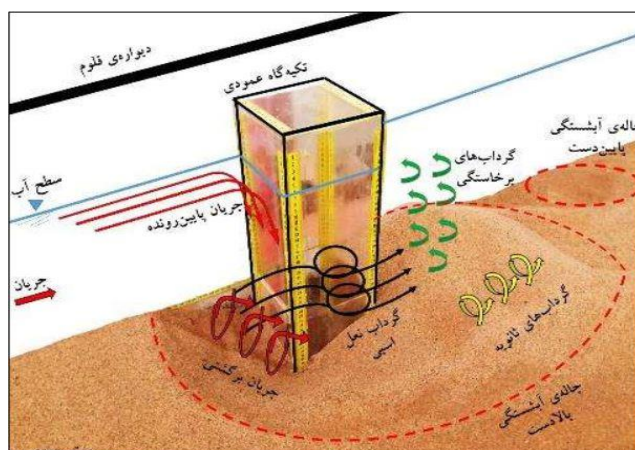
جهات تولید می‌شود که سبب جداشدن دانه‌ها از بستر و آبستگي موضعی می‌شود. این نوع آبستگي به دلیل پیچیده بودن جریان‌های ایجاد شده دارای اهمیت زیادی می‌باشد. اگر آبستگي عمومی در مسیر رودخانه وجود داشته باشد، آن هم به آبستگي حاصل از احداث پل اضافه می‌شود (معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، نشریه شماره ۵۴۹، ۱۳۹۰). مطالعات انجام شده از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰ بر روی ۵۰۳ پل تخریب شده در ایالات متحده نشان داد که دلیل اصلی شکست پل‌ها، آبستگي موضعی زیر پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل است (Wardhana and Hadipriono., 2003). همچنین داده‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که آبستگي اطراف تکیه‌گاه پل مشکلات بیشتری در مقایسه با آبستگي اطراف پایه ایجاد می‌کند (Hong and Abid., 2019). شکل (۱) الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه را نشان می‌دهد:

اداره بزرگراه‌های ایالات متحده در سال ۱۹۷۳ به این نتیجه رسید که از ۳۸۳ خرابی پل، ۲۵٪ در نتیجه‌ی آسیب پایه و ۷۲٪ به دلیل آسیب تکیه‌گاه بود (Hong and Abid., 2019). به منظور کاهش میزان آبستگي و مهار آن معمولاً از دو روش کلی استفاده می‌شود.

آبستگي سبب جابجایی ذرات بستر توسط جریان آب می‌شود (Sirtasy et al., 2023). آبستگي ممکن است در نتیجه‌ی تغییرات طبیعی جریان یا فعالیت‌های انسانی اتفاق افتد. به طور کلی آبستگي در اثر اندرکنش نیروهای محرک ناشی از جریان و نیروهای مقاوم در برابر حرکت که ناشی از اصطکاک ذرات و وزن ذره می‌باشد، اتفاق می‌افتد. هر عاملی که سبب افزایش نیروی محرک و کاهش نیروی مقاوم شود، سبب افزایش میزان آبستگي می‌گردد. در محل احداث پل‌ها به منظور کوتاه کردن طول پل، مقطع پل کم‌تر از مقطع رودخانه در نظر گرفته می‌شود که سبب افزایش سرعت جریان و تنش برشی در بستر شده و موجب آبستگي می‌شود (معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، نشریه‌ی شماره‌ی ۵۴۹، ۱۳۹۰) همچنین به دلیل وجود پایه و تکیه‌گاه، گردابه‌هایی در تمامی

۱- کارشناس ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
(*نویسنده‌ی مسئول: Email: Abbasi.Saeed@znu.ac.ir)



شکل ۱- الگوی جریان و فرایند آبخستگی اطراف تکیه‌گاه (Khajavi et al., 2022)

تکیه‌گاه به میزان ۴۷، ۳۲ و ۱۱ درصد به ترتیب به ازای استفاده از آبخکن‌هایی با نفوذپذیری ۳۵، ۵۰ و ۶۵ درصد کاهش یافته است (Hakim et al., 2022). سیرتازی و همکاران^۸ تأثیر آبخکن‌ها بر کنترل آبخستگی تکیه‌گاه را بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که آبخکن‌ها تأثیر قابل قبولی در کنترل آبخستگی دماغه‌ی تکیه‌گاه دارند و با افزایش عدد فرود، عمق آبخستگی نسبی افزایش می‌یابد (Sirtasy et al., 2023). بهاتیا و ستیا^۹ پژوهشی را بر روی تأثیر آبخکن در بالادست تکیه‌گاه بر کنترل آبخستگی انجام دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که آبخکن‌های محافظ تا ۴۱ درصد آبخستگی اطراف تکیه‌گاه‌های نیم دایره‌ای و تا حدود ۷۱ درصد آبخستگی تکیه‌گاه‌های عمودی را کاهش می‌دهند (Bhatia and Setia., 2021). ناظری و امامقلی زاده (۱۴۰۰) اثر آبخکن سرسپری متقارن بر میزان آبخستگی تکیه‌گاه پل در کانال مرکب را بررسی کردند، نتایج آن‌ها نشان داد که آبخکن سرسپری به طور متوسط، ۷۵ درصد آبخستگی در تکیه‌گاه را کاهش می‌دهد. این نوع آبخکن در بهترین حالت از نظر ابعاد و فاصله، آبخستگی در تکیه‌گاه را ۹۱ درصد کاهش داد. کارایی آبخکن سرسپری در کاهش آبخستگی تکیه‌گاه با طول جان و طول بال، معادله‌ی مستقیم و با فاصله‌ی آن از تکیه‌گاه، معادله‌ی معکوس داشت. امامقلی زاده و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر اشکال مختلف آبخکن بر آبخستگی تکیه‌گاه را بررسی کردند، نتایج آن‌ها نشان داد که آبخکن‌های ساده، T شکل، L شکل با زبانه پایین‌دست و L شکل با زبانه بالادست عمق آبخستگی تکیه‌گاه را به ترتیب ۸۰، ۹۳، ۹۶ و ۷۸ درصد کاهش می‌دهند. ناظری و همکاران (۱۳۹۹) اثر آبخکن ساده بر آبخستگی موضعی در اطراف تکیه‌گاه پل را بررسی کردند، نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که آبخکن محافظ

در روش اول پایداری بستر با استفاده از راهکارهایی چون سنگچین^۱، تشک حفاظتی^۲ و قطعات بتنی پیش ساخته تقویت و در روش دوم الگوی جریان اطراف تکیه‌گاه پل با تغییر در هندسه‌ی تکیه‌گاه و ایجاد موانع در مسیر جریان، مانند استفاده از آبخکن^۳ محافظ، طوقه^۴، صفحات مستغرق^۵ و گروه شمع، تغییر داده می‌شود (محمدپور و شفاعی بجستان، ۱۳۹۴). با توجه به کم بودن پژوهش‌ها در حوزه‌ی روش‌های اصلاح الگوی جریان و همچنین پرکاربرد بودن این روش‌ها به دلیل صرفه‌ی اقتصادی، تمرکز مقاله‌ی حاضر بر مطالعه بر روی این روش قرار گرفته است. یکی از سازه‌های متداول که با تغییر جهت جریان از کرانه‌ی ساحل و سازه‌های ساحلی حفاظت می‌کند، آبخکن می‌باشد (Choufu et al., 2019). آبخکن‌ها به موارد مختلفی بر اساس میزان نفوذپذیری، مستغرق یا غیر مستغرق بودن، زاویه‌ی استقرار و شکل آبخکن و موارد دیگر تقسیم‌بندی می‌شوند. کارایی و اثر بخشی هر کدام از روش‌های ذکر شده در پژوهش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. خواجوی و همکاران^۶ پژوهشی را در مورد حفاظت از تکیه‌گاه در برابر آبخستگی در شرایط جریان پایدار و ناپایدار انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که آبخکن نفوذ ناپذیر قادر است در دو فاصله‌ی 2L و 3L آبخستگی را برای هر دو شرایط جریان دائمی و غیردائمی حذف کند (Khajavi et al., 2022). حکیم و همکاران^۷ تأثیر آبخکن‌هایی با درصدهای نفوذپذیری مختلف را بر آبخستگی تکیه‌گاه پل در شرایط جریان ناپایدار بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که حداکثر عمق آبخستگی اطراف

- 1- Riprap
- 2- Cable Tied Block
- 3- Spur dike
- 4- Collar
- 5- Submerged vanes
- 6- Khajavi et al.
- 7- Hakim et al.

8- Sirtasy et al.

9- Bhatia and Setia.

استفاده می‌کند. رابطه‌ی (۱)، معادله‌ی پیوستگی و رابطه‌ی (۲) معادله‌ی حجم جریان را نشان می‌دهد. روابط (۳) تا (۵) نیز معادلات مومنوم در مختصات کارتزین را نشان می‌دهند. نرم افزار با حل عددی معادلات دیفرانسیل با روش حجم محدود این معادلات را آنالیز می‌کند.

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) = R_{SOR} \quad (1)$$

$$V_F \frac{\partial F}{\partial t} + \nabla \cdot (AUF) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \xi \frac{A_y v^2}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + G_x + f_x \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \xi \frac{A_y u v}{x V_F} = -\frac{R}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} + G_y + f_y \quad (4)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + G_z + f_z \quad (5)$$

که در این معادلات V_F مقدار نسبت حجم باز به جریان، ρ دانسیته‌ی سیال، (u, v, w) سرعت در راستای (x, y, z) و R_{SOR} تابع چشمه می‌باشد. (A_x, A_y, A_z) مقادیر نسبت مساحت، (G_x, G_y, G_z) شتاب ثقل، (f_x, f_y, f_z) شتاب‌های لزجت (b_x, b_y, b_z) افت‌های جریان در محیط متخلخل به ترتیب در جهات (x, y, z) می‌باشند. در رابطه‌ی (۲)، A متوسط مساحت جریان، U متوسط سرعت جریان در جهات (x, y, z) و F تابع حجم سیال می‌باشد. بخش آخر از معادلات (۳) تا (۵) مقدار پاشش جرم^۱ در سرعت صفر را نشان می‌دهد. در نرم افزار FLOW-3D از دو روش عددی برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود که عبارتند از روش حجم سیال^۲ VOF که برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد و روش کسر مساحت-حجم مانع یا FAVOR^۳ که برنامه از این روش برای مدل‌سازی سطوح و احجام صلب مانند مرزهای هندسی استفاده می‌کند. برای محاسبات بخش رسوبی، بار معلق و بار بستر به طور جداگانه محاسبه می‌شود. بار رسوبی معلق توسط حل معادله‌ی انتقال-انتشار مطابق رابطه‌ی (۶)

آبشستگی در تکیه‌گاه را تا ۹۴ درصد کاهش می‌دهد. همچنین کارایی آبشکن با طول آن رابطه مستقیم و با فاصله آن از تکیه‌گاه رابطه معکوس دارد. اژدری و همکاران (۱۳۹۶) به مطالعه‌ی تأثیر قرارگیری آبشکن سرسپری نامتقارن بر آبشستگی تکیه‌گاه پل واقع در دشت سیلابی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که آبشکن سرسپری نامتقارن به میزان قابل توجهی میزان آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه را کاهش می‌دهد. سعادت‌نیا و همکاران (۱۳۹۷) با انجام آزمایش‌هایی تأثیر زاویه‌ی قرارگیری آبشکن ساده بر کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که آبشکن با زاویه‌ی ۹۰° بیش‌ترین کارایی را در کاهش آبشستگی دارد. ملکی و عباسی (۱۳۹۷) تأثیر استقرار آبشکن‌های نفوذپذیر با آرایش شعاعی دافع بر حداکثر نرخ آبشستگی موضعی دماغه و مقایسه‌ی آن با آرایش مستقیم را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که آرایش شعاعی با استهلاک بیشتر انرژی ناشی از گردابه‌ها عملکرد بهتری داشته و عمق آبشستگی موضعی کم‌تری دارد، بنابراین ضریب پایداری آن بیشتر است. زمردیان و همکاران (۱۳۹۷) مقایسه‌ای را میان دو آرایش مثلثی و خطی شمع‌های فداشونده مستغرق بر عمق آبشستگی اطراف پایه پل استوانه‌ای انجام دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که با افزایش نسبت L/y در هر دو آرایش مثلثی و خطی، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که در آرایش مثلثی در نسبت L/y برابر ۰/۸ بیشترین کاهش در عمق آبشستگی به میزان ۴۴/۶ درصد مشاهده شد که این کاهش عمق در آرایش خطی در نسبت L/y برابر یک به میزان ۳۰/۸ درصد می‌باشد. همچنین شمع‌های فداشونده غیر مستغرق تأثیر بیشتری در کاهش آبشستگی نسبت به شمع‌های مستغرق نشان دادند که این میزان کاهش در آرایش مثلثی بیشتر و به میزان ۴۹/۲ درصد مشاهده شد. نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان می‌دهد که به طور کلی استقرار آبشکن‌های محافظ در بالادست، سبب کاهش عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه می‌شود. همچنین آبشکن‌های نفوذناپذیر در مقایسه با آبشکن‌های نفوذپذیر در کنترل آبشستگی عملکرد بهتری داشته ولی پایداری خود آبشکن بیشتر در معرض تهدید است. با توجه به کم بودن مطالعات در حوزه آبشکن‌های نفوذپذیر، در این مقاله برای نخستین بار پیشنهاد آرایش مثلثی و مقایسه‌ی آن با آرایش خطی در کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل ارائه می‌گردد. در این مقاله برای شبیه‌سازی مسئله از FLOW-3D استفاده شد و صحت شبیه‌سازی‌های عددی با نتایج آزمایشگاهی سایر پژوهشگران بررسی شد.

معادلات حاکم

معادلات حرکت سیال شامل معادلات پیوستگی و مومنوم است که FLOW-3D از حل آن‌ها برای محاسبات هیدرولیکی جریان

1- Mass injection

2- Volume of Fluid

3- Fractional Area-Volume Obstacle Representation

بدست می‌آید.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U_i \frac{\partial c}{\partial x_i} + W_s \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma \frac{\partial c}{\partial x_i} \right) \quad (۶)$$

که در آن U_i میانگین سرعت رینولدز جریان، W_s سرعت سقوط ذرات رسوبی، x بعد فضای عمومی، z اندازه در جهت عمودی و Γ ضریب اغتشاش می‌باشد. ضریب اغتشاش برابر با ویسکوزیته‌ی جریان گردابی است که از مدل‌های آشفتنی مختلف قابل محاسبه است. به منظور محاسبه‌ی بار بستر، FLOW-3D دو مدل جدید مبتنی بر "رابطه نیلسن"^۱ و "رابطه ون راین"^۲ را به مدل قبلی خود که "رابطه مایر پیتر و مولر"^۳ بود، اضافه کرده است. در این مقاله برای محاسبه بار بستر از مدل ون-راین طبق رابطه‌ی (۷) استفاده شد (Van Rijn, 1987).

$$q_b / \left(d^{1.5} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} g} \right) = 0.053 * \left(\frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right)^{1.5} / d^{0.3} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w g^2} \right)^{0.1} \quad (۷)$$

که در آن d قطر ذرات رسوبی، τ تنش برشی بستر، τ_c تنش برشی بحرانی برای حرکت ذرات رسوبی بر اساس دیاگرام شیلدز، ρ_w و ρ_s به ترتیب، چگالی ذرات رسوبی و چگالی آب، v ویسکوزیته‌ی سینماتیکی آب و g شتاب گرانش و q_b نشان دهنده‌ی بار بستر ذرات رسوبی می‌باشد.

صحت‌سنجی

ژانگ و همکاران در آزمایشگاه دانشگاه کیوتو ژاپن، یک کانال مستطیلی به طول هشت متر، عرض و ارتفاع ۰/۴ متر و یک مخزن ورودی به طول ۱/۵ متر را از جنس شیشه ساختند. در کانال یک آبشکن غیرمستغرق و غیرقابل نفوذ از جنس چوب، به طول ۱۰ سانتی متر و ضخامت ۱ سانتی متر، عمود بر جریان نصب کردند و عمق جریان ورودی را نیز در ۵ سانتی متر ثابت نگه داشتند. آن‌ها فلوم را با رسوبات یکسان با ضخامت ۰/۲ متر و با میانگین قطر دانه‌ی ۱/۴۵ میلی متر و با چگالی نسبی ۱/۹ پوشاندند و تغییرات پروفیل بستر را با یک متر لیزری دقیق (Model LK-500, Keyence co., Ltd.) اندازه‌گیری نمودند. جزئیات شرایط آزمایشگاهی در جدول ۱ و نتایج برخی آزمایشات آن‌ها (بخش استفاده شده برای سنجش مدل عددی مطالعه‌ی حاضر) در جدول ۲ آورده شده است (Zhang et al., 2009).

- 1- Nielsen Equation
- 2- Van Rijn Equation
- 3- Meyer-Peter & Muller equation
- 4- Zhang et al.

برای صحت‌سنجی مدل عددی، پارامترهای فوق به FLOW-3D معرفی گردید و از مدل آشفتنی $k-\epsilon$ استفاده شد. واحدها در سیستم SI دما بر حسب درجه سلسیوس، آب به عنوان سیال غیرقابل تراکم و شتاب گرانش برابر ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته شد.

شرایط مرزی و اولیه مدل صحت‌سنجی

در مرز ورودی از شرط مرزی "دبی ثابت" با دبی ۰/۰۰۵۷ مترمکعب بر ثانیه و در طرفین و کف کانال از شرایط مرزی "دیوار" و در مرز فوقانی و مرز خروجی از شرایط "فشار مشخصه" استفاده گردید. فاصله‌ی ۲/۵ تا ۶/۵ متری فلوم آزمایشگاهی در نرم افزار مدل سازی گردید. به منظور رسیدن به توسعه یافتگی پروفیل جریان آب ۱/۵ متر اول کانال به صورت فرسایش ناپذیر در نظر گرفته شد و آبشکن در فاصله‌ی ۲ متری از ابتدای کانال قرار داده شده است. در شبکه بندی مدل به جهت افزایش دقت در محدوده‌های نزدیک به آبشکن، مش‌ها ریزتر و در سایر محدوده‌ها، مش‌ها بزرگ‌تر انتخاب گردید. ابعاد مش‌ها در راستاهای x و z (به ترتیب عرض و ارتفاع کانال) به دلیل ابعاد کوچک کانال به اندازه ۱ سانتی متر انتخاب شدند و در جهت y (طول کانال) به دلیل بزرگ‌تر بودن ابعاد از مش پلان‌ها که ابزاری برای افزایش یا کاهش تدریجی اندازه مش‌ها هستند استفاده گردید. بر این اساس در راستای طول کانال از ابتدا تا ۱/۵ متری بعد مش‌ها ۲ سانتی متر، از ۱/۵ تا ۲/۵ متری بعد مش‌ها ۱ سانتی متر و از ۲/۵ تا ۴ متری انتهای کانال بعد مش‌ها ۲ سانتی متر منظور گردید. تعداد کل مش‌ها ۳۰۰۰۰۰ می‌باشد.

مقایسه‌ی نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی برای صحت‌سنجی

همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، مورفولوژی عمومی کف کانال و موقعیت حداکثر عمق آبشستگی و حداکثر ارتفاع پشته‌ی رسوبی در مدل‌های عددی و آزمایشگاهی، تطابق خوبی داشته است. مقایسه‌ی عمق ماکزیمم چاله‌ی آبشستگی در مدل آزمایشگاهی و مقدار نظیر آن در مدل عددی در جدول ۲ نشان داده شده است که می‌توان نتیجه گرفت که شبیه سازی فرآیند آبشستگی با FLOW-3D قابل پذیرش است.

مواد و روش‌ها

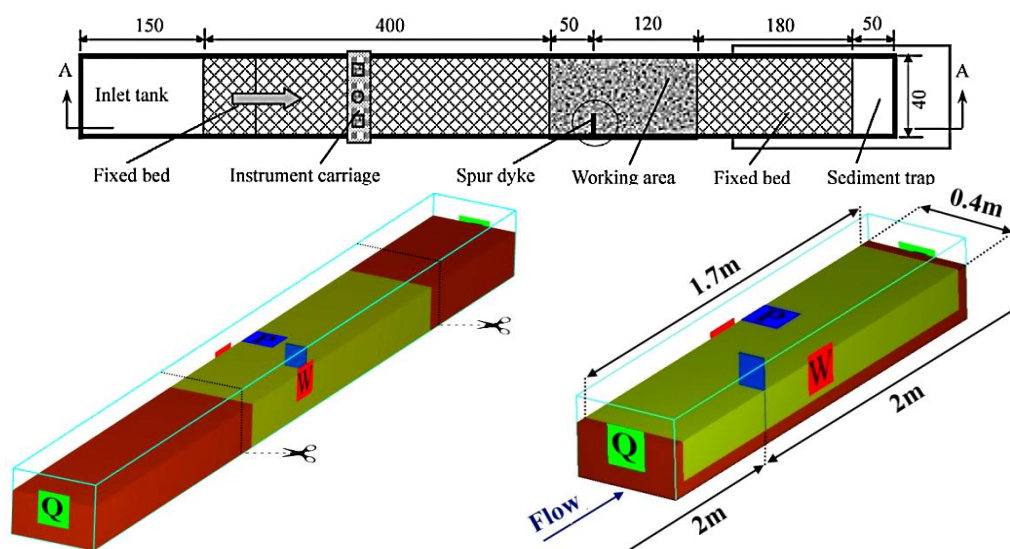
آبشکن‌های نفوذپذیر با آرایش مثلثی در فاصله‌ی ۲/۵B (B: طول تکیه‌گاه) و با نفوذپذیری ۵۰٪ در بالادست تکیه‌گاه مستقر شدند. برای مقایسه‌ی صحیح آبشکن‌ها با آرایش مثلثی در سه سری پنج و هفت و نه تایی و آبشکن‌های با آرایش خطی در دو ستون سه و چهار و پنج تایی (مجموعاً دارای شش، هشت و ده پایه) با قاعده‌ی مساوی با

سازی تا زمان ۲۰۰۰ ثانیه انجام گرفت (شکل ۵). در انتهای شبیه سازی دیده می‌شود که تغییرات عمق آبشستگی بسیار کم است و تقریباً می‌توان فرض کرد که فرآیند آبشستگی به تعادل رسیده است.

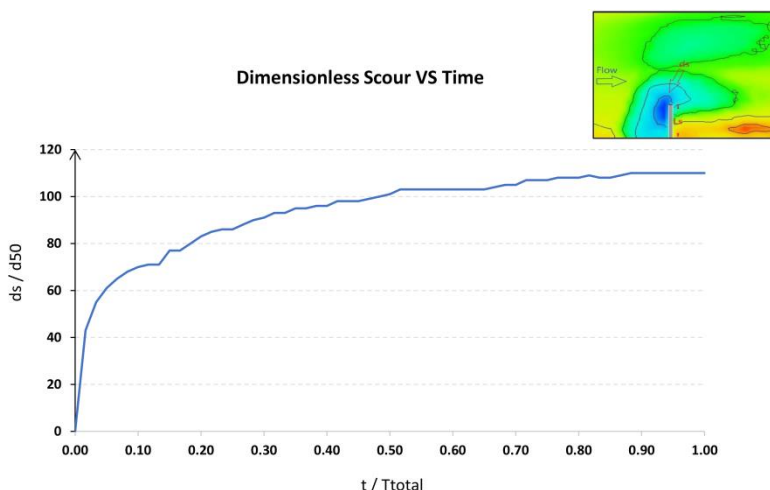
آرایش مثلثی و با زاویه‌ی ۹۰ درجه نسبت به دیواره کانال قرار گرفتند. برای اطمینان از نتایج شبیه‌سازی، مدل‌ها در زمان تعادل آبشستگی با یک‌دیگر مقایسه شدند تا بتوان از نتایج شبیه‌سازی‌ها اطمینان حاصل کرد. بر همین اساس یک مدل به صورت تصادفی انتخاب و شبیه

جدول ۱- پارامترهای مدل آزمایشگاهی (Zhang et al., 2009)

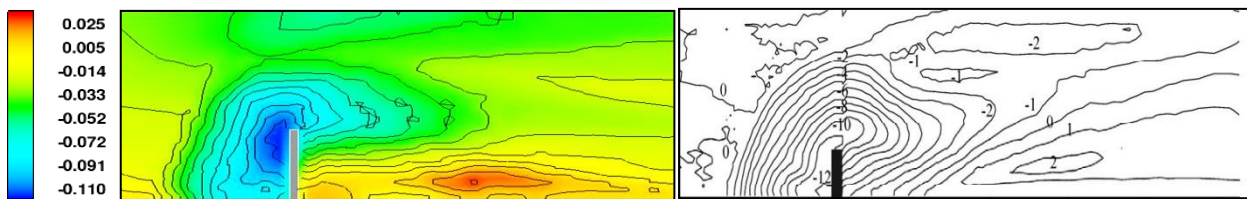
دبی	$0.0057 \text{ m}^3/\text{s}$	قطر میانگین رسوبات	0.00145 m
شیب کانال	$1/1000$	وزن مخصوص نسبی رسوبات	$1/9$
عمق جریان	0.05 m	سرعت جریان	0.29 m/s
طول آبشکن	0.1 m	عدد رینولدز	۱۴۲۵۰
ضخامت آبشکن	0.01 m	عدد فرود	0.41



شکل ۲- بالا) پلان مدل آزمایشگاهی (Zhang et al., 2009) پایین) نمای سه بعدی و شرایط مرزی عددی (عکس برش خورده است)



شکل ۳- روند تغییرات آبشستگی نسبت به زمان در مدل‌سازی عددی برای صحت سنجی



شکل ۴- تغییرات بستر رسوبی پس از فرآیند آبخستگی در مدل آزمایشگاهی (راست) و مدل عددی (چپ)

جدول ۲- عمق آبخستگی در مدل آزمایشگاهی و عددی و درصد خطا

درصد خطا	نتایج مدل عددی	نتایج آزمایشگاهی (Zhang et al., 2009)
۸/۳۳٪	۱۱ cm	۱۲ cm

(Habibi et al., 2023) (رابطه‌ی ۸).

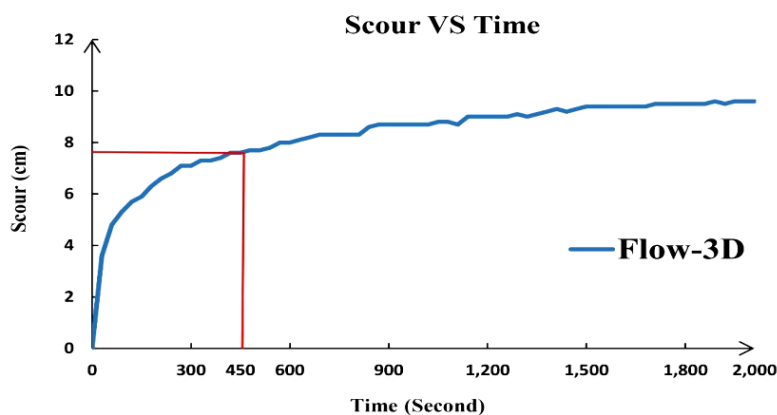
$$L_{turbulent} = 10D_h \rightarrow D_h = \frac{4ab}{2a+b} \quad (۸)$$

در معادله‌ی فوق a عمق آب و b عرض کانال می‌باشد. در جداول ۳ و ۴ به ترتیب مشخصات آبشکن‌ها و شرایط هیدرولیکی جریان در مدل‌سازی ارائه شده است. همچنین در شکل ۵ شماتیک استقرار آبشکن‌های با آرایش مثلثی و خطی نشان داده شده است.

داده‌های ورودی به نرم‌افزار شامل اطلاعات مربوط به فیزیک مسئله، هندسه‌ی مدل، شبکه‌بندی و شرایط مرزی می‌باشد. بزرگترین سایز المان شبکه سه سانتی‌متر و کوچک‌ترین شبکه برابر یک سانتی‌متر انتخاب گردید. برای شرایط مرزی در مدل‌سازی حاضر راستای x در جهت عرضی، راستای y در جهت طولی و راستای z در جهت ارتفاع منظور گردید. برای مرز ورودی کانال از شرایط دبی مشخص، مرز خروجی کانال شرایط فشار مشخص، مرز دیواره‌ها و کف کانال از شرایط مرزی دیوار و برای مرز فوقانی کانال نیز از شرایط فشار مشخص استفاده گردید. شکل ۶ نمایی از جزئیات استقرار آبشکن‌های محافظ را نشان می‌دهد.

همچنین این شبیه‌سازی نشان داد که عمده‌ی آبخستگی در زمان‌های نخستین اتفاق می‌افتد که در پژوهش‌های پیشین نیز این مطلب به تأیید رسیده است. به دلیل طولانی بودن زمان شبیه‌سازی و به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌ی زمانی مدل‌سازی، مدت زمانی که در آن عمق آبخستگی به ۸۰٪ میزان آبخستگی حالت تعادلی برسد، ملاک شبیه‌سازی دیگر مدل‌ها قرار گرفت. با این ملاک مدت زمان شبیه‌سازی برای سایر مدل‌ها برابر ۴۵۰ ثانیه انتخاب و فرض شد که در این زمان عمق آبخستگی برابر با ۸۰٪ عمق آبخستگی نهایی باشد.

کانال شبیه‌سازی شده در FLOW-3D دارای طول ۴/۵ متر، عرض ۰/۹ متر و ارتفاع ۰/۴ متر است که ۱/۷ متر از منطقه‌ی میانی آن متشکل از رسوباتی به قطر یک میلی‌متر با چگالی ۱۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. در فاصله‌ی ۲/۴ متری از ابتدای کانال تکیه‌گاهی به شکل مکعب مربع با ضلع $B=۰/۱۸ m$ مستقر شده است. آبشکن‌های محافظ نیز در فاصله‌ی $۲/۵B$ در بالادست آن استقرار می‌یابند. برای رسیدن جریان به حالت توسعه یافته‌ی کامل و کاهش تلاطم جریان، دو متر از ورودی کانال بر مبنای فرمول ارائه شده حبیبی و همکاران به صورت فرسایش ناپذیر فرض شده است



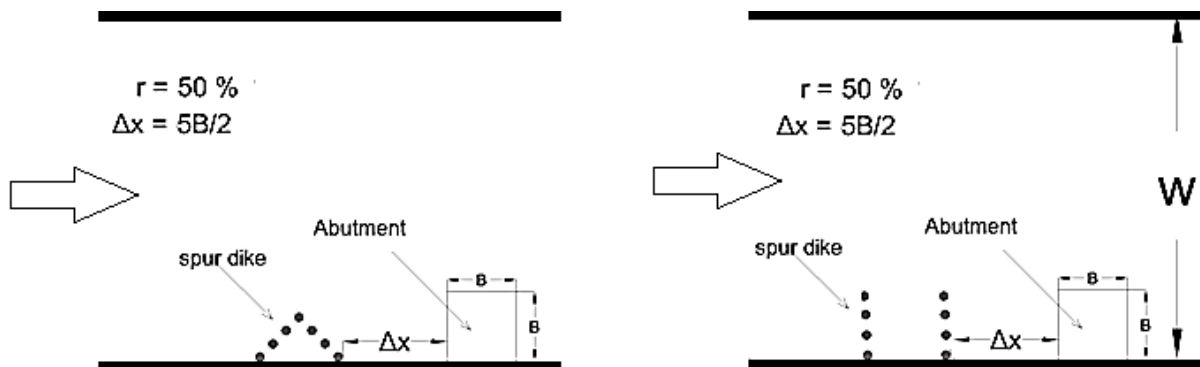
شکل ۵- روند تغییرات آبخستگی نسبت به زمان در مدل‌سازی عددی

جدول ۳- پارامترهای هندسی آبشکن‌های محافظ با آرایش مثلثی و خطی

پارامتر	نماد	آرایش خطی	آرایش مثلثی
قطر آبشکن (میله‌ها)	d (mm)	۲۴	۲۴
تعداد آبشکن	n	۲ × (۳, ۴, ۵)	۵, ۷, ۹
زاویه‌ی قرارگیری نسبت به جریان	Θ (deg)	90°	45°
فاصله میان آبشکن‌ها (میله‌ها)	Sd (mm)	۲۴	۲۴
فاصله آبشکن تا تکیه‌گاه پل	Δx (mm)	۲/۵B (طول تکیه‌گاه: B)	
درصد اشغال از عرض	K = L _s /B (%)	آرایش ۳ تایی	آرایش ۵ تایی
		آرایش ۴ تایی	آرایش ۷ تایی
		آرایش ۵ تایی	آرایش ۹ تایی
		۱۳/۳۳ %	۱۰/۳۳ %
		۱۸/۶۶ %	۲۶/۰۳ %
		۲۴ %	۱۷/۸۱ %

جدول ۴- پارامترهای شرایط هیدرولیکی جریان و مشخصات رسوبات

پارامتر	شرح	مقدار
Q (m ³ /s)	دبی	۰/۰۱۲
y (m)	عمق	۰/۰۵
V (m/s)	سرعت	۰/۲۶
Fr	عدد فرود	۰/۰۳۷
Re	عدد رینولدز	۵۲۰۰۰
Ds (mm)	قطر رسوبات	۰/۰۰۱
Ps (kg/m ³)	چگالی رسوبات	۱۸۰۰



شکل ۶- نمونه آبشکن‌های محافظ نفوذپذیر با آرایش خطی دو ستونه ۲×۵ ستونی (راست) و آرایش مثلثی ۹ ستونی (چپ)

آنالیز ابعادی

با استفاده از آنالیز ابعادی رابطه میان فاکتورهای موثر بر یک پدیده در قالب بی بعد ارائه می‌شوند. پارامترهای موثر در آبشستگی دماغه‌ی تکیه‌گاه‌ها عبارت است از: هندسه‌ی کانال، هندسه‌ی تکیه‌گاه، مشخصات هیدرولیکی جریان، اندازه‌ی رسوبات و عوامل مربوط به خواص سیال که با توجه به پارامترهای ذکر شده رابطه (۹) برای حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه تعریف می‌گردد:

$$F(w, S, L, B, \phi, v, y, d_s, g, d_{50}, \rho_s, \rho, v) = 0 \quad (9)$$

که در آن w عرض کانال، S شیب طولی کانال، L طول تکیه‌گاه، B عرض تکیه‌گاه، ϕ شکل تکیه‌گاه، v سرعت متوسط جریان، y

عمق جریان، d_s عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه، g شتاب ثقل، d_{50} قطر متوسط رسوبات کف، ρ_s جرم مخصوص رسوبات بستر، ρ جرم مخصوص سیال و v لزجت سینماتیک آب می‌باشند. برای بی بعدسازی به روش باکینگهام در گام اول متغیرهای مؤثر (متغیر = n) بر پدیده آبشستگی تکیه‌گاه مشخص شده و بر اساس ابعاد اصلی (ابعاد اصلی = m) مانند: طول، زمان و جرم بازنویسی می‌شود. سپس متغیرهای تکراری به تعداد ابعاد اصلی (L, T, M) موجود در متغیرها انتخاب و در نهایت به تعداد اختلاف میان متغیرها و تعداد بعدها (n-m) معادله نوشته می‌شود. در مقاله‌ی حاضر سه فاکتور ρ, y و v به عنوان فاکتورهای تکراری انتخاب شدند و با حل معادلات

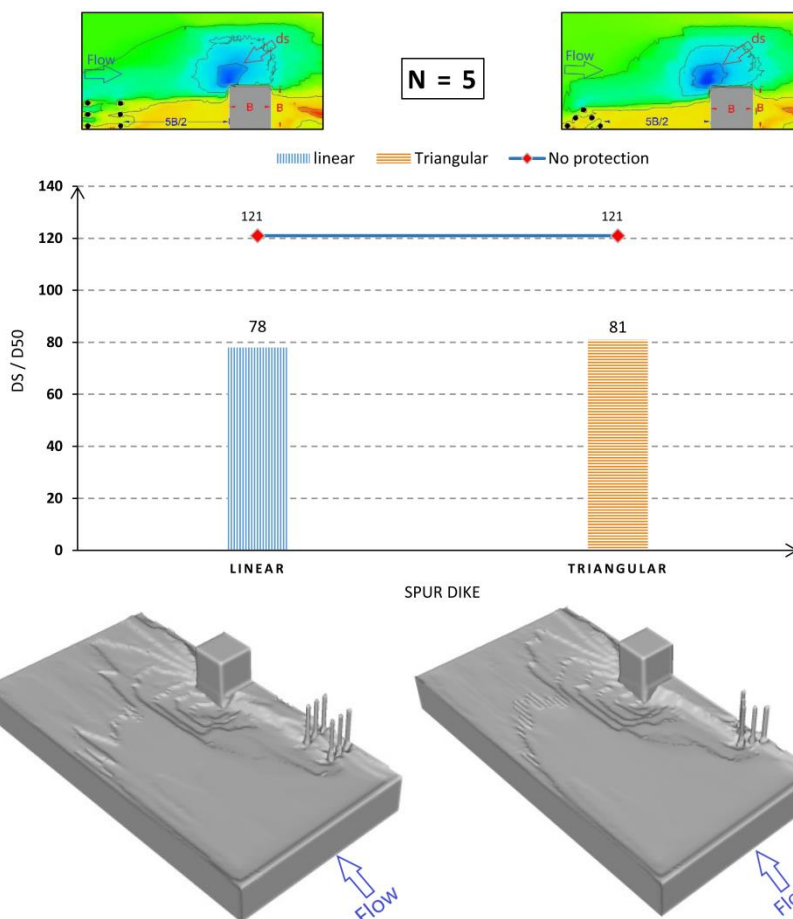
نتایج و بحث

برای امکان مقایسه‌ی صحیح، نسبت نفوذپذیری، طول آبشکن‌ها و فاصله‌ی استقرار هر دو آرایش مثلثی و خطی یکسان فرض شد. مقایسه‌ی آبشکن‌های آرایش مثلثی پنج‌تایی با آرایش خطی دو ستونه سه‌تایی:

فوق، گروه‌های بی بعد پارامترهای موثر طبق رابطه (۱۰) بدست آمدند:

$$f\left(\frac{W}{y}, S, \frac{L}{y}, \frac{B}{y}, \phi, \frac{ds}{y}, \frac{yg}{v^2}, \frac{d_{50}}{y}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{v}{vy}\right) = 0 \quad (10)$$

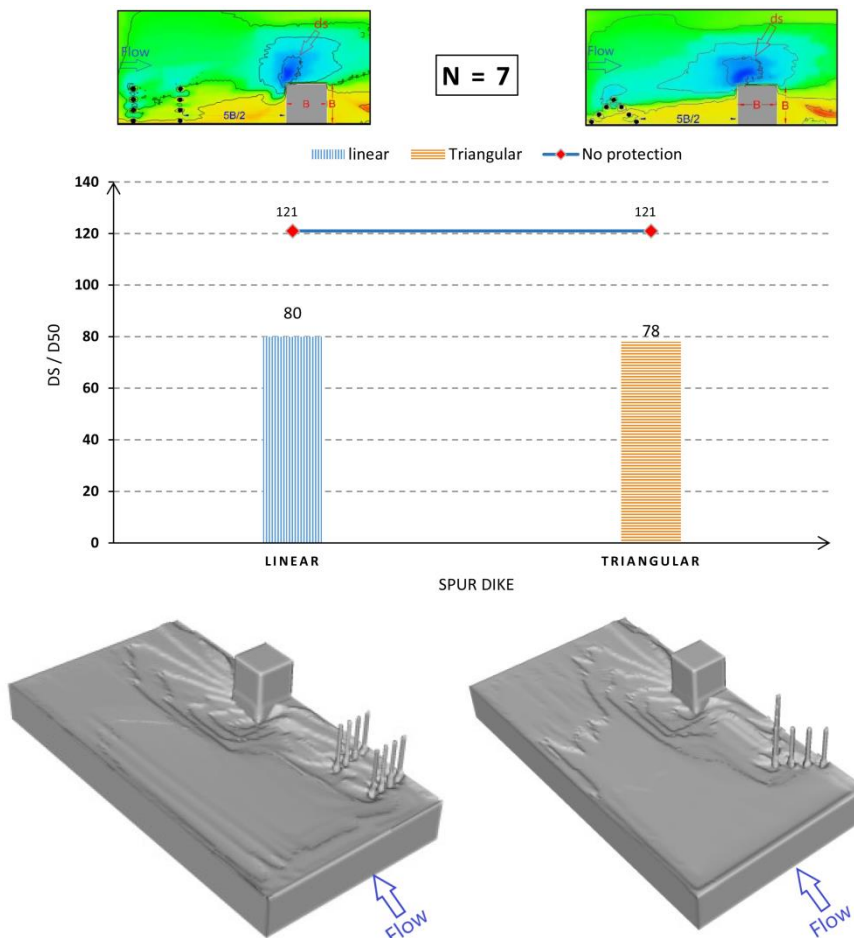
پارامترهای فوق همگی بدون بعد هستند و ضرب یا تقسیم آنها بر هم نیز بدون بعد خواهند بود.



شکل ۷- مقایسه‌ی مقادیر آبشستگی دماغه‌ی تکیه‌گاه در دو آرایش مثلثی پنج‌تایی (راست) و خطی سه‌تایی (چپ)

در آرایش مثلثی تنها یک میله این شرایط را دارد. آبشکن‌های آرایش مثلثی در مقایسه با آرایش خطی به تعداد کم تری شمع نیاز دارند، بنابراین از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه هستند. همچنین به دلیل آرایش موازی آبشکن‌های خطی و قرارگرفتن فضای خالی میان میله‌ها در مقابل هم، امکان عبور آسان‌تر خطوط جریان فراهم می‌شود و در نتیجه میزان انباشت رسوبات میان آبشکن و تکیه‌گاه نسبت به آرایش مثلثی کم‌تر می‌گردد. مقایسه‌ی آبشکن‌های آرایش مثلثی هفت‌تایی با آرایش خطی دو ستونه چهارتایی:

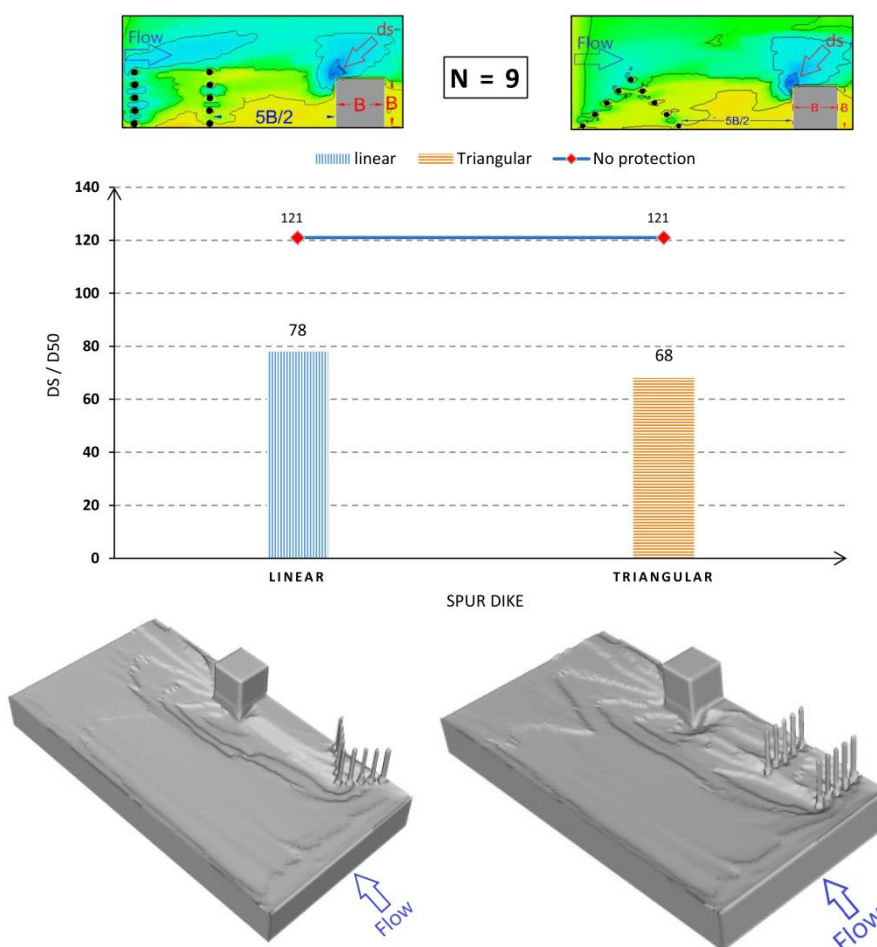
مکانیزم آبشکن‌های محافظ نفوذپذیر در کنترل آبشستگی عبارت است از تعدیل سرعت جریان و انحراف خطوط جریان از تکیه‌گاه. همانطور که ملاحظه می‌شود، آبشکن‌های آرایش خطی دو ستونه سه‌تایی عملکرد بهتری نسبت به آرایش مثلثی معادل دارد و حدود ۳۶ درصد عمق آبشستگی دماغه‌ی تکیه‌گاه را نسبت به حالت شاهد (تکیه‌گاه بدون آبشکن محافظ) کاهش می‌دهد. آبشکن‌های آرایش خطی از نظر آبشستگی راس آبشکن بیشتر در معرض تهدید هستند زیرا دو میله‌ی انتهایی در معرض شدت جریان قرار دارند، در حالی که



شکل ۸- مقایسه‌ی مقادیر آبشستگی دماغه‌ی تکیه‌گاه در دو آرایش مثلثی هفت‌تایی (راست) و خطی چهارتایی (چپ)

آبشکن‌های آرایش مثلثی در مقایسه‌ی با آبشکن‌های آرایش خطی، در حالت ۷ و ۹ میله‌ای عملکرد بهتر و در حالت ۵ میله‌ای عملکرد ضعیف‌تری دارد که خیلی چشم‌گیر نیست. دلیل بهتر بودن عملکرد آرایش مثلثی آبشکن‌های محافظ برای تعداد ۷ و ۹ میله‌ای را می‌توان در هدایت آرام خطوط جریان به نواحی دور از تکیه‌گاه و استهلاک بهتر انرژی گردابه‌ها و تعدیل سرعت در نواحی دور از دیواره‌ی کانال دانست. زیرا در آرایش مثلثی، چینش میله‌ها در رأس آبشکن به گونه‌ای است که فاصله بین میله‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه تداخل خطوط جریان با شمع‌ها بیشتر می‌شود. این پدیده با افزایش تعداد میله‌هایی که باعث انسداد بیشتر کانال می‌شود تشدید می‌شود. به طوری که عملکرد آبشکن‌های مثلثی با افزایش تعداد شمع‌ها نسبت به آبشکن‌های خطی بهبود می‌یابد همان‌طور که مشاهده می‌شود، عملکرد آبشکن‌های مثلثی و خطی با افزایش تعداد میله و در نتیجه افزایش طول، بهبود می‌یابد؛ زیرا با افزایش طول آبشکن، انقباض جریان و انحراف خطوط جریان به میانه‌ی کانال بیشتر شده و تکیه‌گاه کم‌تر در معرض شدت جریان قرار می‌گیرد.

با توجه به نمودار و تصاویر فوق ملاحظه می‌شود که بر خلاف حالت قبل (آرایش پنج‌تایی مثلثی و خطی معادل آن)، آبشکن‌های آرایش مثلثی در حالت هفت‌تایی عملکرد بهتری نسبت به آرایش خطی معادل دارند، همچنین مشخص هست که با افزایش تعداد میله‌ها و در نتیجه افزایش طول آبشکن‌ها عملکرد آن‌ها بهبود یافته است. که علت این امر می‌تواند مربوط به بهبود تأثیر آبشکن‌های محافظ در انحراف خطوط جریان و بهبود تعدیل سرعت جریان باشد. همچنین با افزایش طول آبشکن، آبشستگی رأس آبشکن نیز نسبت به حالت پنج میله‌ای مثلثی و آرایش خطی معادل آن بیشتر شده است، که پایداری آبشکن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به طور کلی به نظر می‌رسد آبشکن‌های مثلثی به دلیل آرایش نامنظمی که دارند، تشکیل جریان گردابی را مشکل کرده و امکان عبور مستقیم خطوط جریان از میان خود را نمی‌دهند و با افزایش تعداد میله‌ها در این نوع آرایش، عملکرد آن‌ها نسبت به آرایش خطی بهبود نیز می‌یابد. در حالت فوق، در بهترین حالت آبشستگی دماغه‌ی تکیه‌گاه نسبت به حالت شاهد حدود ۳۶ درصد کاهش یافته است. مقایسه‌ی آبشکن‌های آرایش مثلثی نه‌تایی با آرایش خطی دو ستونه پنج‌تایی:



شکل ۹- مقایسه‌ی مقادیر آبخستگی دماغه‌ی تکیه‌گاه در دو آرایش مثلثی نه‌تایی (راست) و خطی پنج‌تایی (چپ)

اقتصادی نیز قابل توجه است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نمودارها و جدول ۶ نتایج زیر قابل استنتاج است:

- آرایش مثلثی آبشکن‌های نفوذپذیر در حالت کلی عملکرد بهتری نسبت به آبشکن‌های خطی دارد.
- استفاده از آبشکن‌های با آرایش مثلثی به نسبت آبشکن‌های خطی اقتصادی‌تر است، چرا که تعداد میله‌ها در آرایش مثلثی یک عدد کمتر از آرایش خطی موازی است.
- برای آبشکن نفوذپذیر محافظ با آرایش مثلثی فقط آبخستگی موضعی رأس مثلث بحرانی و نیازمند بررسی است. در حالی که برای آرایش خطی، دو پایه‌ی انتهایی در شرایط بحرانی قرار دارند.
- در این پژوهش بهینه‌ترین عملکرد متعلق به آرایش مثلثی نه‌تایی است که نسبت به حالت شاهد (بدون آبشکن محافظ) ۴۴٪ بهبود شرایط را به دنبال داشته است. دلیل این امر انحراف جریان به

نتایج پژوهشگران دیگر مانند امامقلی زاده و همکاران (۱۳۹۹)، ناظری و همکاران (۱۳۹۹) و صانعی و همکاران (۱۳۹۱) نیز این مطلب را تأیید می‌کند که با افزایش طول آبشکن، عملکرد آن در کنترل آبخستگی تکیه‌گاه بهبود می‌یابد. در پژوهش (Khajavi et al., 2022) مقدار کاهش آبخستگی رأس تکیه‌گاه با استفاده از آبشکن با آرایش خطی برابر ۴۰٪ گزارش شده است. در پژوهش حاضر آبشکن با آرایش خطی در بهترین حالت ۳۶٪ و آبشکن با آرایش مثلثی در بهترین حالت ۴۴٪ آبخستگی رأس تکیه‌گاه را نسبت به حالت شاهد کاهش می‌دهند. آبشکن‌های محافظ با آرایش مثلثی در مقادیر بهینه در مقاله‌ی حاضر در مقایسه با آبشکن‌های با آرایش خطی و همچنین در مقایسه با پژوهش (Khajavi et al., 2022) که آبشکن‌های محافظ نفوذپذیر با آرایش خطی را برای حفاظت از تکیه‌گاه مستقر کرده‌اند، نشان می‌دهد که آبشکن‌های با آرایش مثلثی مقاله‌ی حاضر، عملکرد بهتری نشان می‌دهند. درعین حال آرایش مثلثی به دلیل استفاده از ستون‌های کمتر در شرایط یکسان، از دیدگاه

- با افزایش تعداد میله‌ها، عملکرد آبشکن‌ها در کنترل آبشستگی تکیه‌گاه بهبود می‌یابد.

صورت ملایم به دلیل شیب استقرار ستون‌ها است. همچنین در نواحی میانی جریان (اواسط کانال) که سرعت جریان بیشتر است، عبور جریان از میان میله‌هایی با فواصل کمتر باعث استهلاک انرژی و کاهش پتانسیل آبشستگی آنها خواهد شد.

جدول ۵- مشخصات و نتایج مدل‌ها

شماره مدل	نام مدل	نوع آبشکن	تعداد میله‌ها	فاصله آبشکن از تکیه‌گاه	نسبت نفوذپذیری آبشکن	حداکثر عمق آبشستگی نسبت به مدل شاهد
۱	مدل شاهد	-	-	-	-	٪ ۱۰۰
۲	T-۵-۲/۵-۵۰	مثلثی	۵	۲/۵ B	٪ ۵۰	٪ ۶۷
۳	T-۷-۲/۵-۵۰	مثلثی	۷	۲/۵ B	٪ ۵۰	٪ ۶۴
۴	T-۹-۲/۵-۵۰	مثلثی	۹	۲/۵ B	٪ ۵۰	٪ ۵۶
۵	L-۶-۲/۵-۵۰	خطی	۲×۳	۲/۵ B	٪ ۵۰	٪ ۶۴
۶	L-۸-۲/۵-۵۰	خطی	۲×۴	۲/۵ B	٪ ۵۰	٪ ۶۶
۷	L-۱۰-۲/۵-۵۰	خطی	۲×۵	۲/۵ B	٪ ۵۰	٪ ۶۴

انتشارات دفتر نظام فنی اجرایی، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا و دفتر نظام فنی اجرایی.

ملکی، ف. و عباسی، س. ۱۳۹۷. مطالعه‌ی آزمایشگاهی تأثیر استقرار آبشکن‌های نفوذپذیر با آرایش شعاعی دافع بر حداکثر نرخ آبشستگی موضعی دماغه. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۱۲ (۴۳): ۶۱-۶۹.

ناظری، ا.، امامقلی‌زاده، ص. و اژدری، خ. ۱۳۹۹. بررسی آزمایشگاهی اثر آبشکن ساده بر آبشستگی موضعی در اطراف تکیه‌گاه پل. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۲ (۴۵): ۳۴-۴۸.

ناظری، ا. و امامقلی‌زاده، ص. ۱۴۰۰. بررسی آزمایشگاهی اثر آبشکن سرسپری متقارن بر میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل در کانال مرکب. مجله پژوهش آب ایران. ۱۵ (۲): ۲۹-۲۱.

Bhatia, U.K. and Setia, B. 2021. Vertical plates as scour countermeasure for bridge abutments. ISH Journal of Hydraulic Engineering. 27(sup1): p. 197-201.

Choufu, L., Abbasi, S., pourshahbaz, H. and Taghvaei, P. 2019. Investigation of flow, erosion, and sedimentation pattern around varied groynes under different hydraulic and geometric conditions: a numerical study. Water. 11(2): p. 235.

Flow Science, Flow-3d User Manual. 2012.

Habibi, K., Fard, F.E. and Pari, S.A.A. 2023. Investigation of the flow field around bridge piers on a non-eroding bed using FLOW-3D, 22nd Iranian Conference on Hydraulics.

Hakim, M., Yarahmadi, M.B. and Kashefipour, S.M.

منابع

اژدری، خ.، امامقلی‌زاده، ص. و رضایی، ح. ۱۳۹۶. مطالعه آزمایشگاهی اثر آبشکن T شکل نامتقارن در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل. نشریه علمی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴ (۱): ۲۹۵-۳۰۱.

امامقلی‌زاده، ص.، ناظری، ا. و اژدری، خ. ۱۳۹۹. تأثیر شکل‌های مختلف آبشکن منفرد بر آبشستگی تکیه‌گاه پل در کانال مرکب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱ (۱۵): ۲۱۱-۲۲۲.

زمردیان، م.، غفاری، ح. و قاسمی، ز. ۱۳۹۷. مقایسه دو آرایش مثلثی و خطی شمع‌های فداشونده مستغرق بر عمق آبشستگی اطراف پایه پل استوانه‌ای. علوم و مهندسی آبیاری. ۴۲ (۴): ۱۶۷-۱۸۰.

سعادت‌نیا، م.، خدانشناس، س.، صانعی، م. و اسماعیلی، ک. ۱۳۹۶. بررسی آزمایشگاهی تأثیر آبشکن محافظ بر میزان آبشستگی دماغه تکیه‌گاه پل در کانال آب مرکب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲ (۴): ۷-۷۶۳.

صانعی، م.، ساغروانی، ف. و بصیرت، ش. ۱۳۹۱. کاهش میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل با استفاده از آبشکن محافظ. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۶ (۱۸): ۱۱-۱۶.

محمدپور، س. و شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۴. بررسی گستره‌ی کارگزاری المان‌های شش‌پایه به منظور کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل. نشریه علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰ (۱): ۲۵-۳۵.

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. ۱۳۹۰. راهنمای روش‌های محاسبه آبشستگی موضعی. نشریه شماره ۵۴۹.

- Shamaa, M.T. 2023. Scour Mitigation at Bridge Abutments Using Spur Dikes. Mansoura Engineering Journal. 48 (6): p. 3.
- Wardhana, K. and Hadipriono, F.C. 2003. Analysis of recent bridge failures in the United States. Journal of performance of constructed facilities. 17(3): p. 144-150.
- Zhang, H., Nakagawa, H., Kawaike, K. and ABAB, Y. 2009. Experiment and simulation of turbulent flow in local scour around a spur dyke. International Journal of Sediment Research. 24(1): p. 33-45.
2022. Use of spur dikes with different permeability levels for protecting bridge abutment against local scour under unsteady flow conditions. Canadian Journal of Civil Engineering. 49(12): p. 1842-1854.
- Hong, S.H. and Abid, I. 2019. Scour around an erodible abutment with riprap apron over time. Journal of Hydraulic Engineering. 145(6): p. 06019007.
- Khajavi, M., Kashefipour, S.M. and Bejestan, M.S. 2022. Bridge abutment protection against scouring for unsteady flow conditions. Periodica Polytechnica Civil Engineering. 66(1): p. 310-322.
- Sirtasy, D.H.M.M.A., El-Gawad, H.A.E.-A.A.A. and

Comparison of Permeable Spur Dikes with Triangular and L Arrangement in Bridge Abutment Scour Control

S. Mojtahedi¹, S. Abbasi^{2*}

Received: Aug.15, 2023

Accepted: Nov.05, 2023

Abstract

Bridges are important for establishing communication routes, and every year many bridges are destroyed due to scouring around the abutment. Spur dike are hydraulic structures that reduce scouring by diverting streamlines from structures. In this paper, a triangular arrangement for permeable spur dikes is proposed, and its performance with linear spur dikes in controlling the scouring of the abutment is numerically investigated and compared. To make a correct comparison, the permeability ratio and the distance of both triangular and linear arrangements were assumed to be the same. The results show that the linear arrangement of three series of two columns performs better than the similar triangular arrangement, and the linear arrangement of four and five series of two columns performs worse than the similar triangular arrangement. Also, among all the models, the triangular arrangement equivalent to two series of five is the most optimal. It reduces scour depth by 46% compared to the control case (Abutment without protective spur dike).

Keywords: Abutment, Flow pattern, Local scour, Protective spur dike, Sedimentation

1- M.Sc. in Water engineering and Hydraulic structures, Department of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(*- Corresponding Author: Abbasi.Saeed@znu.ac.ir)