مجله پژوهش آب ایران جلد ۱۴/ شماره ۲/ پیاپی ۳۷/ تابستان ۱۳۹۹ (۱۰۱-۱۰۹)

اثر شکل سرشمع در ابعاد حفرهٔ آبشستگی در پایهٔ پلها با هندسهٔ مرکب

واله خالدی'، عطا امینی^{۲*} و جمیل بهرامی^۳

چکیدہ

از تأثیرگذارترین دلایل شکست پل آبشستگی موضعی است. در این پژوهش با استفاده از مدل فیزیکی، میزان تأثیرگذاری شکل سرشمع بر ابعاد حفرهٔ آبشستگی بررسی شد. دادههای آزمایشگاهی از سه مدل کوچک مقیاس شده از پایههای مرکب که دارای سرشمعهایی با شکلهای متفاوت هستند، استخراج شدند. آزمایشها در شرایط آب زلال و با رسوبات یکنواخت و دبی یکسان انجام شدند. عمق آب در آزمایشها ثابت و به گونهای انتخاب شد که شرایط آب کمعمق را فراهم کند. تغییرات طول، عرض و عمق حفرهٔ آبشستگی در اثر تغییر ارتفاع سرشمع اندازه گیری و رسم شد. نتایج نشان داد که ابعاد حفره تا حدودی با طول (Ipc) عرض (b_{pc}) و ضخامت سرشمع (T) متناسب است. همچنین علاوه بر عمق حفره، طول و عرض حفره نیز با ارتفاع سرشمع نسبت به بستر اولیه، بهصورت قابل ملاحظهای وابسته است. در این مدلها، بیشترین ابعاد طول و عرض حفره به ترتیب معادل عادل و عمق حفره برابر ۹۲ مشاهده شد. ضمن این که طول حفره دارای تغییرات بیشتری به نسبت عرض حفره بود. این نتایج در راستای رسیدن به الگویی برای پیشبینی ابعاد حفرهٔ آبشستگی در پایهٔ مرکب پلها میتواند

واژدهای کلیدی آب زلال، آبشستگی موضعی، ابعاد حفرہ، پایهٔ مرکب پل

ارجاع: خالدی و امینی ع و بهرامی ج ۱۳۹۹ اثر شکل سرشمع در ابعاد حفرهٔ آبشستگی در پایهٔ پلها با هندسهٔ مرکب مجله پژوهش آب ایران. ۳۷: ۱۰۱-۱۰۰

۱ - کارشناسی ارشد گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه کردستان، سنندج

۲- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سنندج

۳- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه کردستان، سنندج

^{*} نویسنده مسئول: <u>a.amini@areeo.ac.ir</u>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۳

مقدمه

ایجاد آشفتگی در رژیم جریان، باعث فرسایش و آبشستگی رسوبات بستر رودخانه می شود. گسترش عمق حفرهٔ آبشستگی در اطراف پایههای پیچیده و تکیهگاههایش دلیل اصلی فروریختن پلهاست (محمدیور و همکاران، ۲۰۱۹). مسألهٔ مهم در طراحی سازههای هیدرولیکی پیدا کردن راهکاری برای پیشبینی شیوهٔ شکل گیری، گسترش و شكل نهايي حفرهٔ آبشستگي' است (سليماني و همكاران، ۲۰۱۷). اندازه گیری ابعاد حفرهٔ آبشستگی اطراف سازه از دو جنبه اهمیت دارد: اول این که از یک طرف بیان کنندهٔ میزان ظرفیت تخریب در اطراف سازه است؛ از طرف دیگر در طراحی ابعاد فونداسیون اینچنین سازههای هیدرولیکی در معرض جریان مورد استفاده است. به این صوررت که لازم است طراح از میزان و شیوهٔ آبشستگی در این نوع سازهها آگاه شود (امینی و همکاران، ۲۰۱۴). ضمن این که تاکنون نقش هندسهٔ سرشمع در شیوهٔ توسعهٔ ابعاد حفرة آبشستگی بررسی نشده است. بهطور کلی آبشستگی موضعی نتیجهٔ مجموعهای از رخدادهاست. با برخورد جریان آب به پایه، در اثر گرادیان فشار، جریان های پایینرونده ایجاد میشود که پس از برخورد به بستر باعث حفر بستر در جلو پایه می شود و گرداب های نعل اسبی را ایجاد میکند. جدایی جریان از پایه نیز گردابهای برخاستگی را ایجاد میکند. باوجود تأثیر قابل توجه گرداب نعل اسبی روی آبشستگی موضعی اطراف پایهٔ پل، این گرداب دلیل آغاز پدیدهٔ آبشستگی نیست (امینی و همکاران، ۲۰۱۲). روابط و روشهای ارائه شده برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی اطراف پایههای ییچیدہ، بەدلیل پیچیدگی مکانیسم آبشستگی، اغلب نتایج قابل قبولی حتی در مقیاس آزمایشگاهی ارائه نمی کنند (امینی و همکاران، ۲۰۱۴). روابط متعددی برای تعیین عمق آبشستگی در اطراف پایههای پیچیده ارائه شده است (امینی و همکاران، ۲۰۱۰ و ملویل و کلمن، ۲۰۰۰). از بين اين روشها، رابطه HEC-18، (ريچاردسون و دیویس، ۲۰۰۱) و FDOT ، (شپیارد و رنا، ۲۰۰۵) روابط متداول تری هستند. این دو روش عمق آبشستگی را بر اساس اصل برهمنهی کبه دست می دهند. مورنو و همکاران

- 1- Scour hole
- 2- Complex pier

(۲۰۱۵) میزان کارایی سه روش کلمن راHEC-18 FDOT در محاسبهٔ عمق حفرهٔ آبشستگی در پایهٔ مرکب بررسى كردند. طبق نتايج ارائه شده، روش HEC-18 عمق حفره را کمتر از مقدار واقعی تخمین میزند، روش FDOT تخمين محافظه كارانه ارائه مىدهد؛ اما پيشبينى انجام شده بهوسيلهٔ روش كلمن (كلمن، ۲۰۰۵) نتايج قابل قبول ترى اطراف پاية مركب پل ارائه مىدهد. امينى و محمد (۲۰۱۷)، بر اساس مطالعات صحرایی، نتایج قابل قبولی برای پیشبینی عمق آبشستگی در پایههای مرکب ارائه كردند (جنتى و همكاران، ٢٠١۶). على رغم اهميت پیشبینی عمق آبشستگی، برآورد طول و عرض حفرهٔ آبشستگی نیز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. گوادیو و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از دستگاه لیزری اسکن سه بعدی فرآیند تشکیل حفرهٔ آبشستگی و نحوهٔ توسعهٔ ابعاد آن را اطراف یکپایهٔ ساده بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد تغییرات ابعاد حفره با توجه به نوع پایه متفاوت است. به گونهای که در پایههای بزرگتر و طوقدار، ابعاد بزرگتری نسبت به حالت سادهتر پایهها، بهوجود آمد. داس و همکاران (۲۰۱۴) همین موضوع را در پایههای غیر ساده و با عرضهای متفاوت ارزیابی کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که مشخصات هندسی و اندازهٔ عرض حفره در تناسب با عرض معادل شمعهاست. سلیمانی و همکاران (۲۰۱۷)، ابعاد حفرهٔ آبشستگی در گروه پایهها را بررسی و بر مبنای مدل فیزیکی روابطی را برای مساحت و حجم حفرهها ارائه کردند. دیاب و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات ابعاد حفرهٔ آبشستگی در پایههای ساده را بررسی و روابطی را برای محاسبهٔ مساحت و حجم آنها ارائه کردند. آنان دریافتند که مساحت و حجم حفرة تشكيل شده به عمق أبشستكي وابسته است. رضایی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر افزودن رس و ترکیب آن با نانو رس به مصالح ساختمانی پاییندست سازهٔ مستهککنندهٔ انرژی (صفحات مشبک)، در کاهش عمق و طول آبشستگی پرداختند بر اساس نتایج، ترکیب رس و نانورس تأثیر مثبتی در بهبود و کاهش عمق و طول حفرهٔ آبشستگی به ویژه در زمانهای اولیهٔ برداشت در پاییندست صفحات مشبک داشته است. نتايج شبيهسازى مدل هايي با هندسهٔ مركب را ارائه و تغییرات ابعاد حفرهٔ آبشستگی را در پنج مدل بررسی کردند. آنان دریافتند که طول و عرض حفرههای

³⁻ Superposition

آبشستگی به نسبت عمق حفره، دارای تغییرات یکنواخت ر و کمتری هستند. ضمن این که برای طول حفره در مدلهای مختلف، روند تغییرات بیشتر مشاهده کردند. مورنو و همکاران (۲۰۱۶) طبق بررسی که روی پایههای مرکب داشتند، به این نتیجه رسیدند که مراحل تغییر عمق حفره در طی فرآیند آبشستگی، به تعداد المانهای سازهای پایهٔ مرکب پل که در معرض جریان و داخل حفرهٔ آبشستگی قرار دارد، وابسته است. با وجود این که پژوهش های بسیاری در مورد آبشستگی موضعی اطراف پایههای پل انجام شده، کمتر به بررسی ابعاد حفرهٔ آبشستگی در پایههای مرکب پرداخته شده است. ضمن این که تاکنون نقش هندسهٔ سرشمع در شیوهٔ توسعهٔ ابعاد حفرهٔ آبشستگی بررسی نشده است. در این تحقیق شیوه تغییرات ابعاد حفرهٔ آبشستگی در اطراف پایهٔ پیچیدهٔ پلها در اثر تغییر شکل هندسه سرشمع بررسی شد. همچنین نقش ارتفاع سرشمع نسبت به بستر اولیه در نحوه شکل گیری حفرهٔ آبشستگی در مدلهای مختلف آنالیز شد. دادههای منتشر شده در این پژوهش گامی نخست برای بررسیهای دقیقتر روند تغییرات ابعاد حفره در یایههای پیچیده به دست میدهد.

مواد و روشها

آناليز ابعادي

با توجه به این که تعداد پارامترهای مؤثر بر آبشستگی موضعی پایهٔ پل متنوع است، منظور کردن تأثیر همه پارامترها در برآورد آبشستگی غیرممکن به نظر میرسد. بنابراین در بررسی شیوهٔ شکل گیری آبشستگی با استفاده از روش آنالیز ابعادی، از متغیرهای بیبعد شده استفاده می شود.

در این پژوهش، بررسی تغییرات ابعاد حفره مدنظر است. متغیرهای تأثیرگذار بر ابعاد حفرهٔ آبشستگی را میتوان در سه دستهٔ ویژگیها جریان، ویژگیها رسوب و هندسه پایه گروهبندی کرد. پارامترهای مؤثر بر عمق آبشستگی پایهٔ

پل (y_s) عبارت است از عمق جریان (y)، سرعت جریان (V)، قطر پایه (D)، میانگین قطر ذرات (d₅₀) که با معادلهٔ (۱) بیان میشوند (باغبادرانی و همکاران، ۲۰۱۸). در این معادله متغیرهایی که بیشترین تأثیرپذیری را از هم دارند، بهصورت بدون بعد دستهبندی شدهاند.

$$\frac{y_s}{b_c} or \frac{b_e}{b_c} = f(\frac{U}{Uc} or Fr. \frac{h}{b_c}, \frac{b_c}{d_{50}}, \frac{b_c}{b_{pc}}, \frac{T}{b_{pc}}, \frac{Y}{b_c}, \frac{L_u}{b_c}, \frac{L_f}{b_c}, \dots (1)$$

$$\frac{K_{sc} K_{spc}, \frac{b_{pg}}{b_c}, mn. \frac{S_b}{b_{pg}}, \frac{S_l}{b_{pg}})}{K_{sc} K_{spc}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \frac{M_s}{b_c}, \frac{M$$

در این معادله، b_{pg} عرض شمع، b_{e} عرض معادل برای پایهٔ منفرد که آبشستگی یکسان با پایهٔ مرکب تولید میکند، U^{*} سرعت بحرانی، *U سرعت برشی رسوبات بستر، u_{rc} سرعت برشی بحرانی رسوبات بستر که این سرعت با استفاده از روش ارائه شده در ملویل و کلمن (۲۰۰۰) محاسبه شد، Fr عدد فرود جریان، m تعداد پایهها در راستای جریان، n تعداد پایهها در راستای عمود بر جریان، S_b فاصلهٔ مرکز به مرکز پایهها در راستای عمود بر جریان، فاصلهی مرکز به مرکز پایهها در راستای عمود بر جریان، فاصلهی مرکز به مرکز پایهها در راستای عمود بر جریان، معادل گروه شمعهاست. (عطایی آشتیانی و همکاران، (۲۰۰۶)

پارامترهای مربوط به گروه شمعها با _{pg} و _{pg} که عرض و طول معادل گروه شمعهاست، نشان داده شده است. تأثیر رسوب، جریان و سایر عوامل اثرگذار در آبشستگی به کمک گروههای بی بعد بررسی می شوند. به این ترتیب که شدت جریان با V/Vc، اندازهٔ رسوبات بستر با be/d₅₀ عمق جریان به صورت ع/v/lor، اندازهٔ رسوبات بستر با را در روابط رایج جریان به صورت عاراست. این پارامترها را در روابط رایج مربوط به پایهٔ ساده می توان جای گذاری و ابعاد حفرهٔ آبشستگی را به دست آورد. پارامترهای مرتبط با آبشستگی در پایههای مرکب به صورت شماتیک در شکل ۱ نمایش داده و همچنین کانال آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- شماتیک پایه پیچیده پلها و فلوم آزمایشگاهی استفاده شده در این پژوهش ((الف) نمای بالادست، (ب) نمای عرضی، (ج) نمای بالا، د - کانال آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق)

روش آزمایش

آزمایشها در یک فلوم با دیوارهی آجری و شیشهای به طول ۴۶ متر عرض ۱/۵۲ متر و عمق ۱/۹ متر در مؤسسهی ملی تحقیقات هیدرولیک مالزی (NAHRIM) در کوالالامپور انجام شد. طول ۱۵ متر از کانال بهوسیلهٔ رسوبات یکنواخت با ضخامت ۰/۵۵ متر، در فاصلهٔ ۱۰/۳ متر پایین تر از ورودی کانال آزمایشگاهی پر شد. سرعت جریان و عمق آب به وسیلهٔ دریچهای خودکار در انتهای کانال آزمایشگاهی، تنظیم شد. دبی در آزمایشها به میزان ۱۳۲ لیتر بر ثانیه منظور شد. برای داشتن بستری هموار و یکنواخت، قبل از انجام هر آزمایش با استفاده از ارتفاعسنج نصب شده بر دیوارههای کانال آزمایشگاهی، هموار بودن سطح بستر كنترل شد. محل انجام آزمایشها، در محور مرکزی کانال آزمایشگاهی و به فاصلهٔ ۲۲/۵ متر پایین تر از ورودی کانال قرار داشت. این فاصله برای آرام کردن جریان ورودی استفاده شد. در ورودی کانال با ایجاد شبکهای از موانع مانند فیلترهای شنی، سرريز لبهتيز و صفحات مشبك، اغتشاش و آشفتگي جریان ورودی حذف شد. به گونهای که در محل آزمایشها اندازهگیری سرعت جریان در مقاطع عرضی و عمودی، توزیع سرعت را تقریباً یکنواخت نشان میداد.

مدلها

برای انجام آزمایشها، در این پژوهش تعداد سه مدل مختلف با شکل سرشمع متفاوت از چوب و PVC ساخته شده و شد. این مدلها از نمونههای واقعی پلهای ساخته شده و

یا در دست ساخت در کشور مالزی با مقیاس مناسب ساخته شدند. در انتخاب مدلها سعی شد شکل و ابعاد سرشمع متنوع باشد. به گونهای که سه شکل مربعی، مستطیلی و مخروطی به ترتیب در مدلهای ۱، ۲ و ۳ انتخاب شدند. در شکل ۲ نمای پلان و نمای عرضی مدلهای انتخاب شده در این پژوهش به صورت شماتیک نمایش داده شده است. جزییات مشخصات هندسی مدلها در جدول ۱ ارائه شده است. در مجموع تعداد ۲۵ آزمایش بر روی این سه مدل انجام شد.

رسوب و جریان

برای شبیهسازی بستر رودخانه و پایهها، از یک لایه رسوب غیرچسبنده با ضخامت ۵۵/۰ متر استفاده شد. برای رسیدن به بیشترین عمق آبشستگی و نیز جلوگیری از ۰/۸ میلیمتر و با انحراف معیار هندسی ۱/۳۳ میلیمتر استفاده شد. این مقدار کمتر از مقدار بحرانی آن برای تشکیل لایهٔ محافظتی^۲ و رسوب غیریکنواخت است. (ملویل و کلمن، محافظتی^۲ و رسوب غیریکنواخت است. (ملویل و کلمن، اندازهٔ رسوبات بر میزان آبشستگی نسبت ۲۰۱۵مکتر از اندازهٔ رسوبات بر میزان آبشستگی نسبت ۲۰۱۵مکتر از سروع آزمایشها، جریان آب در کانال آزمایشگاهی با دبی بسیار کم و بهطور کاملاً آرام برقرار میشد. با توجه به اینکه حداکثر مقدار عمق آبشستگی در حالت آب زلال اتفاق میافتد، آزمایشهای این پژوهش در وضعیت آب زلال و در سرعت ۱۹۵۰ – ۷/۷

²⁻ Armor layer

¹⁻ National Hydraulic Research Institute of Malaysia

پیشنهاد ملویل و چیو (۱۹۹۹) در مورد زمان لازم برای رسیدن عمق آبشستگی به عمق نهایی، آزمایشها در زمانهای ۸ و ۲۴ ساعت انجام شده است. جزئیات بیشتر از روش تحقیق در مراجع (امینی و همکاران، ۲۰۱۴) و

(امینی و همکاران، ۲۰۱۷) آورده شده است. سرعت برشی بحرانی U^*_c و سرعت بحرانی U^*_c رسوب، بر اساس روش پیشنهادی توسط ملویل و کلمن (۲۰۰۰) محاسبه شد.



ب) مدل ۲ شکل ۲- شکل مدلهای استفاده شده دراین پژوهش الف) مدل ۱، ب) مدل ۲، ج) مدل ۳

جدول ۱- مشخصات هندسی مدلها

مدل سه	مدل دو	مدل يک	متغير
•/•۶٧	•/٣۴٣	•/18	bc
•/•۶٧	•/٣۴٣	•/18	lc
•/\YY	•/١٣٧	•/٢•	bpc
•/۲۵۵	•/٧۵۴	•/٢•	lpc
•/\\\	•/• ۵١	•/•٣	Т
۳،۴.۳	۱۵	٢	m
٣	٣	٢	n
•/• Δ Y	•/•۵١۴	•/17	Spb
•/•۶٧	·/·۵۱۴	•/1۲	Spl
١:٩	۱۳۵	1:1.	مقياس
دايره	مستطيل	مربع	شكل ستون
مربع	دايره	دايره	شکل شمع
مربع	ذوزنقه	مربع	شکل سرشمع

ابعاد حفره

ابعاد حفرهٔ آبشستگی (عمق، طول و عرض) با استفاده از ارتفاع سنج مدرج با دقت ۰/۱ میلیمتر اندازه گیری شد. ابعاد حفره نسبت به تراز اولیهٔ بستر و موقعیت سرشمع در سه جهت X، y و Z اندازه گیری شد. آنالیز دادهها با استفاده از نرمافزار Civil3D انجام شد. این نرمافزار در سال ۱۹۹۳ میلادی معرفی شد، که در محیط اتوکد کار میکند. با توجه به توانایی این نرمافزار در تبدیل دادهها به خطوط ارتفاعی و رسم سه بعدی عوارض زمین دارای کاربرد وسیعی در کارهای مهندسی است. این نرمافزار قادر است دادهها با مختصات XYZ را به خطوط، سطح، تصویر و منحنیهای ارتفاعی تبدیل کند.

نتایج و بحث هندسهٔ حفرهٔ آبشستگی

در این پژوهش، هدف بررسی تأثیر شکل سرشمع بر تغییرات ابعاد حفرهٔ آبشستگی است، از سه مدل با سرشمع به شکلهای متفاوت استفاده شد. پس از وارد کردن مختصات مربوط به حفرههای آبشستگی به وجود آمده به نرمافزار Civil3D، طول و عرض حفرههای آبشستگی بهوسیلهٔ ابزار اندازه گیری طول نرمافزار محاسبه و ثبت شد.

بیشترین عمق حفره از اختلاف کمترین تراز حفره با تراز بستر اولیه محاسبه شد. در جدول ۲ ابعاد حفرههای بهوجود آمده اطراف مدلهای مختلف آورده و نمونهای از شکل حفرهٔ آبشستگی ترسیم شده در این پژوهش، در شکل ۳ ارائه شده است. برای مشاهدهٔ اثر متغیر شکل سرشمع در شکل گیری ابعاد حفرهٔ آبشستگی، در شکل ۳ حفرهٔ آبشستگی در هر سه مدل و در ارتفاع تقریباً یکسان سرشمع از بستر اوليه آورده شده است (0.3 < Y < 0.34)شکل ۳ نشان میدهد که شکل حفرهٔ آبشستگی بهطور قابل ملاحظهای تحت تأثیر شکل سرشمع است. این نتایج با یافتههای مورنو و همکاران (۲۰۱۶) که نقش شکل اجزای پایهٔ مرکب را در عمق حفرهٔ آبشستگی بررسی کردند، همخوانی دارد. در شکل ۳- الف با سرشمع مربعی، شکل کلی حفرهٔ آبشستگی به خصوص در نقاط گودتر به مربع نزدیکتر است و میتوان گفت تا حدودی کشیدگی طولی و عرضی حفره مشابه هم هستند. در سرشمع با شکل مخروطی، شکل حفره در بازهٔ ارتفاعی ۲۷۱/۰۰ ۰/۲۲۷ شکل کشیدهتر دارد (شکل ۳- ب). در مدل ۳، نشان داده شده در شکل ۳- ج، در تغییرات شكل حفره همين روند مشاهده مىشود.



شکل ۳ - شماتیک حفرهٔ آبشستگی در مدلهای: الف) مدل ۱، ب) مدل ۲ و ج) مدل ۳

طول حفرہ (m)	عرض حفرہ Ws (m)	عمق حفره Ys (m)	ارتفاع سرشمع Y (m)	شکل هندسی سرشمع	شماره آزمایش	مدل
۰/۳۵۰	۰/۵۳۰	•/YV1	•/• ۵۶	مربعی	١	١
•/۴۷۵	•/٧۴•	•/74•	•/• ٣١		٢	
•/454	•/YY1	•/٣٣۴	•/•۶•		٣	
•/97•	·/Y۵·	•/٣١٨	-•/•٢•		۴	
•/٣١•	•/٧٩•	•/١٨٢	- •/• \ ۴		۵	
•/٢۶٨	•/٢۶۶	•/• ۴٩	•/١••	مخروطی	۶	۲
·/\Y۵	•/١٧٣	•/•٣٢	•/111		٧	
•/٢١•	•/٣١•	۰/۰۵۵	•/••٨		٨	
۰/۵۶۰	٠/٣۵٠	•/•۶۶	- • / • Y •		٩	
•/٣۶•	•/۴١•	•/• vv	- •/• FF		۱.	
•/٣٨•	•/4٣•	•/•٧٨	- • / • A I))	
۰/۳۶۱	•/٣۵A	•/•۶۶	-•/11۴		١٢	
•/471	•/۴١٨	•/• ٧٧	-•/184		١٣	
۰/۳۶۱	•/٣۵٨	•/•99	- •/1 ۵ ٩		14	
•/٣٢٨	•/٣٢۶	•/•۶•	- •/1V9	مستطیلی	۱۵	٣
·/٨١·	•/ATA	•/14•	•/YA1		18	
٠/٧٩٩	•/٨١٣	·/١٣٨	• / Y ۵ I		١٧	
• / y • •	•/۶••	•/١••	- •/YY9		١٨	
•/428	•/۴۳۶	•/•٧۴	•/•۶۶		١٩	
•/۴••	•/4~•	•/• ۴٨	•/• **		۲۰	
•/٣٣٧	•/۲۴١	۰/۰۴۱	•/•) •		۲۱	
•/۴١•	•/۶۴•	•/١••	- • / • ٣٣		۲۲	
• /YY •	•/۶••	•/١٣٧	- • / • X Y		۲۳	
١/• ١٩	۱/• ۳V	•/175	-•/))•		۲۴	
•/٩٨۴	۱/۰۰۲	·/\Y·	- • / <i>۱۶</i> ۳		۲۵	

جدول ۲- طول و عرض حفرهٔ آبشستگی در مدلهای مورد بررسی

تغییرات ابعاد حفره در مدلهای مورد بررسی

در شکل ۴، ارتفاع سرشمع (Y) در برابر تغییرات ابعاد (طول، عرض و عمق) حفره نشان داده شده است. هریک از پارامترها در این نمودارها برای بررسی دقیقتر بیبعد شدهاند. عمق حفره و ارتفاع سرشمع بهوسیلهٔ ضخامت سرشمع (Y) و طول و عرض حفره نیز به ترتیب به وسیلهٔ طول (Lpc) و عرض سرشمع (Bpc) بی بعد شد.

متفاوت بودن روند تغییرات در سه مدل بررسی شده، نشاندهندهٔ تأثیرگذار بودن شکل هندسی سرشمع در روند شکل گیری حفرهٔ آبشستگی موضعی است با توجه به شکلها میتوان تغییرات ابعاد را با توجه به مشخصات هیدرولیکی و وضعیت انتقال رسوب در سه بخش توصیف کرد. بخش اول، در ابتدای آزمایش که هنوز سرشمع مدفون در بستر است، تغییرات ابعاد به خصوص در ارتفاع سرشمع، T<Y<TT بسیار ملایم و ناچیز است. این نتیجه

با نتایج امینی و محمد (۲۰۱۷) دربارهٔ تغییرات عمق حفره در این ناحیه همخوانی دارد. در این حالت حجم فرسایش کمتر است و قدرت تخریب و آبشستگی به نسبت زیاد نیست. حالت دوم مرحلهٔ گذار از ارتفاع مثبت سرشمع به ارتفاع منفی (بالای بستر) است. در این بخش بهدلیل معلق شدن سرشمع جریان آشفتگی بیشتری را تجربه میکند. گردابههای جریان در زیر سرشمع با برخورد با میکند. گردابههای جریان در زیر سرشمع با برخورد با میکند. احتمال رخ دادن بیشینهٔ ابعاد آبشستگی در این حالت انتظار میرود. با توسعهٔ آبشستگی، جریان مسیر خود را از زیر سرشمع پیدا کرده و گردابههای جریان امکان انتقال به پایین دست پایه را پیدا خواهند کرد. از این زمان به بعد ابعاد حفرهٔ آبشستگی کاهش میابد؛ با شده است نقش تخریبکنندهٔ جریان آشفته ملایمتر باشد.

به گونهای که شیب تغییرات به خصوص در بازهٔ ۲۰/۵۲<۲<۰/۵۲ - افزایش یافته در انتهای بازهٔ نقاط اوجی را برای طول و عرض نشان می دهد. نتایج مشابهی توسط مورنو و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شده است. در بازهٔ ارتفاعی اشاره شده، بیشینهٔ ابعاد در مدل دوم به خصوص برای طول حفره مشاهده شد. در سر شمع با شکل

مستطیلی، ابعاد حفره در بازهی ارتفاعی بیان شده با شیب قابل توجهی افزایش مییابد. در حالتی که سرشمع بیرون از بستر است و جریان آب از میان گروه شمعها عبور میکند. در ارتفاع T->Y>T- در مدلهای ۱ و ۲ تغییرات ابعاد یکنواخت است. در حالی که در سرشمع مستطیلی بیشنههای ابعاد در این بخش اتفاق افتاده است.



شکل ۴- مقایسهٔ تغییرات طول و عرض حفرهٔ آبشستگی در اثر تغییر ارتفاع سرشمع:الف) مدل ۱، ب) مدل ۲ و ج) مدل ۳

نتيجهگيرى

در این پژوهش شبیهسازی فیزیکی تغییرات ابعاد حفرهٔ آبشستگی در پایهٔ مرکب پلها، در آزمایشگاه انجام و متغیرهای مؤثر شناسایی و اثر آنها بررسی شد. تعداد سه عدد مدل با سرشمع به شکلهای متفاوت و در ارتفاعهای مختلف از بستر اولیه آزمایش شد. نتایج حاصل از این پژوهش را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- از بین اجزای پایهٔ مرکب (سرشمع، ستون و گروه پایه) شکل هندسی سرشمع نقش مهمی در شیوهٔ شکل گیری حفرهٔ آبشستگی دارد.
- بیشترین طول و عرض حفرهٔ آبشستگی در ارتفاع منفی (سرشمع بالای بستر) رخ میدهد. طول و عرض بیشینه در مدل با سرشمع مخروطی در زمان معلق شدن سرشمع و در سرشمع مستطیلی و مربعی، پس از معلق شدن سرشمع اتفاق میافتد.

- مشابه عمق، روند تغییرات طول و عرض حفرهٔ
 آبشستگی به ارتفاع سرشمع نسبت به بستر اولیه
 وابسته است.
- بیشترین ابعاد طول و عرض حفره به ترتیب معادل ۱۱L_{pc} و عمق حفره برابر ۹۲ مشاهده شد.

منابع

- Amini A. and Mohamad T. A. 2017. Local scour prediction around piers with complex geometry. Marine Georesources and Geotechnology. 35(6): 857-864.
- 3. Amini A. Melville B. W. and Ali T. M.

Engineering. 142(2). DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001080.

- Moreno M. Maia R. and Couto L. 2016. Prediction of equilibrium local scour depth at complex bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering. 142(11). DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001153.
- 1. Richardson E. V. and Davis S. R. 2001. Evaluating Scour at Bridges. Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC 18). 4rd Ed., Rep. No. FHWA NHI 01–001.
- Sheppard D. M. and Renna R. 2005. Bridge scour manual. Florida department of transportation, 605 Suwannee Street, Tallahassee, Florida. 129 p.
- 3. Solaimani N. Amini A. Banejad H. and Ghazvinei P. T. 2017. The effect of pile spacing and arrangement on bed formation and scour hole dimensions in pile groups, Int. J. River Basin Manag. 15(2): 219-225.

2012. Clear-water local scour around pile groups in shallow-water flow. Journal of Hydraulic Engineering. 138: 177-185

- Amini A. Melville W. B. and Mohamad T. A. 2014. Local Scour at Piled Bridge Piers Including an Examination of the Superposition Method. Canadian Journal of Civil Engineering. 41(5): 461-471.
- Amini A. Mohamad T. A. Ghazali H. Huat B. and Aziz A. 2010. A local scour prediction method for pile cap in complex piers. ICE. Agricultural Water Management. 164: 73-80.
- Ataie-Ashtiani B. and Beheshti A. A. 2006. Experimental investigation ofclear-water local scourat pilegroups. Journal of Hydraulic Engineering. 132(10): 1100-1104.
- Amini-Baghbadorani D. Ataie-Ashtiani B. Beheshti A. Hadjzaman M. and Jamali M. 2018. Prediction of current-induced local scour around complex piers: Review, revisit, and integration. Coastal Engineering. 133: 43-58.
- Coleman S. E. 2005. Clearwater local scour at complex piers. Journal of Hydraulic Engineering. 131(4): 330-334.
- Das S. Das R. and Mazumdar A. 2014. Variation in clear water scour geometry at piers of different effective widths. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences. 38: 97-111.
- 10. Diab R. Link O. and Zanke U. 2010. Geometry of developing and equilibrium scour holes at bridge piers in gravel. Canadian Journal of Civil Engineering. 37(4): 544-552.
- 11. Gaudio R. Tafarojnoruz A. and Calomino F. 2012. Combined flow altering countermeasures against bridge pier scour. IAHR. 50(1): 35-43.
- Jannaty M. H. Eghbalzadeh A. and Hosseini S. A. 2016. Using field data to evaluate the complex bridge piers scour methods. Canadian Journal of Civil Engineering. 43(3): 218-225.
- Melville B. W. and Coleman S. E. 2000. Bridge scour, Water Resources Publications, Highlands ranch, Colorado, USA. 550 p.
- 14. Melville B. W. and Chiew Y. M. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering, 125(1): 59-65.
- Mohammadpour R. Aminuddin A. B. A. Sabzevari T. and Murshed M. F. 2019. Local scour around complex abutments. ISH. doi: 10.1080/09715010.2019.1607783
- 16. Moreno M. Maia R. and Couto L. 2015. Effects of Relative Column Width and Pile-Cap Elevation on Local Scour Depth around Complex Piers. Journal of Hydraulic Engineering. Journal of Hydraulic