

مقاله پژوهشی

تأثیر آرایش هندسی شمع‌ها در آبشکن باز میله‌ای دو ردیفه بر توپوگرافی بستر و مقایسه آن با آبشکن یک ردیفه

صدیقه پزین^۱، مجید فضل^{۲*}، سحر انصاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳

۱ و ۳ - دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی گروه عمران دانشگاه بوعلی

۲ - استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا همدان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی Mfazli@basu.ac.ir

چکیده

در این پژوهش تغییرات توپوگرافی بستر حول آبشکن‌های باز میله‌ای یک‌ردیفه و دو‌ردیفه به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش‌ها تاثیر عدد فرود، درصد بازشدگی آبشکن، آرایش هندسی شمع‌ها بصورت در امتداد هم و زیگزاگی و فاصله دو ردیف شمع‌ها بر تغییرات توپوگرافی بستر بررسی شد. نتایج نشان داد که تاثیر افزایش عدد فرود بر حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن‌های دو ردیفه در امتداد هم بیشتر از زیگزاگی است. بطوریکه با افزایش عدد فرود از ۰/۲۲ تا ۰/۳، عمق حداکثر آبشستگی در آبشکن دو ردیفه در امتداد هم ۸۶ درصد بیشتر از آبشکن زیگزاگی می‌گردد. نتایج حاصله همچنین بیانگر آن است که برای مقادیر مختلف درصد بازشدگی آبشکن‌ها مقدار حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن دو‌ردیفه در امتداد هم حدود ۸۵ درصد بیش از آبشکن دو ردیفه زیگزاگی است. لیکن با کاهش درصد بازشدگی از ۷۰٪ به ۳۰٪ در آبشکن باز دو‌ردیفه در امتداد هم، و زیگزاگی نرخ افزایش حداکثر عمق آبشستگی تقریباً شبیه هم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبشکن باز، آبشکن یک ردیفه، آبشکن دو ردیفه، آبشستگی، بستر توپوگرافی.

Influence of Geometrical Arrangement of Piles on Morphology Around the Two-row Opened Groin

S Pazin¹, M Fazli^{2*}, S Ansari³

Received: November 20, 2020

Accepted: July 14, 2021

1&3 M.Sc. Graduated, Dept. of Civil Eng., Faculty of Eng., Unhversity of Bu-Ali Hamedan, Ira

2Assist. Prof., Dept. of Civil Eng., Faculty of Eng., Unhversity of Bu-Ali Hamedan, Iran

*Corresponding Author, Email: MFazli@basu.ac.ir

Abstract

In this study, the bed topography changes around a single and two-rows opened groins was studied. The experiments carried out for different percentages of opening, different distances of two rows of rods and different Froude Numbers. The two-row rods groins considered by two geometrical arrangements, in one condition the two rows of rods of opened groin placed zigzag and, in the other case, the two-row rods placed along with each other. The results showed that the effect of increasing the Froude number on the maximum scour depth in the case of two-row along each other groin is greater than zigzag. So, As the Froude number increases from 0.22 to 0.3, the maximum scour depth in the two-row along each other case becomes 86% more than the zigzag groin. The results also show that for different per cent of opening, the maximum scours depth in the two-row along each other is about 85% more than the zigzag groin. However, as the percentage of openness decreases from 70% to 30% in the two-step open breakwater, the Zigzag rate of increase of the maximum scour depth is almost the same.

Keywords: Bed topography, Permeable groyne, Scouring, Single row pile, two row piles

مقدمه

آبشستگی ارائه دادند. ازلدین و همکاران (۲۰۰۷) به منظور بررسی تأثیر زاویه حمله جریان بر روی ابعاد چاله آبشستگی، آزمایشاتی را بر روی تک آبشکن نفوذپذیر انجام دادند. بر اساس نتایج به دست آمده، زاویه ۳۰ درجه دارای عملکرد مطلوبی جهت کاهش عمق آبشستگی در دماغه تشخیص داده شد. نصرالهی و همکاران (۲۰۰۸) بررسی چاله آبشستگی اطراف آبشکن بسته و آبشکن باز با درصد بازشدگی مختلف را انجام دادند و نتایج آنها، کاهش قابل توجهی را در میزان عمق آبشستگی حداکثر برای آبشکن باز نسبت به نوع نفوذناپذیر نشان داد. بابا و همکاران (۲۰۰۸) الگوی جریان و دینامیک رسوب در اطراف آبشکن در سیلابدشت یک کانال مرکب را بررسی نموده و بیان نمودند که با توجه به عملکرد آبشکن‌های باز در تغییرات کمتر مورفولوژی در اطراف آبشکن، آن‌ها جایگزین

آبشکن یکی از سازه‌های کنترل جریان می‌باشد. مهم‌ترین و اساسی‌ترین پدیده‌ای که یک آبشکن به عنوان یک سازه استاتیک در محیط دینامیک رودخانه با آن مواجه است، آبشستگی اطراف آن است. این آبشستگی می‌تواند موجب شکست و واژگونی آبشکن گردد. بنابراین بررسی چاله آبشستگی، به ویژه پارامتر عمق حداکثر آبشستگی، نقشی مهم در تعیین احتمال و میزان تخریب سازه آبشکن به واسطه الگوی جریان پیرامون دماغه و در محدوده آبشکن دارد. یکی از انواع آبشکن‌ها، آبشکن‌های باز یا نفوذپذیر می‌باشند. در زمینه آبشکن‌های باز مطالعاتی انجام شده است که به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌گردد.

قدسیان و حسینی (۲۰۰۳)، با استفاده از فلوم آزمایشگاهی، خصوصیات چاله فرسایش اطراف آبشکن را بررسی کردند و روابطی برای تخمین حداکثر عمق

باز صورت گرفته است. موراوکا و همکاران (۲۰۱۹) با استدلالی که آبشکن‌های باز توری‌سنگی در مقابل مشکل آبشستگی و تغییرات اکوسیستم شرایط مناسب‌تری نسبت به آبشکن نفوذناپذیر دارند، تغییرات مورفولوژیکی بستر در پایین‌دست این سازه‌ها را به صورت آزمایشگاهی بررسی و بیان کردند که آبشستگی موضعی در اطراف این سازه‌ها به طرز قابل توجهی کمتر بوده در حالی که این سازه‌ها، شکل بستر ایجاد شده در ناحیه پایین‌دست را به مقدار زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهند. میرزایی و همکاران (۲۰۱۹) با شبیه‌سازی عددی، مدل‌های مختلف آشفتنگی را برای پیش‌بینی حداکثر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن‌های باز بررسی نموده و نتیجه گرفتند که مدل آشفتنگی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ برای تعیین حداکثر عمق آبشستگی نتایج نزدیک‌تری به نتایج آزمایشگاهی دارد. همچنین حق‌نظر و همکاران (۲۰۱۹) به این نتیجه رسیدند که محل اتصال دماغه به تاج، محل اتصال شیب بالادست به دماغه و تاج آبشکن حساس‌ترین ناحیه‌های آبشکن در تخریب می‌باشند.

با نگاهی به مطالعات صورت گرفته بر روی آبشکن‌های باز میله‌ای مشاهده می‌گردد که نقصان مطالعه در زمینه آبشکن‌های شمعی دوردیفه به وضوح مشخص است و تاکنون مطالعه‌ای در زمینه مقایسه آبشستگی در اطراف آبشکن‌های میله‌ای یک‌ردیفه با دوردیفه صورت نگرفته است و در مورد فاصله دو ردیف شمع‌ها و نحوه قرارگیری دو ردیف میله‌ها نسبت به یکدیگر بر عملکرد آبشکن میله‌ای نیز بررسی انجام نشده است. با توجه به توصیه‌های محققین هیدرولیک مبنی بر کاربرد آبشکن باز در رودخانه‌ها به دلیل تغییرات کمتری که در مورفولوژی و الگوی جریان ایجاد می‌کنند، لذا در این پژوهش، عملکرد آبشکن‌های میله‌ای دوردیفه بررسی شده است. در این راستا برای بررسی موارد فوق‌الذکر، تغییرات توپوگرافی بستر در اطراف آبشکن‌های باز میله‌ای یک‌ردیفه و دوردیفه با آرایش

مناسب‌تری برای آبشکن بسته می‌باشند. محمود و همکاران (۲۰۰۸) بررسی الگوی جریان در اطراف آبشکن‌های باز با درصدهای متفاوت بازشدگی و طول-های مختلف در سیلاب‌دشت یک کانال مرکب را بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نصب آبشکن‌های باز در سیلاب‌دشت‌ها تأثیر کمی بر جریان در کانال اصلی دارد؛ در حالی که آبشکن بسته به شدت جریان کانال اصلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. احمد و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر سری‌های دوتایی آبشکن‌های نفوذناپذیر و باز در کانال‌های مرکب را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که اگر فاصله نسبی دو آبشکن، کمتر از ۲ باشد تأثیر دو آبشکن بر روی جریان، شبیه تک‌آبشکن خواهد بود.

جونگو و همکاران (۲۰۱۱) به صورت آزمایشگاهی مشخصات جریان در اطراف یک آبشکن با هندسه و نفوذپذیری متفاوت را بررسی نمودند. نتایج آبشکن‌های میله‌ای نشان داد که با افزایش فاصله بین میله‌ها، سرعت جریان در دماغه آبشکن کاهش می‌یابد. عثمان و همکاران (۲۰۱۲) با انجام آزمایشاتی، اثر تنگ‌شدگی بر روی سری آبشکن‌های باز و نفوذناپذیر را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های نفوذناپذیر با نسبت تنگ‌شدگی ۶۰ درصد، ۲/۶ برابر عمق آبشستگی با نسبت تنگ‌شدگی ۸۰ درصد است و این نسبت برای آبشکن‌های باز ۳ برابر است. ژو و همکاران (۲۰۱۴) اثر آبشکن‌های باز در سامان‌دهی رودخانه‌های کوهستانی و ساختار جریان را بررسی نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که این سازه‌ها دارای ایمنی بیشتری بوده و ناحیه برگشت جریان در بالادست آن کوچک‌تر است؛ لذا تغییر کمتر میدان جریان برای زندگی آبزیان مفیدتر است. یباره‌پور (۲۰۱۳)، تأثیر نفوذپذیری آبشکن مستقیم بر الگوی فرسایش در شرایط غیر مستغرق را بررسی کرد. نتایج نشان داد حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن بسته به میزان بیش از ۴ برابر بیشتر از حداکثر عمق آبشستگی با میزان بازشدگی ۵۰ درصد است. اخیراً نیز مطالعاتی بر روی آبشکن‌های

هندسی متفاوت میله‌ها برای درصدهای نفوذپذیری (۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪) به صورت آزمایشگاهی تعیین و با آبشکن نفوذناپذیر مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌های مورد نظر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بوعلی سینا در یک فلوم بتنی به طول ۱۵ متر، ارتفاع و عرض ۰/۶ متر با دیواره‌های شفاف از جنس شیشه ۱۰ میلی‌متری انجام شد. در انتهای کانال یک دریچه پروانه‌ای به منظور تنظیم عمق جریان قرار داشت. در شکل ۱ بطور شماتیک پلان کانال تحقیقاتی نشان داده شده است. جهت ایجاد بستر فرسایش‌پذیر در اطراف آبشکن، ناحیه‌ای به طول ۲ متر در اواسط کانال تعبیه شد به طوری که جریان در آن ناحیه توسعه یافته باشد. این ناحیه تا ارتفاع ۰/۲۶ متر با مصالح ماسه‌ای پر گردید مصالح مورد استفاده از الک‌های ۱۰ و ۲۰ عبور داده شده و ماسه مابین این دو الک مورد استفاده قرار گرفت. قطر متوسط (d_{50}) مصالح ماسه‌ای مورد استفاده با توجه به منحنی دانه بندی ۱/۵۵ میلی‌متر تعیین گردید. در شکل ۲ منحنی دانه بندی مصالح مورد استفاده نشان داده شده است. آبشکن‌ها در قسمت میانی این فضای دو متری پر شده از مصالح و در جداره فلوم به صورت عمود بر دیواره نصب شدند. همچنین برای اندازه‌گیری مقدار آبشستگی و سرعت جریان از دستگاه سرعت‌سنج سه‌بعدی (ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) استفاده شد. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری سرعت جریان در سه جهت و قابلیت اندازه‌گیری فاصله از کف در داخل آب را دارد. محدوده اندازه‌گیری سرعت‌ها در این دستگاه بین 0.1 m s^{-1} الی $\pm 4 \text{ m s}^{-1}$ و دقت اندازه‌گیری 1 mm s^{-1} است. همچنین در این تحقیق از آبشکن بسته و آبشکن‌های باز یک‌ردیفه و دو‌ردیفه زیگزاگی و در امتداد هم با زاویه اتصال به ساحل ۹۰ درجه، طول ۱۲ سانتی‌متر و درصدهای بازشدگی ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ استفاده گردید.

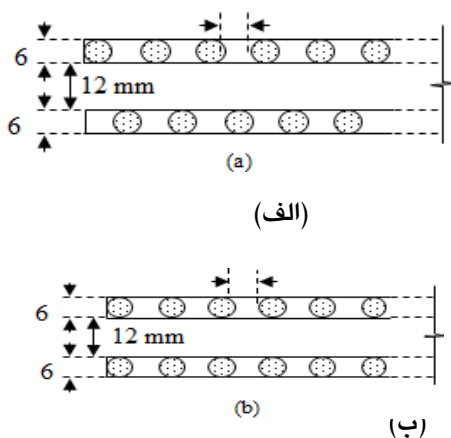
(منظور از بازشدگی نسبت سطح باز مانع به سطح کل آن می‌باشد). به منظور ساخت آبشکن‌های باز از یک‌سری میله‌های آهنی به قطر ۶ میلی‌متر که در قطعات ۶۰ سانتی‌متری برش داده شده بودند استفاده شد. آرایش آبشکن‌های در امتداد هم به این صورت بود که میله‌ها و فواصل خالی بین آن‌ها در دو ردیف آبشکن به نحوی قرار می‌گیرند که در یک امتداد باشند اما در حالت زیگزاگی میله‌های یک ردیف در مقابل فضای خالی ردیف دیگر قرار می‌گیرند. دو ردیف میله‌ها با فواصل مرکز به مرکز ۶، ۱۲ و ۱۸ و ۲۴ میلی‌متر که به ترتیب معادل (3d، 2d، d و 4d) می‌باشد قرار داده شدند. شکل ۳ به صورت شماتیک نحوه قرارگیری میلگردها را در دو حالت آبشکن دوردیفه زیگزاگی و در امتداد هم نشان می‌دهد. در شکل ۴ نیز آبشکن‌های ساخته شده با درصد بازشدگی‌های مختلف نشان داده شده است (پزین ۲۰۱۶).

با ثابت در نظر گرفتن دبی، عمق جریان در کانال بالادست از طریق بالا و پایین بردن دریچه پروانه‌ای که در پایین دست کانال قرار داشت تغییر می‌کرد و با تغییر عمق جریان آزمایش‌ها با مقدار پارامتر $\frac{U}{U_c}$ معادل ۰/۸۸ انجام شده است. به این ترتیب با انجام محاسبات برای عمق جریان ۱۴/۶ سانتی‌متر و اعداد فرود ۰/۲۶ به دست آمد. تعیین زمان تعادل نسبی با آزمایش‌های جداگانه انجام شد. نحوه انجام آزمایش‌های زمان تعادل به این صورت بود که عمق آبشستگی در زمان‌های مختلف ثبت شده و سپس از روی منحنی ترسیمی، زمان تعادل نسبی تعیین گردید. در شکل ۵ نمودار زمان تعادل نشان داده شده است. طبق نمودار داده شده از ساعت نهم به بعد سرعت آبشستگی با کاهش قابل توجهی همراه است، به طوری که در ۵۴۰ دقیقه ابتدایی، حدود ۹۵ درصد میزان آبشستگی اتفاق افتاده است. به همین دلیل زمان تعادل آزمایش‌ها، ۵۴۰ دقیقه معادل ۹ ساعت در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها به این صورت انجام می‌شد که پس از زمان تعادل ۹ ساعت و به تعادل رسیدن بستر و برداشت آبشستگی با استفاده از دستگاه ADV آغاز می‌شد. جهت

محدوده نزدیک آبشکن که نرخ تغییرات عمق آبشستگی نسبت به فاصله سریعتر می‌باشد نقاط برداشت نزدیک به هم در نظر گرفته شود.

تسهیل و افزایش دقت در تعیین تغییرات توپوگرافی بستر در اطراف آبشکن، برداشت تغییرات عمق بر روی یک شبکه صورت گرفت. شکل ۶ مش بندی کانال در ناحیه اطراف آبشکن جهت برداشت توپوگرافی بستر را نشان می‌دهد. شبکه بندی به گونه ای طراحی گردید که در

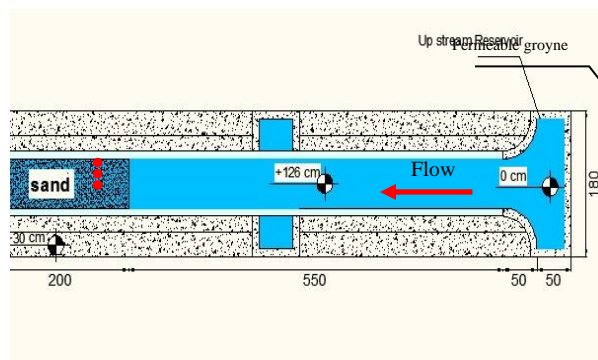
شکل ۲- منحنی دانه بندی مصالح مورد استفاده جهت بستر فرسایش پذیر.



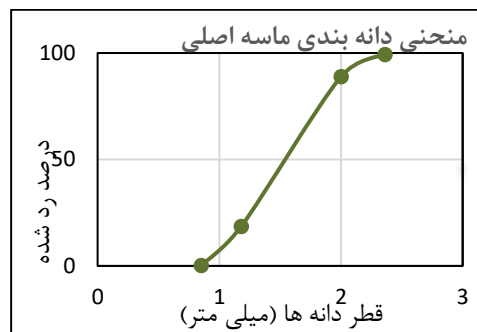
شکل ۳- نمای شماتیک از آبشکن باز دو ردیفه (الف) زیگزاگی و (ب) در امتداد هم.



شکل ۴- تصاویری از آبشکن های باز (الف): ۳۰٪، (ب) ۵۰٪ و (ج) ۷۰٪



شکل ۱- نمای شماتیک از پلان کانال مورد استفاده .



با انتخاب حداکثر عمق آبهستگی (d_s) به عنوان متغیر

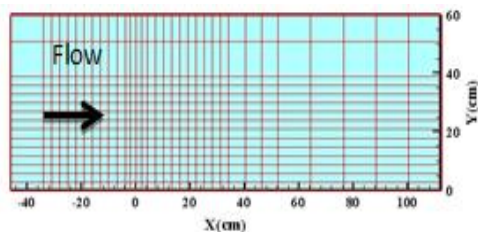
وابسته، رابطه ۱ به دست می آید:

$$d_s = f\left(\frac{B}{H}, S_0, L, \theta, h, T_i, N, I, S_s, O_p, U, \frac{d_{50}}{H}, \rho_s, \sigma_g, \phi, P, S_{fd}, \rho, g, \theta\right) \quad [1]$$

برای آنالیز ابعادی روش های مختلفی وجود دارد، در

بین این روش ها، روش Π باکینگهام به طور گسترده جهت

تعیین پارامترهای بدون بعد مؤثر در پدیده های فیزیکی



شکل ۶- مش بندی کانال جهت برداشت توپوگرافی بستر.

مورد استفاده قرار می گیرد که در این تحقیق از این روش

استفاده شد. شکل کلی رابطه ۱ را با استفاده از روش Π

باکینگهام، می توان به صورت رابطه ۲ نوشت:

$$\frac{d_s}{H} = f\left(\frac{B}{H}, S_0, \frac{L}{H}, \theta, \frac{h}{H}, \frac{T_i}{H}, N, \frac{I}{H}, S_s, O_p, \frac{d_{50}}{H}, \frac{\rho_s}{\rho}, \sigma_g, \phi, P, S_{fd}, \frac{gH}{U^2}, \frac{\theta}{HU}\right) \quad [2]$$

با توجه به این که شیب کانال ثابت بوده پارامتر بدون

بعد S_0 حذف می شود. به علت ثابت بودن سیال و جنس

مصالح بستر (غیرچسبنده بودن، یکنواخت، ...) و تمیز

بودن آب پارامترهای بدون بعد $\frac{\rho_s}{\rho}, \sigma_g, \phi, P, S_{fd}$ نیز حذف

می شوند.

عبارت $\frac{\theta}{HU}$ عدد رینولدز و هم چنین ریشه دوم عبارت

به عنوان شکلی از عدد فرود شناخته شده است. با

ترکیب پارامترهای بدون بعد $\frac{L}{H}, \frac{h}{H}, \frac{B}{H}$ و اعداد بدون

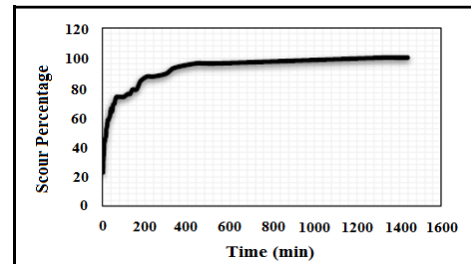
بعد رابطه زیر برای بررسی اثرات متغیرها بر آبهستگی

اطراف آبهشکن باز میله ای حاصل شد.

$$\frac{d_s}{H} = f\left(\frac{B}{T_i}, \theta, \frac{L}{h}, N, \frac{I}{H}, S_s, O_p, Fr, Re\right) \quad [3]$$

با توجه به آشفته بودن جریان و بزرگتر بودن عدد

رینولدز از ۵۰۰۰۰ در تمامی آزمایش ها، می توان از



شکل ۵- تغییرات حداکثر آبهستگی نسبت به زمان.

آنالیز ابعادی

به منظور یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر آبهستگی

در اطراف آبهشکن های باز، آنالیز ابعادی بر روی

پارامترهای مؤثر انجام شد. متغیرهای مستقل و مؤثر در

این زمینه عبارتند از:

عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض کانال (B),

شیب طولی مجرا (S_0)

عوامل مربوط به هندسه آبهشکن: طول آبهشکن (l),

زاویه اتصال آبهشکن به ساحل (θ), ارتفاع آبهشکن (h),

ضخامت آبهشکن (T_i), تعداد ردیف شمع های آبهشکن (N),

فاصله بین آبهشکن ها (L), شکل آبهشکن (S_s) و درصد

بازشدگی آبهشکن (O_p).

عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: سرعت

متوسط جریان در بالادست آبهشکن (U), عمق جریان در

بالادست آبهشکن (H).

عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر: قطر متوسط

مصالح بستر (d_{50}), جرم مخصوص مصالح (ρ_s), انحراف

استاندارد توزیع اندازه ذره (σ_g), زاویه اصطکاک داخلی

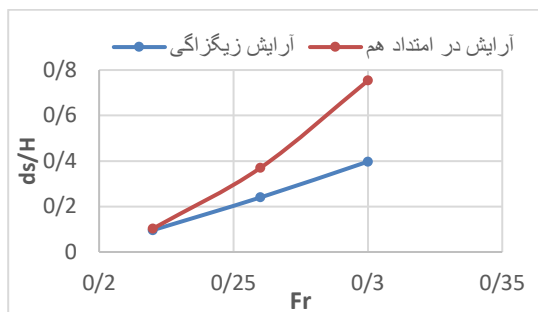
مصالح بستر (ϕ), تخلخل مصالح بستر (P) و شکل دانه ها

(S_{fd}).

عوامل مربوط به خواص سیال: جرم مخصوص آب

(ρ), شتاب ثقل (g) و لزجت سینماتیکی (ν).

افزایش مقدار حداکثر عمق آبشستگی پیرامون آبشکن می‌گردد. همچنین با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که مقادیر حداکثر آبشستگی آبشکن دوردیفه در امتداد هم در دو عدد فرود ۰/۲۶ و ۰/۳ از مقادیر متناظر برای آبشکن زیگزاگی بزرگتر می‌باشد. بطوریکه برای اعداد فرود جریان ۰/۲۶ و ۰/۳ حداکثر عمق آبشستگی بترتیب به میزان ۶۷٪ و ۸۶٪ برای آرایش زیگزاگی شمع‌ها نسبت به آرایش در امتداد هم شمع‌ها کمتر است. مهمترین دلیلی که می‌توان برای بیشتر بودن حداکثر عمق آبشستگی برای آرایش آبشکن باز دوردیفه در امتداد هم نسبت به زیگزاگی بیان نمود جذب بخشی از انرژی جریان توسط ردیف دوم میله‌ها می‌باشد برای آرایش زیگزاگی نسبت به آرایش در امتداد هم می‌باشد، که میله‌های ردیف دوم در معرض مستقیم جریان نمی‌باشد.



شکل ۷- تغییرات عمق ماکزیمم آبشستگی نسبت به

عدد فرود برای آرایش‌های متفاوت شمع‌ها.

بررسی اثر درصد بازشدگی و آرایش هندسی آبشکن‌های دو ردیفه بر میزان حداکثر آبشستگی

یکی از شاخص‌های مهم در تعیین مشخصات چاله فرسایشی و پیش‌بینی موقعیت و دامنه گسترش آن، حداکثر عمق چاله فرسایشی می‌باشد. با توجه به شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ ملاحظه می‌شود که روند تغییر حداکثر عمق آبشستگی با افزایش نفوذپذیری، کاهش می‌یابد. آبشکن بسته بیشترین مقدار آبشستگی را دارد و در آبشکن‌های باز دو ردیفه در هر دو آرایش زیگزاگی و

اثرات عدد رینولدز صرف‌نظر کرد. به علت ثابت بودن عرض کانال و ضخامت، طول و ارتفاع آبشکن می‌توان آن‌ها را نیز حذف کرد (پارامترهای بدون بعد $\frac{L}{H}$ و $\frac{B}{T_i}$) و در نهایت رابطه ۳ به رابطه ۴ ساده می‌گردد.

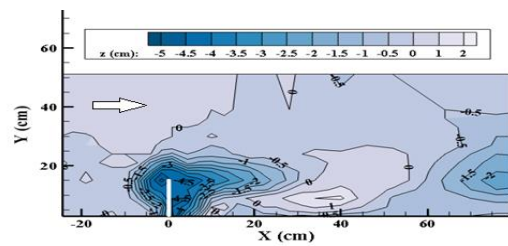
$$\frac{d_s}{H} = f\left(N, \frac{L}{H}, S_s, O_p, Fr\right) \quad [4]$$

در نتیجه متغیرهای تأثیرگذار بر آبشستگی در اطراف آبشکن‌های باز که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند شامل تعداد ردیف شمع‌های آبشکن، فاصله آبشکن‌های دوردیفه، شکل و آرایش آبشکن دو ردیفه، درصد بازشدگی و عدد فرود جریان می‌باشند.

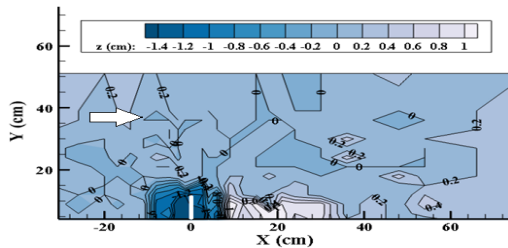
نتایج و بحث

بررسی تأثیر عدد فرود بر مقدار عمق حداکثر آبشستگی همانطور که نتیجه آنالیز ابعادی نشان می‌دهد عدد فرود یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر در حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها می‌باشد البته افزایش حداکثر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن نسبت به افزایش عدد فرود بدیهی بوده و در تحقیقات اخیر کمتر به آن پرداخته می‌شود لیکن برای مقایسه تغییرات عمق حداکثر آبشستگی نسبت به عدد فرود برای دو آرایش هندسی متفاوت آبشکن‌های باز دو ردیفه در این تحقیق بررسی‌هایی انجام پذیرفت.

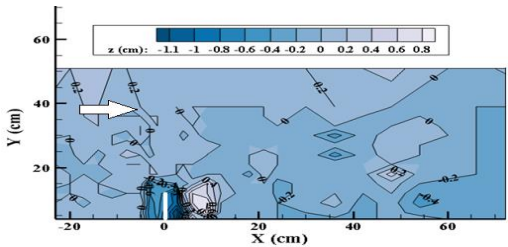
در شکل ۷ تغییرات ماکزیمم آبشستگی نسبت به سه عدد فرود ۰/۲۲، ۰/۲۶ و ۰/۳ که با توجه به شرایط آزمایشگاهی امکان ایجاد آن بود برای دو آرایش متفاوت زیگزاگی و در امتداد هم آبشکن‌های باز دوردیفه با درصد بازشدگی ۳۰ درصد رسم شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود در هر دو مدل آرایش شمع‌ها، با افزایش عدد فرود مقدار حداکثر آبشستگی افزایش می‌یابد. زیرا افزایش عدد فرود باعث بالارفتن سرعت و توان حمل رسوب جریان شده که منجر به



30%

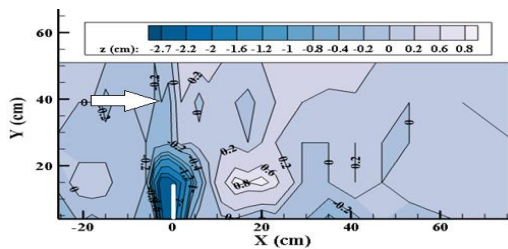


50%

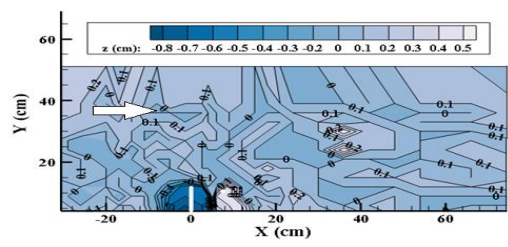


70%

شکل ۹- مورفولوژی اطراف آبشکن باز دو ردیفه در امتداد هم با درصدهای بازشدگی مختلف و فاصله دو ردیف ۶ میلی‌متر.

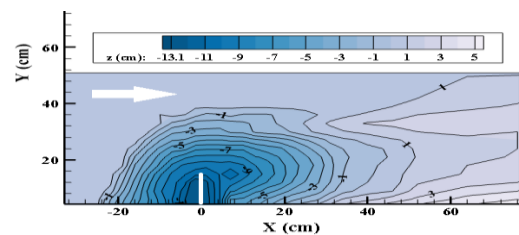


30%



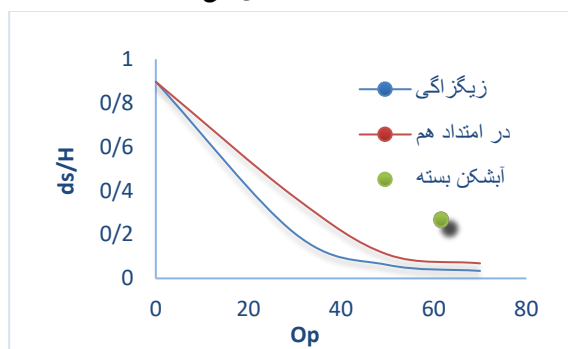
50%

در امتداد هم، کاهش مقدار حداکثر عمق آبشستگی با افزایش درصد بازشدگی مشاهده می‌شود. آبشکن‌های بسته به صورت مانعی غیر قابل نفوذ در مقابل جریان آب عمل می‌کنند و باعث بروز اختلالات شدیدی در الگوی جریان اطراف آبشکن می‌شوند. برخورد جریان به آبشکن و انحراف شدید خطوط جریان باعث تشکیل جریان‌های گردابی نعل اسبی و چرخشی در دماغه آبشکن شده که همین جریان‌ها باعث فرسایش دماغه آبشکن و تشکیل حفره آبشستگی می‌شوند. در حالی‌که در آبشکن‌های باز، عبور جریان از میان آبشکن امکان‌پذیر بوده و انحراف جریان کمتری صورت می‌گیرد. با افزایش میزان درصد بازشدگی آبشکن، عامل وقوع آبشستگی موضعی حول آبشکن که جریان‌های چرخشی و گردابه‌های نعل اسبی (حاصل جریان‌های عرضی و پایین‌رونده) می‌باشد به میزان کمتری در بالادست آبشکن شکل می‌گیرد و نهایتاً مقدار ماکزیمم آبشستگی کمتری را نتیجه می‌دهد در آبشکن با درصد بازشدگی ۳۰٪، حفره به سمت مرکز کانال پیش‌روی داشته است؛ تمرکز آبشستگی در محدوده دماغه بوده و رسوب‌گذاری نیز در همین امتداد و به دیواره کانال کمی نزدیک‌تر شده است. و رسوب‌گذاری نیز در همین امتداد و به دیواره کانال کمی نزدیک‌تر شده است. در حالی‌که در آبشکن‌های باز با درصد بازشدگی ۵۰ و ۷۰٪، کاهش طول و عرض حفره آبشستگی مشاهده می‌شود؛ به طوری‌که آبشستگی تنها در طول آبشکن و دماغه رخ داده است. و رسوب‌گذاری تقریباً یکنواختی نیز، در همین امتداد و کمی پایین‌تر اتفاق افتاده است.



شکل ۸- تغییرات مورفولوژی اطراف آبشکن بسته.

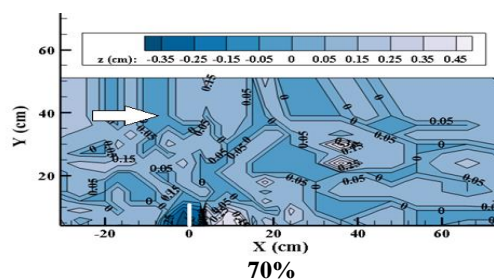
درصدهای نفوذپذیری در این نوع آرایش، آبشستگی بیشتری نسبت به حالت زیگزگی رخ داده است.



شکل ۱۱- تغییرات ماکزیمم آبشستگی نسبت به درصد بازشدگی آبشکن‌ها.

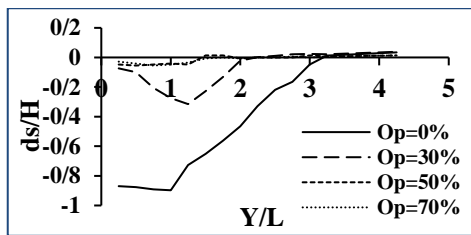
مهم‌ترین دلیل این پدیده را می‌توان در چگونگی مکانیزم جریان در برخورد با دونوع آبشکن بیان نمود. از آنجا که در آرایش زیگزگی شمع‌ها، جریان عبوری از شمع‌های ردیف اول آبشکن در راستای حرکت خود به میله‌های ردیف دوم آبشکن برخورد می‌کند. با توجه به این‌که سرعت جریان در عبور از آبشکن‌های باز به تناسب میزان نفوذپذیری آن‌ها کاسته می‌شود، این برخورد باعث افت شدید انرژی در جریان شده و اگر هم قسمتی از جریان برخورد نموده به میله‌های آبشکن دوم به سمت بستر حرکت کند، دیگر توان حمل رسوب نداشته و آبشستگی را سبب نمی‌گردد. جهت بررسی دقیق‌تر اثر درصد بازشدگی آبشکن بر آبشستگی بستر، مقاطع عرضی در محل اتصال آبشکن به دیواره و ۳ سانتی-متری قبل و بعد از آن ترسیم شده است. با کاهش درصد بازشدگی، تأثیر آبشکن بر جریان و آشفتگی جریان حول آبشکن بیشتر می‌شود و به دنبال

ایجاد گردابه‌های بزرگتر و انحراف شدیدتر جریان در محل آبشکن، آبشستگی اطراف آبشکن بیشتر می‌شود.

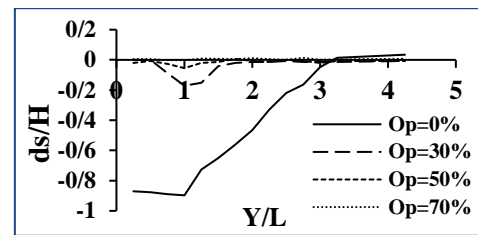


شکل ۱۰- مورفولوژی اطراف آبشکن باز دو ردیفه زیگزگی با درصدهای بازشدگی مختلف و فاصله ردیف ۶ میلی‌متر.

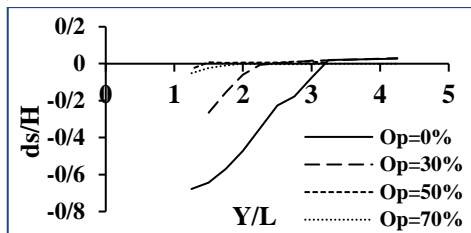
هرچه درصد بازشدگی آبشکن کمتر باشد میزان انحراف جریان و جریان‌های قائم رو به بستر در بالادست آبشکن بیشتر بوده و شدت گردابه‌های نعل اسبی شکل گرفته نیز افزایش می‌یابد. به همین دلیل در آبشکن با درصد بازشدگی ۳۰٪، مقدار آبشستگی بیشتر بوده و جریان انحرافی که از پیشانی آبشکن عبور می‌کند باعث عمیق‌تر شدن حفره در محدوده دماغه شده است. درحالی‌که با افزایش درصد بازشدگی به دلیل عبور حجم بالاتری از جریان از لابه‌لای شمع‌ها، عامل ایجاد آبشستگی که همان جریان‌های گردابه‌ای و چرخشی هستند، به شدت کاهش یافته و همچنین میزان انحراف جریان در این آبشکن‌ها بسیار کم می‌شود. به همین علت تمرکز آبشستگی در محدوده دماغه آبشکن نبوده و بیشتر در طول آبشکن و بین شمع‌ها رخ داده است. در شکل ۱۱ تغییرات حداکثر عمق نسبی آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها نسبت به درصد بازشدگی ارائه شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود آبشکن بسته بیشترین مقدار آبشستگی و آبشکن دو ردیفه زیگزگی با درصد بازشدگی ۷۰٪ کمترین میزان آبشستگی را دارد. همچنین روند کاهشی حداکثر عمق آبشستگی برای حالت آبشکن میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم، کندتر بوده و در تمامی



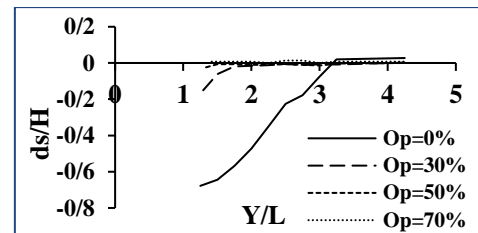
مقطع ۳ سانتی متری قبل از آبشکن در امتداد هم



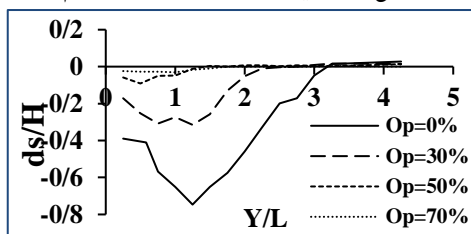
مقطع ۳ سانتی متری قبل از آبشکن زیگزاگی



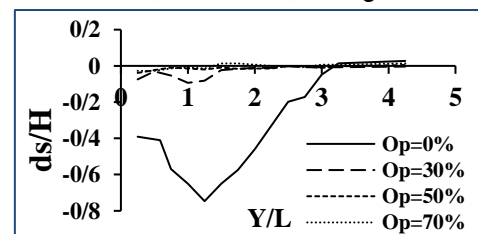
مقطع قرارگیری آبشکن در امتداد هم



مقطع قرارگیری آبشکن زیگزاگی



مقطع ۳ سانتی متری بعد از آبشکن در امتداد هم



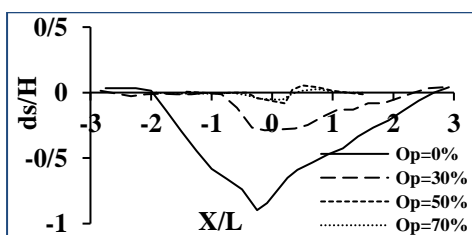
مقطع ۳ سانتی متری بعد از آبشکن زیگزاگی

شکل ۱۲ - تأثیر درصد بازشدگی بر مقاطع عرضی بستر کانال در محل آبشکن و فواصل ۳ سانتی متری قبل و بعد از آن.

تمام طول بالادست آبشکن بیشتر می شود و طول تأثیر جریان بر پروفیل پایین دست آبشکن نیز افزایش می یابد. ابعاد حفره آبشستگی تحت تأثیر حداکثر عمق آبشستگی می باشد؛ به این صورت که افزایش عمق آبشستگی باعث ریزش دیواره های چاله به سمت داخل شده و رسوبات توسط جریان های عرضی به سمت دماغه حرکت نموده و سپس به وسیله جریان های انحرافی پرقدرت در محل دماغه به پایین دست منتقل می شوند. این روند، باعث گسترده

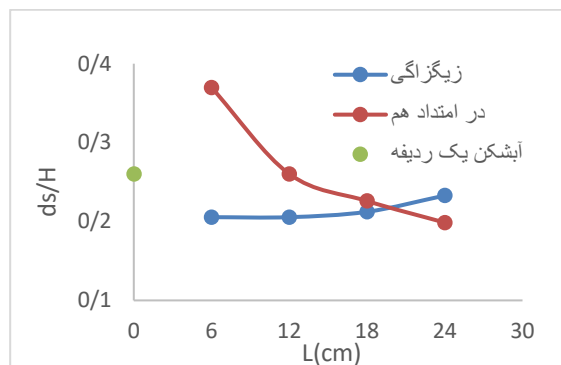
همان طور که در شکل ۱۲ مشاهده می شود با کاهش درصد بازشدگی، عمق آبشستگی افزایش می یابد و پروفیل عرضی در تمامی عرض کانال عمیق تر می شود. همچنین با کاهش درصد بازشدگی شمع ها، عرض حفره آبشستگی نیز افزایش می یابد و به سمت دیواره مقابل آبشکن پیشروی می کند.

با توجه به مقاطع ترسیم شده، ملاحظه می گردد که پروفیل بستر در مقدار بازشدگی ۵۰ و ۷۰ درصد بسیار نزدیک به هم بوده و از پروفیل عرضی آبشکن با بازشدگی ۳۰ درصد فاصله دارد که حاکی از نزدیکتر بودن مکانیزم آبشستگی رخ داده در این دو درصد بازشدگی است. در شکل ۱۳ پروفیل طولی بستر کانال در محل دماغه آبشکن برای آرایش های زیگزاگی و در امتداد هم آورده شده است. با بررسی مقاطع طولی رسم شده چنین برداشت می شود که با کاهش درصد بازشدگی آبشکن، میزان حداکثر عمق آبشستگی در هر پروفیل طولی افزایش می یابد. همچنین عمق نسبی آبشستگی در



الف) آبشکن باز دو ردیفه در امتداد هم

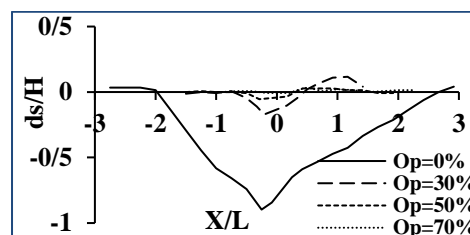
آرایش زیگزاگی، افزایشی می‌باشد. شکل ۱۴ روند مذکور را برای درصد بازشدگی ۳۰٪ نشان می‌دهد.



شکل ۱۴- تغییرات ماکزیمم آبشستگی نسبت به آرایش و فاصله آبشکن‌ها برای بازشدگی ۳۰ درصد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در این درصد بازشدگی، روند تغییرات حداکثر آبشستگی در آرایش در امتداد هم، شدیدتر بوده و شیب تغییرات در حالت زیگزاگی بسیار کم می‌باشد.

در این شکل همچنین ملاحظه می‌گردد که آبشستگی حداکثر در اطراف آبشکن یک ردیفه همواره بیشتر از آبشستگی حداکثر در اطراف آبشکن دو ردیفه زیگزاگی است و به فاصله دو ردیف بستگی ندارد، لیکن در مورد آبشکن دو ردیفه در امتداد هم تا هنگامی که فاصله دو ردیف شمع‌ها کمتر از دو برابر قطر آن‌ها است حداکثر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن دو ردیفه بیشتر از آبشکن یک ردیفه است اما با افزایش فاصله دو ردیف به بیش از دو برابر قطر شمع‌ها، حداکثر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن دو ردیفه کمتر از آبشکن یک ردیفه می‌گردد. با توجه به مکانیزم بیان شده در مورد برخورد جریان با آبشکن دو ردیفه زیگزاگی هر چه فاصله بین آبشکن‌ها در این حالت کمتر گردد، شدت استهلاک انرژی جریان در اطراف آبشکن بیشتر بوده و آبشستگی کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله دو ردیف شمع به دلیل این که از شدت استهلاک انرژی جریان ذکر شده بین دو ردیف آبشکن کاسته می‌گردد، آبشستگی بیشتر می‌شود.



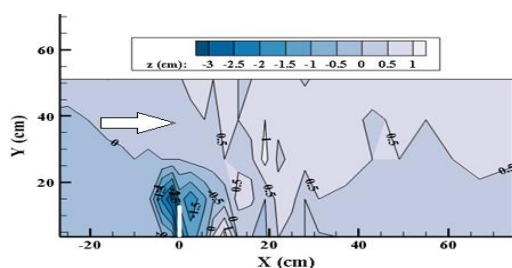
شکل ۱۳- تأثیر درصد بازشدگی آبشکن بر مقاطع طولی بستر کانال در محل دماغه آبشکن.

آبشستگی حول آبشکن می‌شود. بر همین اساس و با توجه به مقاطع طولی ترسیم شده، مشاهده می‌شود که هرچه عمق آبشستگی در پروفیل بیشتر شده، طول حفره آبشستگی نیز قبل و بعد از آبشکن افزایش یافته است. با توجه به اینکه عمق آبشستگی با افزایش درصد بازشدگی آبشکن، کاهش می‌یابد؛ ابعاد حفره ایجاد شده نیز به تبع آن، کوچک‌تر شده است.

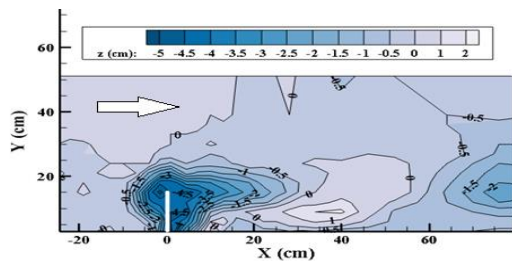
بررسی تأثیر آرایش (یک ردیفه، دو ردیفه در امتداد هم و زیگزاگی) و فاصله آبشکن‌های دو ردیفه بر آبشستگی حول آبشکن

یکی دیگر از پارامترهای دیگری که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت تأثیر فاصله دو ردیف شمع از یکدیگر، بر تغییرات توپوگرافی بستر در اطراف آبشکن‌های باز دو ردیفه در آرایش هندسی زیگزاگی و در امتداد هم می‌باشد. همانگونه که قبلاً بیان گردید برای آبشکن‌های دو ردیفه با دو آرایش متفاوت میله‌ها، فواصل ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ میلی‌متر که مضربی از قطر میله‌های بکاررفته در ساخت آبشکن‌ها می‌باشد انتخاب گردید. درصد بازشدگی آبشکن‌ها هم مانند شرایط قبلی بیان شده در نظر گرفته شد. تحلیل و بررسی میزان حداکثر عمق آبشستگی برای مقادیر متفاوت درصد بازشدگی آبشکن‌های باز نشان داد که با افزایش فاصله دو ردیف در آرایش در امتداد هم میله‌ها، ماکزیمم عمق آبشستگی کاهش پیدا می‌کند؛ در حالی که اثر افزایش فاصله بر مقدار حداکثر عمق آبشستگی برای میله‌های با

در اثر رویارویی با میله‌ها تغییر جهت داده و به سمت بستر حرکت می‌کند. این جریان‌ها موسوم به جریان‌های پایین‌رونده؛ در نزدیکی بستر تبدیل به گردابه‌های نعل اسبی شده و باعث ایجاد فرسایش در بالادست آبشکن می‌شوند. بخشی از جریان نیز در اثر برخورد به آبشکن منحرف شده و با جریان پر قدرت مرکزی همراه می‌شود. ترکیب این جریان انحرافی با گردابه‌های شکل گرفته پشت آبشکن باعث ایجاد آبشستگی در محل دماغه آبشکن می‌شود که در اکثر موارد، ماکزیمم آبشستگی در همین محدوده رخ می‌دهد. نهایتاً مقداری از جریان نیز با سرعت کمی از بین میله‌ها عبور می‌کند. در مورد چگونگی عبور جریان در آبشکن دو ردیفه زیگزاگی با توجه به نحوه قرارگیری ردیف اول و دوم شمع‌ها نسبت به یکدیگر نیز قبلاً توضیح داده شد. اما در آبشکن‌هایی که آرایش میله‌ها در آن‌ها به صورت در امتداد هم می‌باشد، با افزایش فاصله دو ردیف میله، آبشستگی در بستر کاهش می‌یابد.

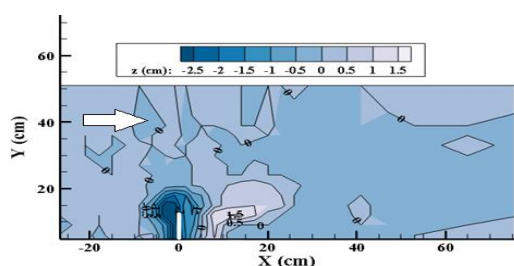


شکل ۱۵- توپوگرافی بستر در حالت آبشکن یک‌ردیفه با درصد بازشدگی ۳۰٪.

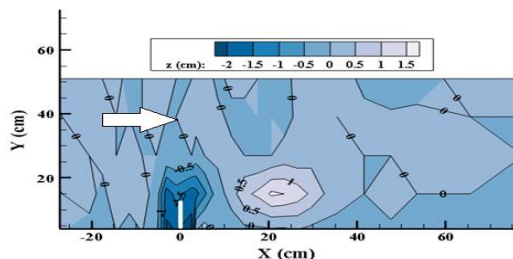


6 mm

با توجه به شکل‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ که به ترتیب توپوگرافی بستر در حالت آبشکن باز یک‌ردیفه، دو ردیفه در امتداد هم و دو ردیفه زیگزاگی را نمایش می‌دهند، در هر آرایش فرم کلی حفره آبشستگی، محل تشکیل آن، طول حمل رسوبات توسط جریان و محل و ابعاد پشته رسوبی بسیار شبیه به هم بوده و میزان اختلافات چشم‌گیر نمی‌باشد. در حالت آبشکن یک‌ردیفه، آبشستگی در امتداد طول آبشکن بوده و عمیق‌ترین بخش آن مربوط به محدوده دماغه آبشکن می‌شود. رسوب‌گذاری نیز در فاصله کمی از آبشکن، در پایین‌دست و کمی نزدیک به دیواره رخ داده است. در آبشکن‌های دو ردیفه، عرض حفره آبشستگی در تمامی فواصل و آرایش‌ها تقریباً یکسان بوده است. طول کل حفره (مجموع طول بالادست و طول پایین‌دست حفره) در آبشکن‌های در امتداد هم از فاصله ۶ میلی‌متری ردیف‌ها به فاصله ۲۴ میلی‌متری، کاهش یافته است. در آبشکن‌های زیگزاگی، با تغییر فواصل دو ردیف میله‌ها از ۶ تا ۲۴ میلی‌متر، طول کل حفره تغییر آن‌چنانی نداشته است. همچنین محل رسوب‌گذاری و تشکیل پشته رسوبی در تمامی فواصل و آرایش‌های میله‌های دو ردیفه مشابه بوده؛ از لحاظ عرضی حدوداً در امتداد محل ماکزیمم آبشستگی (اندکی بالاتر از دماغه آبشکن) و در امتداد طولی کانال کمی پایین‌تر از محل آبشکن رخ داده است. به جز حالت آبشکن دو ردیفه در امتداد هم با فاصله ۶ میلی‌متر که پشته رسوبی کمی دورتر و نزدیک به دیواره مجاور تشکیل شده است. ابعاد پشته رسوبی نیز با میزان آبشستگی بستر ارتباط مستقیم دارد؛ به عبارت دیگر هر قدر مقدار حداکثر آبشستگی بیشتر باشد، رسوب‌گذاری در پایین‌دست نیز گسترده‌تر و مرتفع‌تر خواهد بود. با توجه به روند تغییرات رخ داده در مقادیر حداکثر عمق آبشستگی، به نظر می‌رسد مکانیزم وقوع پدیده آبشستگی در آبشکن‌های دوردیفه با آرایش‌های مختلف زیگزاگی و در امتداد هم متفاوت باشد. در آبشکن‌های باز، جریان آب به میله‌های ردیف اول آبشکن برخورد نموده، بخشی از آن



18mm

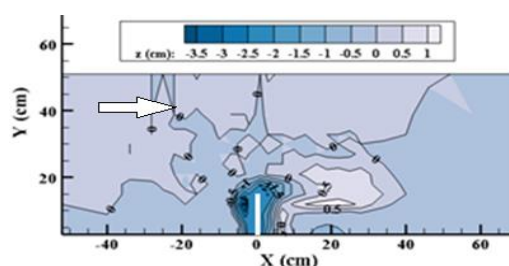


24mm

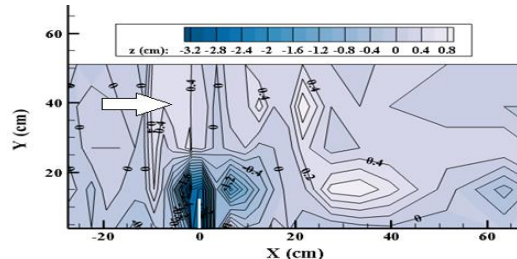
شکل ۱۷- توپوگرافی بستر در حالت آبشکن دو ردیفه زیگزاگی با درصد بازشدگی ۳۰٪ برای فواصل مختلف دو ردیف.

پروفیل عرضی بستر کانال در محل آبشکن و فواصل ۳ سانتی‌متری قبل و بعد از آن، مطابق شکل ۱۸ رسم گردیده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در آرایش میله‌ها به صورت زیگزاگی، با افزایش فاصله دو ردیف آبشکن، عمق و عرض حفره افزایش یافته است در حالی که در آرایش میله‌ها به صورت در امتداد هم، با زیاد شدن فاصله دو ردیف آبشکن، از عمق و عرض حفره آبشستگی کاسته شده است. با توجه به این‌که پروفیل طولی می‌تواند همزمان نشان‌دهنده تغییرات بستر در بالادست، پایین‌دست و محل آبشکن باشد.

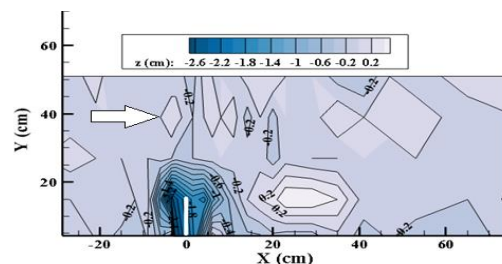
این پروفیل در فاصله ۱۲ سانتی‌متری از دیواره که مقطع دماغه آبشکن را نشان می‌دهد، در شکل ۱۹ ترسیم شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد در حالت آبشکن در امتداد هم میله‌ها، با افزایش فاصله دو ردیف آبشکن، عمق حفره ایجاد شده در مقطع نیز کاهش یافته است؛ اما محل تقریبی حداکثر عمق آبشستگی در این فواصل بسیار نزدیک به هم می‌باشد.



12 mm

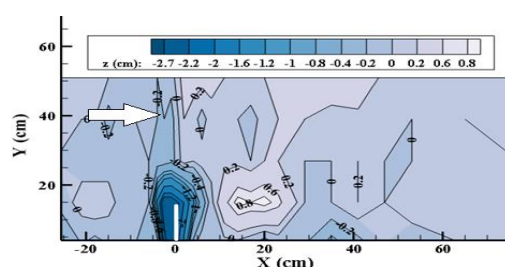


18 mm

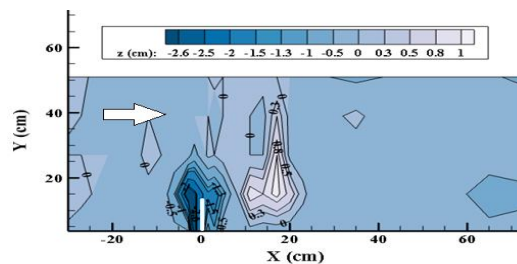


24 mm

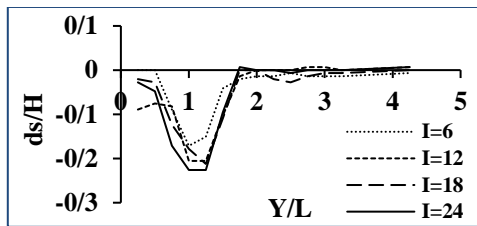
شکل ۱۶- توپوگرافی بستر در حالت آبشکن دو ردیفه در امتداد هم با درصد بازشدگی ۳۰٪ برای فواصل مختلف دو ردیف.



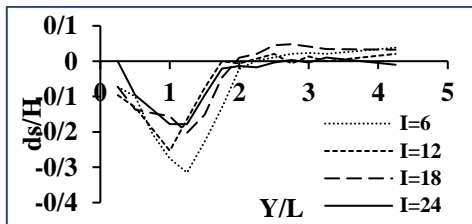
6mm



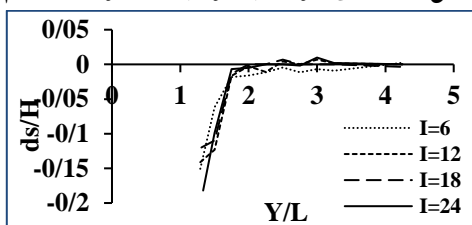
12mm



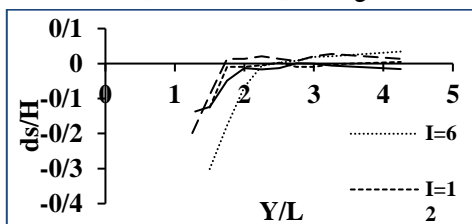
مقطع ۳ سانتی متری قبل از آبشکن زیگزاگی



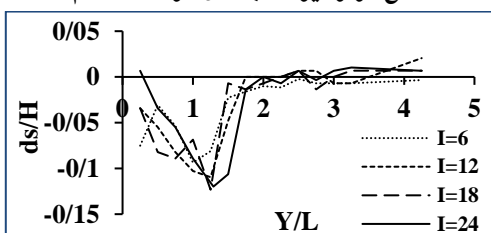
مقطع ۳ سانتی متری قبل از آبشکن در امتداد هم



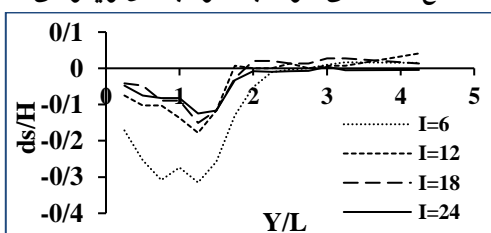
مقطع قرارگیری آبشکن زیگزاگی



مقطع قرارگیری آبشکن در امتداد هم

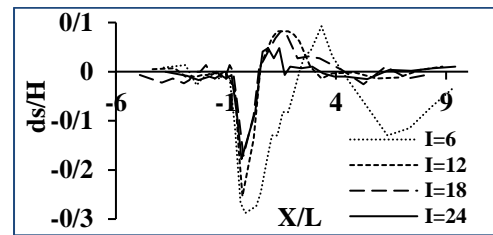


مقطع ۳ سانتی متری بعد از آبشکن زیگزاگی

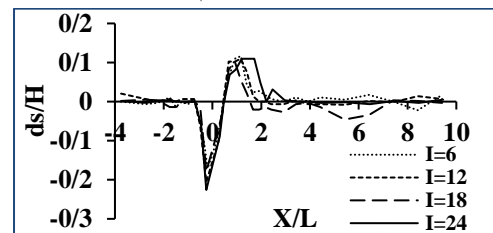


مقطع ۳ سانتی متری بعد از آبشکن در امتداد هم

شکل ۱۸- تأثیر آرایش و فاصله آبشکن بر مقاطع عرضی بستر کانال در محل آبشکن و فواصل ۳ سانتی متری قبل و بعد از آن.



در امتداد هم



زیگزاگی

شکل ۱۹- تأثیر آرایش و فاصله آبشکنها بر مقاطع

طولی بستر کانال در محل دماغه.

باتوجه به پروفیل‌های ترسیم شده در مقطع دماغه برای آبشکن دو ردیفه زیگزاگی، اختلاف مقادیر حداکثر عمق آبشستگی و طول حفره برای فواصل مختلف ردیف‌ها، اندک می‌باشد در حالی که برای آبشکن با آرایش در امتداد هم، طول حفره برای فواصل ۱۲، ۱۸ و ۲۴ میلی متری ردیف‌ها تقریباً برابر و در فاصله ۶ میلی متری به‌طور قابل ملاحظه‌ای گسترده‌تر می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر، بررسی و تحلیل تغییرات توپوگرافی بستر در اطراف آبشکن باز دو ردیفه با درصدهای مختلف بازشدگی و فواصل دو ردیف متفاوت شمع‌ها با دو چیدمان زیگزاگی و در امتداد هم و برای اعداد مختلف فرود صورت گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که:

- برای مقادیر مختلف درصد بازشدگی آبشکن‌ها، روند آبشستگی حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن دوردیفه در امتداد هم حدود ۸۵ درصد بیش از آبشکن دو ردیفه زیگزاگی است. همچنین با کاهش درصد بازشدگی از ۷۰٪ به ۳۰٪ در آبشکن باز دوردیفه در امتداد هم، و زیگزاگی

زیگزاگی است ولی نسبت به آبشکن در امتداد هم بستگی به فاصله بین دو ردیف شمع دارد. - در عدد فرود $0/22$ عمق حداکثر آبشستگی برای هر دو آبشکن زیگزاگی و در امتداد هم تقریباً یکسان بوده ولی با افزایش عدد فرود نرخ افزایش عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن در امتداد هم نسبت به آبشکن زیگزاگی بیشتر بوده و در عدد فرود $0/3$ ، عمق حداکثر آبشستگی در آبشکن در امتداد هم 86 درصد بیشتر از آبشکن زیگزاگی می باشد.

نرخ افزایش حداکثر عمق آبشستگی تقریباً شبیه هم می باشد.

- افزایش فاصله دو ردیف شمع بر مقدار حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن دو ردیفه زیگزاگی روند افزایشی داشته لیکن نرخ افزایش خیلی زیاد نیست. در حالیکه برای آبشکن در امتداد هم با افزایش فاصله دو ردیف شمع، عمق حداکثر آبشستگی کاهش می یابد. بطوریکه با افزایش فاصله دو ردیف شمع از یک برابر قطر شمع‌ها به چهار برابر قطر آن‌ها حداکثر عمق آبشستگی به میزان 87 درصد کاهش می یابد.

- آبشستگی حداکثر در اطراف آبشکن یک ردیفه همواره بیشتر از آبشستگی حداکثر در اطراف آبشکن دو ردیفه

منابع مورد استفاده

- Ahmed HS, Ahmed AA and Mostafa MM, 2015. Flow pattern in compound channel with floodplain double groyne. *Dam Engineering* 26(3):1-12.
- Baba Y, Camenen B, Peltier Y, Thollet F and Zhang H, 2010. Flows and bed load dynamics around spur dike in a compound channel. Pp. 1-11. 11th International Symposium on River Sedimentation (ISRS), 6-9 september, Stellenbosch, South Africa.
- Ezzeldin MM, Saafan TA, Rageh OS and Nejm LM, 2007. Local scour around spur dikes. Pp. 779-795, 11th International Water Technology Conference. 6-9 september Sharm El-sheikh, Egypt.
- Ghodsian M and Hoseini SM, 2003. Scour around groins. *International journal of Sediment Research* 16(1): 60-68.
- Haghnazar H, Hashemzadeh AB and Nouri A, 2018. Experimental study of influence of hydraulic parameters on groyne destruction. 17th Iranian Hydraulic Conference, 4-6 September Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (In Persian).
- Joongu K, Hongkoo Y, Sungjung K and Un J, 2011. Permeability effects of single groin on flow characteristics. *Journal of Hydraulic Research* 49(6):728-735.
- Mahmoud MM, Ahmed HS, Abd El-Raheem GA and Ali NA and Tominaga A, 2013. Flow analysis around groyne with different permeability in compound channel floodplains. *Journal of Engineering Sciences* 41(2):302-320.
- Mirzaei H, Heydari Z and Fazli M, 2019. Predicting the scour around open groyne using different models of turbulence and vortices flow in variety of open and close groyne. *Modeling Earth Systems and Environment* 5(1):101-118.
- Nasrollahi A, Ghodsian M and Salehi Neyshabouri SA, 2008. Local scours at permeable spur dikes. *Journal of Applied Sciences* 8(19):3398-3406.
- Osman MA and Negmaldin SH, 2012. Local scour depth at the nose of permeable and impermeable spur dykes. *University of Khartoum Engineering Journal* 2(1):1-9.
- Pazin S, 2016. Experimental study on flow pattern and bed topography for two different arrangement of two-row opened groin in direct channel with movable bed, Iran. M.Sc. Thesis, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Bu-Ali Sina University of Hamedan. (In Persian with English abstract).
- Yebarehpoor K, 2013. Study of influence of permeability unsubmerged straight groyne on scouring pattern, Iran. M.Sc Thesis, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian with English abstract).
- Zhou YJ, Qian S and Sun NN, 2014. Application of permeable spur dike in mountain river training. *Applied Mechanics and Materials* 642: 236-240.