

Experimental Investigation of Permeable and Impermeable Groines Performance on Flow Pattern and Bed Topography in Erodible Channel

MAJID FAZLI^{1*}, SAHAR ANSARY¹, SEDIGHE PAZIN¹, ZEINAB BADPA¹

1. Department of Civil Engineering, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran

(Received: May. 25, 2019- Revised: June. 10, 2019- Accepted: July. 13, 2019)

ABSTRACT

The erosion of riverbeds is one of the factors that causes changes in the morphology of rivers. Scour depth represents the amount of potential degradation of the flow around hydraulic structures located in the flow path. Therefore, it is necessary to determine the scour depth and flow rate. In this study, the experimental results of bed topography changes and flow patterns around impermeable and permeable groines are compared. For permeable groines, two types of gabion groines and one and two-row groines with a 90 degree angle to the flow were used. In the use of two-row groine, the two positions are considered parallel and zigzag. Experiments were performed in a rectangular channel with a moving bed of 60 cm width and a flow rate of 28 lit/s and Froude number of 0.26. The results showed that the trend of maximum scour depth change with increasing permeability decreased. The scour depth in gabion groines is much higher than rod groines with the same permeability. Also, the effect of increasing the row spacing of two-row groines on the prediction of the maximum scour depth for the zigzag type is additive and for the parallel type it is decreasing.

Keywords: Permeable groins, Scouring, flow pattern, Gabion groine, two row groine, one row groine.

بررسی آزمایشگاهی عملکرد آبشکن باز و بسته بر الگوی جریان و توپوگرافی بستر در کانال با بستر فرسایش پذیر

مجید فضلی^{۱*}، سحر انصاری^۱، صدیقه پزین^۱، زینب بادپا^۱

۱. گروه عمران، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۴/۲۲)

چکیده

فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه یکی از عواملی است که باعث تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها می‌شود. عمق آبشستگی معرف میزان پتانسیل تخریب جریان در اطراف سازه‌های هیدرولیکی واقع در مسیر جریان است. بنابراین تعیین عمق آبشستگی و سرعت جریان، امری ضروری می‌باشد. در این مطالعه، نتایج آزمایشگاهی تغییرات توپوگرافی بستر و الگوی جریان در اطراف موانع نفوذناپذیر و موانع نفوذپذیر با یکدیگر مقایسه شده است. برای موانع نفوذپذیر از دو نوع موانع توری‌سنگی و موانع میله‌ای یک و دو ردیفه با زاویه ۹۰ درجه نسبت به امتداد جریان استفاده شده است. در استفاده از موانع میله‌ای دوردیفه، دو حالت قرارگیری میله‌ها به صورت در امتداد هم و زیگزگی مورد نظر قرار گرفته است. آزمایش‌ها در یک کانال مستطیلی با بستر متحرک به عرض ۶۰ سانتی‌متر و دبی ۲۸ لیتر بر ثانیه و عدد فرود ۰/۲۶ انجام پذیرفت. نتایج نشان داد روند تغییر حداکثر عمق آبشستگی با افزایش نفوذپذیری، کاهش یافته است. در موانع توری‌سنگی نسبت به موانع میله‌ای با نفوذپذیری یکسان، آبشستگی به مراتب بیشتر است. همچنین اثر افزایش فاصله ردیف‌های موانع دو ردیفه بر مقدر حداکثر عمق آبشستگی برای حالت زیگزگی، افزایشی و برای حالت در امتداد هم، کاهش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبشکن باز، آبشستگی، الگوی جریان، توری‌سنگی، آبشکن دو ردیفه، آبشکن یک ردیفه.

مقدمه

رودخانه‌ها تحت تأثیر پدیده فرسایش و رسوب‌گذاری دست‌خوش تغییرات گوناگونی می‌شوند. از آن‌جا که حفاظت کناره‌های رودخانه در مقابل فرسایش از مباحث اساسی در مهندسی رودخانه است، لذا استفاده از آبشکن به عنوان تعدیل‌کننده شرایط هیدرولیکی، قدرت فرسایشی آب و توان حمل مواد رسوبی را کاهش داده و زمینه مساعدی برای رسوب‌گذاری و در نهایت تثبیت کناره‌ها فراهم می‌آورد (Simons and Senturk, 1992). این سازه هیدرولیکی باعث حرکت جریان آب از جداره کانال‌ها و رودخانه‌ها به سمت مرکز آن و یک جریان چرخشی را با مستهلک نمودن قدرت جریان و آرام نمودن آن به سمت داخل ایجاد می‌نماید. ساخت آبشکن، باعث ایجاد فشار هیدرواستاتیک متفاوتی در بالادست و پایین‌دست شده و این خود سبب توزیع جریان گردابی در اطراف آبشکن‌ها می‌شود. مشکل مهمی که پایداری آبشکن را تهدید می‌کند، آبشستگی موضعی در محدوده دماغه و گسترش آن به صورت چاله آبشستگی در اطراف بدنه آبشکن است. بنابراین بررسی ابعاد چاله آبشستگی، نقشی مهم در ارزیابی صحیح از پایداری آبشکن در محیط کاملاً دینامیک و

پویای رودخانه دارد (VahabiSeviri, 2017).

از مطالعات بسیار زیاد گذشته در مورد آبشکن، می‌توان به مطالعات Jansen (1979) و Linde (1969) در مورد بررسی اثر فاصله و زاویه نصب آبشکن بر چگونگی آبشستگی اشاره کرد. آنان دریافتند که طول و فاصله نصب آبشکن‌ها از شاخص‌های مهم طراحی هستند. Martinez et al. (2002) با انجام آزمایشی دریافتند که زاویه نصب و نفوذپذیری آبشکن، اثر قابل توجهی بر عمق آبشستگی داشته و نفوذپذیری باعث کاهش ۵۰ درصدی آبشستگی و رسوب در پایین‌دست آبشکن می‌شود. تحقیقات Ezzeldin et al. (2007) نشان داد که به ازای شرایط جریان یکسان و میزان تنگ‌شدگی برابر، زاویه ۳۰ درجه دارای عملکرد مطلوبی در کاهش عمق آبشستگی دماغه است. همچنین عمق آبشستگی برای آبشکن با زاویه ۶۰ درجه به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. Zhang and Nakagawa (2008) با انجام آزمایشاتی بر روی تک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر نشان دادند که حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن نفوذپذیر، حدود ۲۳ درصد کمتر از آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد. Teraguchi et al. (2010) بر اساس مشاهدات خود در اطراف سری آبشکن‌ها به این

نداختن رسوب و احیاء ساحل در اطراف خود انجام داده و تغییر ماهیت آن‌ها، تغییر اساسی در الگوی جریان و شرایط رودخانه ایجاد نخواهد کرد. لذا هدف اصلی در این تحقیق، بررسی تغییرات توپوگرافی بستر و الگوی جریان در اطراف آبشکن باز میله‌ای دوردیغه با آرایش هندسی متفاوت می‌باشد. از طرفی چون آبشکن توری‌سنگی نیز در دسته‌بندی آبشکن‌ها، جزء گروه نفوذپذیر قرار می‌گیرد برای مقایسه عملکرد آبشکن باز دوردیغه با عملکرد آبشکن باز یک‌ردیفه و آبشکن توری‌سنگی در شرایط نفوذپذیری یکسان، الگوی جریان و توپوگرافی بستر در اطراف آبشکن توری‌سنگی و یک‌ردیفه نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی

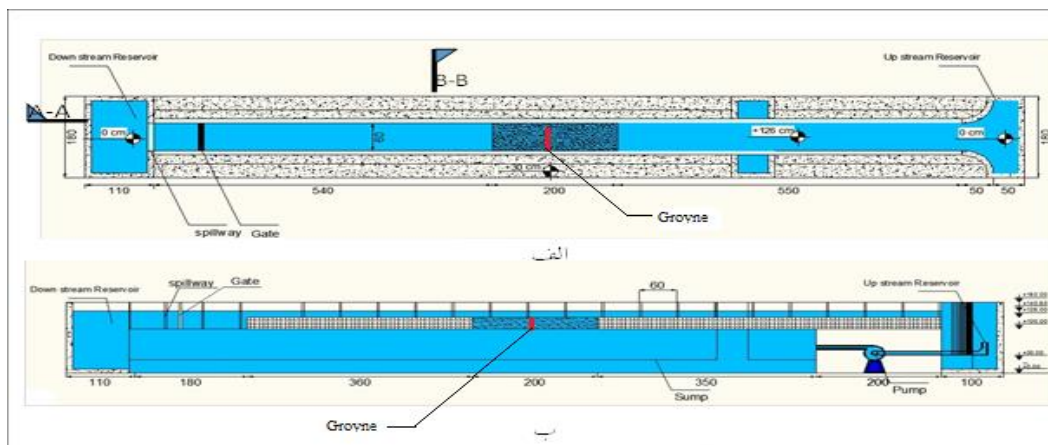
آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بوعلی سینا توسط Pazin (2017) و Badpa (2016) در یک فلوم بتنی به طول ۱۵ متر، ارتفاع و عرض ۰/۶ متر با دیواره‌های شفاف از جنس شیشه ۱۰ میلی‌متری انجام شد. فلوم آزمایشگاهی مجهز به یک حوضچه ورودی به طول ۱/۸ متر و ارتفاع ۱/۶ متر و یک حوضچه پایین‌دست به طول ۱/۸ متر و ارتفاع ۱/۶ متر و عرض ۱/۱ متر به شکل مکعب مستطیل بود. در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب تصویری از کانال تحقیقاتی و نمای شماتیک کانال نشان داده شده است. در انتهای کانال، یک دریچه پروانه‌ای به منظور تنظیم عمق جریان قرار داشت. جهت بررسی پارامترهای مورد نظر ناحیه‌ای به طول دو متر و ارتفاع ۰/۲۶ متر در اواسط کانال تعبیه شد، به طوری که جریان در آن ناحیه توسعه یافته بود. قطر متوسط (d_{50}) مصالح ماسه‌ای مقدار ۱/۵۵ و تقریباً یکنواخت و ضخامت مصالح ۰/۲۶ متر در نظر گرفته شد. موانع در قسمت میانی این فضای دو متری پر شده از مصالح و در جداره فلوم نصب شدند. نمودار دانه‌بندی مصالح بستر در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱- تصویر کانال تحقیقاتی

نتیجه رسیدند که در شرایط هیدرولیکی یکسان، میزان فرسایش در اطراف آبشکن بالادست در حالت نفوذناپذیر نسبت به حالت نفوذپذیر بسیار قابل توجه‌تر است. بررسی‌های Osman and Negmaldin Saeed (2012) نشان داد که عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های نفوذناپذیر با نسبت تنگ‌شدگی ۶۰ درصد، ۲/۶ برابر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌ها با نسبت تنگ‌شدگی ۸۰ درصد است و این نسبت برای آبشکن‌های نفوذپذیر با همان شرایط به میزان سه برابر است. Mahmoud *et al.* (2013) با بررسی آزمایشگاهی دریافتند که در آبشکن بسته، پارامتر طول، تأثیر قابل توجهی روی الگوی جریان و میزان سرعت آن در دماغه آبشکن دارد و با افزایش نفوذپذیری از اهمیت پارامتر طول کاسته شده و بر اهمیت پارامتر نفوذپذیری افزوده می‌گردد. نتایج تحقیق YebarePour Khazine (2014) نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن بسته به میزان بیش از چهار برابر بیشتر از حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن با نفوذپذیری ۵۰ درصد است. نتایج Champour and KashefiPour (2016) نشان داد که با افزایش درصد نفوذپذیری در سری آبشکن‌ها، میزان آبشستگی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش و با افزایش عدد فرود، میزان آبشستگی افزایش می‌یابد. همچنین Hagh Nazar *et al.* (2019) 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 توجه به اهمیت آبشکن‌ها در ساماندهی رودخانه و توجیه اقتصادی بالای به‌کارگیری آن‌ها، اغلب مطالعات انجام شده در زمینه آبشکن‌های نفوذناپذیر یا بسته می‌باشد. همچنین تحقیقات انجام شده در زمینه آبشکن‌های نفوذپذیر نیز غالباً در زمینه تعیین حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن‌های میله‌ای یک‌ردیفه با درصد نفوذپذیری مختلف می‌باشد. شاید بتوان گفت که در مورد آبشکن‌های باز دو ردیفه به‌ویژه آرایش هندسی، به لحاظ چگونگی قرارگیری دو ردیف نسبت به همدیگر و نیز به لحاظ فاصله دو ردیف از همدیگر، کمتر تحقیقی صورت پذیرفته است. هر چند منافذ آبشکن‌های نفوذپذیر نیز پس از مدتی مملو از رسوب شده و عملکرد آن‌ها شبیه آبشکن‌های نفوذناپذیر می‌گردد؛ اما در بازه زمانی احداث آبشکن نفوذپذیر تا تبدیل آن به آبشکن نفوذناپذیر عملکرد آن‌ها مانند آبشکن‌های نفوذپذیر بوده و کمتر نقشی در انحراف جریان بازی می‌کنند و عملاً هنگامی منافذ آن‌ها از رسوب پر می‌شود که عملکرد خود را در زمینه آرام کردن جریان و به تله



شکل ۲- نمای شماتیک از کانال مورد استفاده: الف) پلان ب) برش A-A ج) برش B-B



شکل ۳- منحنی دانه بندی مصالح مورد استفاده جهت بستر فرسایش پذیر

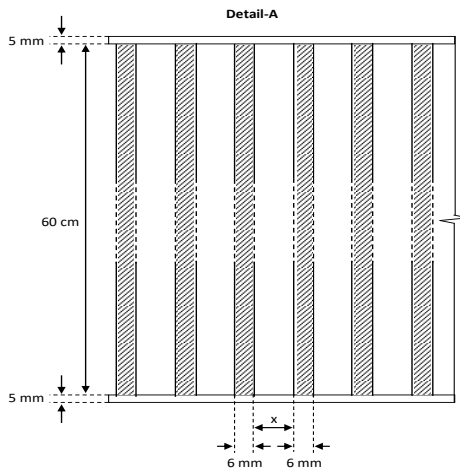
۲۲۲ هرتز و زمان اندازه گیری نمونه در این سرعت سنج بین یک تا پنج دقیقه است. برای تبدیل و فیلتراسیون داده های برداشت شده به وسیله ADV از نرم افزار ExplorV استفاده شد. روش های فیلتراسیون شامل فیلتراسیون شتاب اسپایک^۳، فیلتراسیون حداکثر سرعت، فیلتراسیون با توجه به کیفیت داده ها، روش Tukey 53H، روش آستانه فضای فازی و روش همبستگی سرعتها می باشد. فیلتراسیون مورد استفاده در این تحقیق، روش شتاب اسپایک می باشد. در این تحقیق از موانع باز دو ردیفه زیگزاگی و در امتداد هم با زاویه ۹۰ درجه، طول ۱۲۰ میلی متر و درصد بازشدگی ۳۰٪ با فواصل مرکز به مرکز ۲۴ و ۶ میلی متر و مانع توری سنجی با درصد بازشدگی ۳۰٪ استفاده شده است که دارای مشخصاتی به شرح زیر می باشند (منظور از بازشدگی نسبت سطح باز مانع به سطح کل آن می باشد):

به منظور ساخت موانع باز از یک سری میله های آهنی به قطر ۶ میلی متر که در قطعات ۰/۶۰ متری برش داده شده بودند استفاده شد. جهت تثبیت فاصله بین میله ها در درصدهای بازشدگی متفاوت، میله ها از بالا و پایین بر اساس فواصل از قبل محاسبه شده، به تسمه آهنی به وسیله جوش متصل شدند. آرایش موانع در امتداد هم به این صورت بوده که میله ها و فواصل خالی

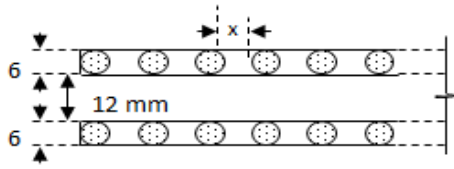
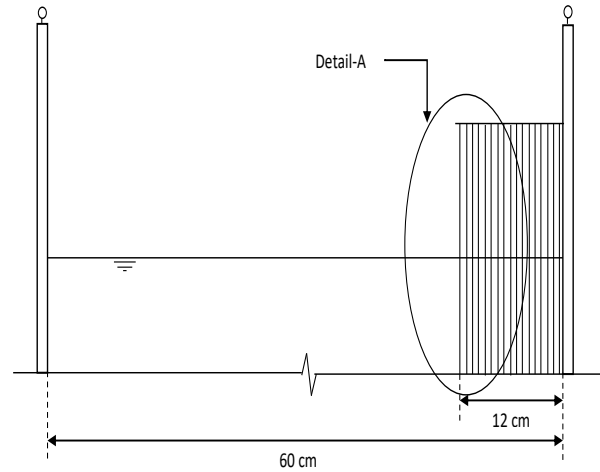
همچنین برای اندازه گیری مقدار آبشستگی و سرعت جریان از دستگاه سرعت سنج سه بعدی Vectrino که مدل جدیدی از سرعت سنج های سه بعدی ADV^۱ است استفاده شد. این دستگاه برای اندازه گیری توپوگرافی بستر از متر لیزری استفاده می کند و دارای دقتی در حد صدم میلی متر است. سرعت سنج ADV از طریق ارسال امواج صوتی^۲ از یک فرستنده به بستر کانال و دریافت امواج برگشتی توسط شاخک های گیرنده، میزان فاصله تا دستگاه فرستنده را اندازه گیری می کند. برای تعیین تغییرات زمانی عمق آبشستگی، می توان با استفاده از نرم افزار Vectrino+، فاصله دستگاه فرستنده تا کف را به وسیله گزینه Start distance check بررسی کرد که البته نسبت به داده های برداشت شده در شرایط بار رسوبی زیاد باید محتاط بود. دستگاه در شرایطی که مصالح بستر، بازتاب شدید دارند مانند بستر تثبیت شده با ورق فلزی و نیز در شرایطی که از رسوبات سیلیس استفاده می شود دو برابر فاصله واقعی را نشان می دهد. این دستگاه همچنین قابلیت اندازه گیری سرعت جریان در سه جهت و قابلیت اندازه گیری فاصله از کف در داخل آب را دارد. محدوده اندازه گیری سرعتها در این دستگاه بین ۰/۱ m/s الی ۴ m/s ± است و دقت اندازه گیری ۱ mm/s است؛ همچنین فرکانس دستگاه بین ۵۲ تا

مخصوص مشخص بودند که با توری‌های فلزی با درصد بازشدگی ۳۰٪ و سوراخ‌های متناسب با آن پوشیده شده‌اند. موانع به شکل قالب‌های مستطیلی به ضخامت دو سانتی‌متر، ارتفاع ۰/۶ متر و طول ۱۲۰ میلی‌متر ساخته و در نهایت با استفاده از سیم مفتول محکم شدند. شکل ۶ توری مورد استفاده در مانع توری‌سنگی را نشان می‌دهد.

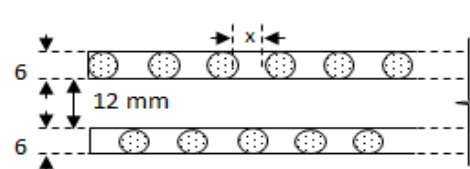
بین آن‌ها در دو ردیف مانع به نحوی قرار می‌گیرند که در یک امتداد باشند اما در حالت زیگزآگی، میله‌های یک ردیف در مقابل فضای خالی ردیف دیگر قرار می‌گیرند. شکل ۴ جزئیات مانع باز و شکل ۵ به صورت شماتیک نحوه قرارگیری میله‌گردها را در دو حالت مانع دو ردیفه زیگزآگی و در امتداد هم نشان می‌دهد. همچنین موانع توری‌سنگی از جنس مصالح سنگی با وزن



شکل ۴. جزئیات موانع باز



(ب)



(الف)

شکل ۵- نمای شماتیک از مانع باز دو ردیفه الف) زیگزآگی و ب) در امتداد هم



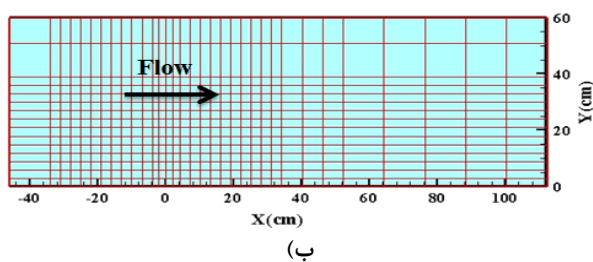
شکل ۶- توری‌های مورد استفاده در ساخت مانع توری‌سنگی

این تحقیق بجز یک مورد در شرایط جریان متغیر تدریجی انجام شده است. تعیین زمان تعادل نسبی با آزمایش‌های جداگانه‌ای 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. عمق آبشستگی در این آزمایش‌ها در نیم ساعت اول هر دو دقیقه یکبار، در نیم ساعت دوم هر ۵ دقیقه یکبار، در یک ساعت بعدی هر ۱۰ دقیقه و در یک ساعت بعد از آن هر ۲۰ دقیقه یک بار اندازه‌گیری

روند انجام آزمایش

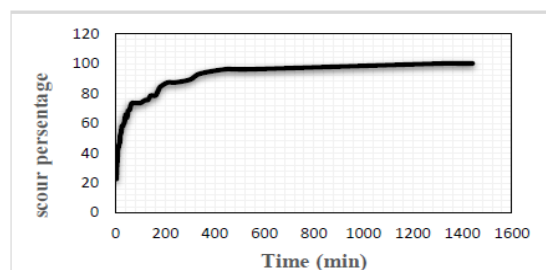
در این تحقیق، دبی در طول تمام آزمایش‌ها ثابت و برابر با ۲۷/۲ لیتر بر ثانیه بود. با ثابت در نظر گرفتن دبی، عمق جریان در کانال مستقیم بالادست از طریق بالا و پایین بردن دریچه پروانه‌ای که در پایین دست کانال قرار داشت تغییر می‌کرد و با تغییر عمق جریان در کانال، مقدار پارامتر $\frac{U}{U_c}$ معادل ۰/۸۸ انجام شده است. به این ترتیب با انجام محاسبات برای عدد فرود ۰/۲۶، عمق جریان ۶۱۴ میلی‌متر به دست آمد. به نظر می‌رسد که همه آزمایشات

تنظیم می‌شد. همچنین برای تغییر مکان در جهت طولی و عرضی کانال، دستگاه و عمق سنج بر روی گاری مدرج شده قرار گرفته و بر روی کانال در بعد طولی و عرضی حرکت می‌کرد. جهت تسهیل در برداشت سرعت، اطراف مانع به صورت سه‌بعدی شبکه‌بندی شد. شبکه‌بندی به این صورت طراحی گردید که در محدوده نزدیک مانع که تغییرات الگوی جریان قابل توجه است، مقاطع برداشت نزدیک به هم و در فواصل کوتاه‌تری تعریف شده و با دور شدن از مانع، فاصله مقاطع به تدریج افزایش یافته است. برداشت‌ها در چهار سطح ارتفاعی در عمق‌های ۵ میلی‌متر از کف، ۵ میلی‌متر از سطح آب و فواصل ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌متری از بستر اولیه صورت گرفته است. به طوری که سرعت‌های سطحی با استفاده از پروب جانب‌نگر و بقیه سرعت‌ها با استفاده از پروب پایین‌نگر برداشت شد. از پروب پایین‌نگر معمولاً برای اندازه‌گیری سرعت در عمق جریان استفاده می‌شود و از پروب جانب‌نگر عمدتاً برای تعیین سرعت در لایه‌های نزدیک سطح آب و همچنین در شرایطی که اندازه‌گیری جریان در اطراف سازه مد نظر است، استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که در حفزه آبشستگی نیز برحسب ابعاد آن در یک تا سه لایه در اعماق مختلف، برداشت سرعت انجام شد. شکل ۸ مش‌بندی کانال جهت برداشت الگوی جریان و توپوگرافی بستر را نشان می‌دهد. در جدول ۱ شرایط هندسی و هیدرولیکی جریان مختصراً عنوان شده است.



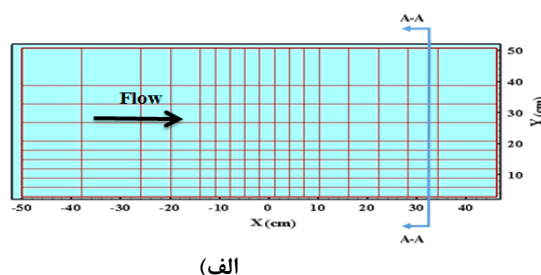
شکل ۸- مش‌بندی کانال جهت برداشت الف) الگوی جریان ب) توپوگرافی بستر

شد و از آن به بعد به مدت ۲۴ ساعت هر ۳۰ دقیقه یک‌بار اندازه‌گیری شد. در شکل ۷ نمودار زمان تعادل نشان داده شده است. طبق نمودار از ساعت نهم به بعد، کاهش قابل توجهی در سرعت آبشستگی به وجود می‌آید، 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 شده است.



شکل ۷- منحنی درصد آبشستگی در زمان‌های مختلف مربوط به آزمایش زمان تعادل

آزمایش‌ها به این صورت انجام می‌شد که پس از زمان تعادل ۹ ساعت و به تعادل رسیدن بستر و برداشت آبشستگی، برداشت الگوی جریان با استفاده از دستگاه ADV آغاز می‌شد. به منظور قرارگیری دستگاه در عمق‌های مشخص و جلوگیری از تغییر مکان‌های ناخواسته، حس‌گر ADV^۱ به دستگاه عمق‌سنج نقطه‌ای وصل شده و عمق مرکز حس‌گر با استفاده از دستگاه عمق‌سنج



جدول ۱- شرایط هندسی و هیدرولیکی جریان

پارامتر	محدوده تغییرات
دبی	۲۸ لیتر بر ثانیه
عدد فرود	۰/۲۶
زاویه	۹۰ درجه
نوع آبشکن	توری سنگی و باز با درصد بازشدگی ۳۰ درصد
آرایش موانع باز	دوردیفه در امتداد هم و زیگزگی
فاصله موانع دو ردیفه	۲۴ میلی‌متر
عمق جریان در بالادست	۱۴۶ میلی‌متر
طول موانع	۱/۲ متر
اندازه ذرات رسوبی	۱/۵۵ میلی‌متر

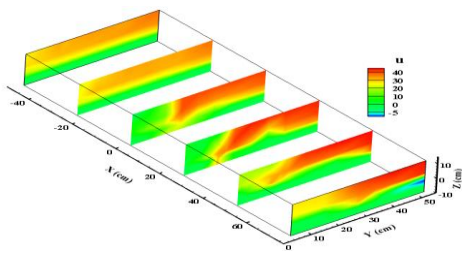
باشد. همچنین در ساخت موانع با میله، آرایش هندسی این میله-ها می‌تواند یک ردیفه یا بیش از یک ردیف باشد که نحوه قرارگیری میله‌ها در آرایش‌های دو ردیفه و بیشتر نیز می‌تواند توپوگرافی بستر و میدان جریان اطراف آن‌ها را دستخوش تغییر قرار دهد. یکی از اهداف این تحقیق، بررسی اثر آرایش و فاصله ردیف‌ها در موانع دو ردیفه، بر توپوگرافی و الگوی جریان حول موانع می‌باشد. در این تحقیق، موانع میله‌ای دو ردیفه با آرایش زیگزاگی و در امتداد هم با فواصل ۶ و ۲۴ میلی‌متری شمع‌های دو ردیفه از یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده برای آن‌ها با هم و با مانع توری‌سنگی با میزان بازشدگی یکسان مورد مقایسه قرار گرفت. در این بخش، تغییرات جریان حول موانع مختلف با استفاده از منحنی‌های توزیع مؤلفه طولی سرعت در مقاطع مختلف عرضی در طول کانال بررسی شده است. در شکل ۹ منحنی‌های توزیع مؤلفه طولی سرعت (U) در طول کانال برای مانع بسته و انواع موانع باز (توری‌سنگی و میله‌ای) ارائه شده است.

بحث و نتایج

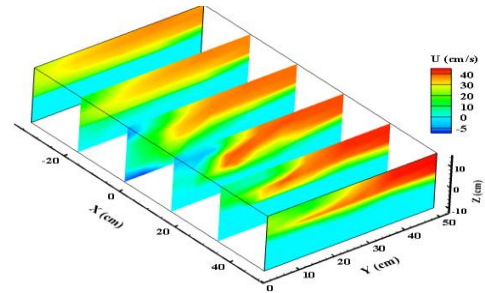
در این تحقیق، اثر انواع موانع باز بر حداکثر عمق آبشستگی، پروفیل‌های طولی و عرضی و توپوگرافی بستر در قالب نمودارها و منحنی‌های تراز که با استفاده از نرم‌افزار تک‌پلات اترسیم گردیده ارائه شده است. از آن‌جا که تغییرات توپوگرافی بستر در اطراف موانع، متأثر از تغییرات ایجاد شده در میدان جریان به دلیل حضور این موانع در مسیر جریان است؛ لذا در ادامه ابتدا تغییرات میدان جریان و سپس تغییرات بستر در اطراف مانع بررسی می‌شود.

بررسی تغییرات میدان جریان در اطراف موانع مختلف

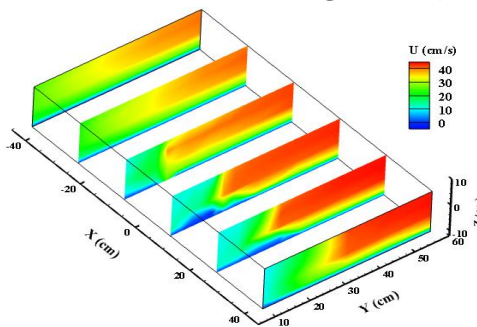
از آن‌جا که به دلیل حضور هر مانعی در مسیر جریان، میدان جریان دستخوش تغییرات قابل توجهی می‌شود و نیز به دلیل اینکه امکان ساخت موانع نفوذپذیر با استفاده از میله یا توری-سنگی با نفوذپذیری یکسان موجود است؛ بررسی عملکرد هر یک از این دو تیپ می‌تواند راهنمایی در راستای اهداف طراحی آن‌ها



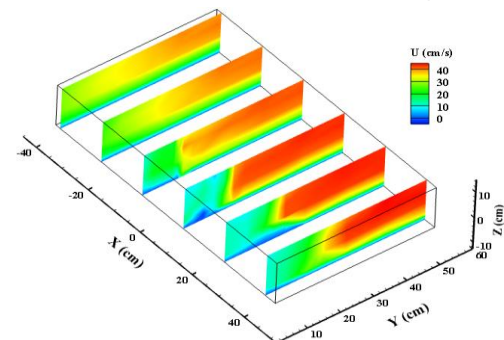
(ب) مانع توری‌سنگی



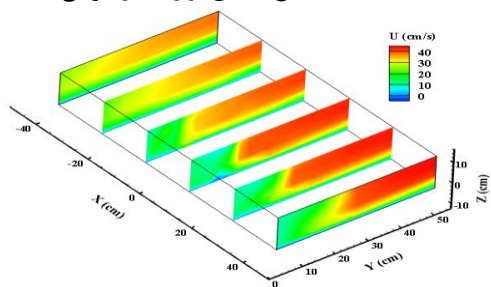
(الف) مانع بسته



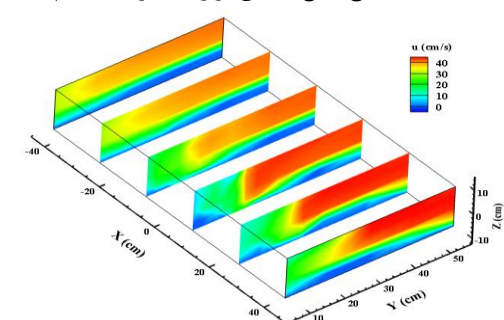
(د) مانع میله‌ای دو ردیفه زیگزاگی با فاصله 4d



(ج) مانع میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم با فاصله 4d



(و) مانع میله‌ای دو ردیفه زیگزاگی با فاصله d



(ه) مانع میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم با فاصله d

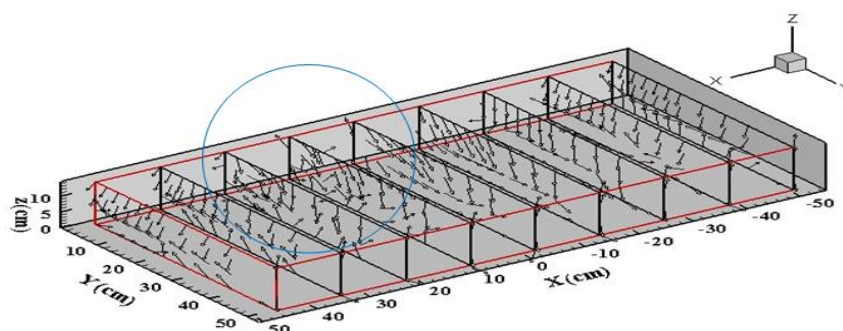
شکل ۹- خطوط هم‌تراز مؤلفه طولی سرعت در حضور انواع موانع بسته و باز

از مقطع مانع و امتداد آن در پایین دست افزایش می‌یابد. در حالی که در حالت آرایش زیگزاگی مانع با کاهش فاصله ردیف‌ها، اختلاف چندانی در مؤلفه طولی سرعت جریان بعد از عبور از مانع مشاهده نمی‌شود، تنها سرعت در مجاورت دیواره مانع برای فاصله ردیف‌های ۲۴ میلی‌متر اندکی کمتر از حالت دیگر می‌باشد.

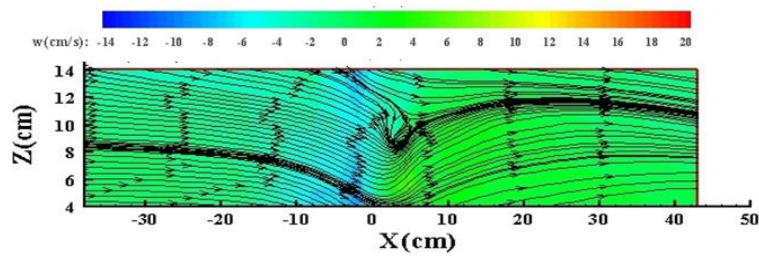
بنابراین تحلیل و بررسی در زمینه تأثیر فاصله و آرایش موانع دو ردیفه بر الگوی جریان حول موانع نشان می‌دهد که در مانع با آرایش در امتداد هم، مؤلفه طولی سرعت عبوری از مانع با افزایش فاصله دو ردیف، کاهش می‌یابد که به دلیل بیشتر بودن افت انرژی در این حالت است. هم‌چنین با افزایش فاصله ردیف‌ها در مقطع قبل از مانع، جریان‌های عرضی افزایش اندکی داشته و جریان‌های پایین‌رونده به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. نهایتاً به نظر می‌رسد گردابه‌های چرخشی پایین‌رونده در مانع دو ردیفه در امتداد هم با فاصله ۶ میلی‌متر، عامل ایجاد آبشستگی بیشتر حول این مانع بوده است. در مانع با آرایش زیگزاگی با افزایش فاصله دو ردیف، سرعت طولی جریان عبوری از مانع، تغییرات قابل ملاحظه‌ای نداشته و تقریباً یکسان بوده است. با این تفاوت که جریان در پایین دست مانع با فاصله ردیف‌های ۶ میلی‌متر، آشفته‌تر می‌باشد. با افزایش فاصله ردیف‌ها، جریان‌های عرضی افزایش و جریان‌های پایین‌رونده نسبتاً ثابت می‌باشد. هم‌چنین نتایج آبشستگی در بستر این موانع که در بخش بعدی ارائه می‌گردد حاکی از بیشتر شدن آبشستگی با افزایش فاصله ردیف‌ها است. البته این اختلاف در مقادیر آبشستگی بسیار کم می‌باشد و نهایتاً این‌گونه استنباط می‌گردد که علت افزایش اندکی که در مقادیر آبشستگی رخ داده است، شدت بیشتر جریان‌های عرضی در مانع با فاصله ۲۴ میلی‌متر می‌باشد. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ گردابه‌های ایجاد شده در صفحات عرضی (جریان ثانویه) و جریان‌های پایین‌رونده در صفحات طولی برای آبشکن توری سنگی و میله‌ای دو ردیفه با تخلخل ۳۰ درصد نشان داده شده است.

مقایسه شکل (۹-الف) با (۹-ب) حاکی از آن است که انحراف سرعت به وسیله مانع بسته بیشتر از مانع توری سنگی است. دلیل این امر می‌تواند این باشد که عبور جریان از میان منافذ موجود در مانع توری سنگی سبب استهلاک انرژی جریان شده و با کاهش انرژی جریان، سرعت آن نیز کمتر می‌شود. به طوری که در مانع بسته بیشترین تغییرات سرعت جریان بعد از مانع رخ داده و موجب تشکیل جریان‌های پایین‌رونده به سمت بستر و بالا رونده در صفحه‌ی قائم جریان شده است. در حالی که در مانع توری سنگی تغییرات سرعت در مقطع قبل از مانع نیز کمتر می‌باشد. در شکل (۹-ج) و (۹-د) توزیع سرعت طولی در موانع میله‌ای باز دو ردیفه در امتداد هم و زیگزاگی با فاصله ردیف ۲۴ میلی‌متر (4d و d قطر شمع در مانع میله‌ای دو ردیفه است) قابل مشاهده است. در موانع زیگزاگی به دلیل قرارگیری نوع شمع‌های دو ردیف نسبت به یکدیگر (شمع‌های مانع دوم در مقابل فضای خالی بین شمع‌های ردیف اول قرار می‌گیرند) جریان مقدار بسیار زیادی از انرژی خود را در عبور از بین میله‌ها از دست می‌دهد و این امر باعث می‌شود که سرعت و گردابه‌های شکل گرفته ضعیف‌تری را نسبت به مانع با آرایش پشت سرهم داشته باشیم. از مقایسه تصاویر سرعت طولی بین موانع چنین برداشت می‌شود که مانع در امتداد هم به دلیل اتلاف انرژی کمتر، سرعت بیشتری نسبت به مانع زیگزاگی دارد و هم‌چنین سرعت مانع زیگزاگی بیشتر از مانع توری سنگی است. هم‌چنین از این شکل‌ها چنین برداشت می‌شود که سرعت در هر دو آرایش مانع باز تا حد زیادی مشابه هم است. در مانع توری سنگی به دلیل عبور آب از میان سنگدانه‌ها از انرژی جریان کاسته شده و در نتیجه سرعت کاهش می‌یابد (شکل‌های ۹-ب، ۹-ج و ۹-د).

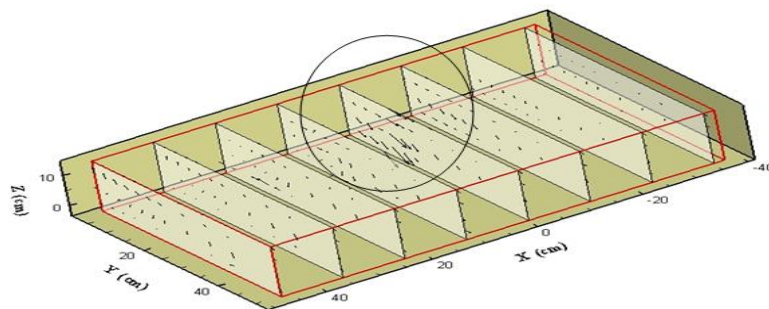
در شکل‌های (۹-ه و ۹-و) توزیع سرعت طولی در موانع باز دو ردیفه در امتداد هم و زیگزاگی با فاصله ردیف ۶ میلی‌متر (1d) ارائه شده است. مقایسه تصاویر مذکور نشان می‌دهد که در موانع در امتداد هم با کاهش فاصله ردیف‌ها، سرعت عبور جریان



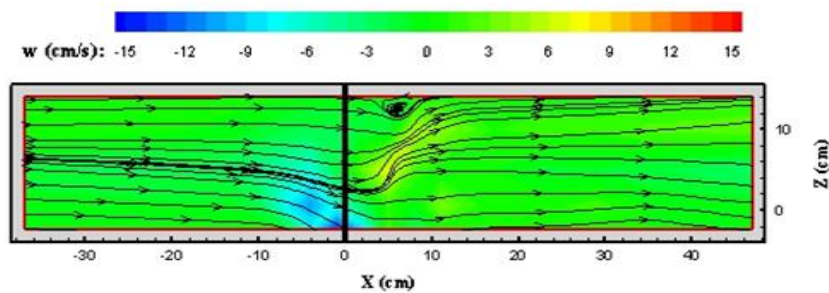
الف) بردارهای جریان ثانویه در مقاطع مختلف عرضی در طول جریان برای آبشکن قائم



شکل ۱۰- آبشکن توری سنگی
 (ب) کانتورهای مؤلفه قائم سرعت در محل دماغه آبشکن قائم



(الف) بردارهای جریان ثانویه در مقاطع مختلف عرضی در طول جریان برای آبشکن قائم



شکل ۱۱- آبشکن میله‌ای
 (ب) کانتورهای مؤلفه قائم سرعت در محل دماغه آبشکن قائم

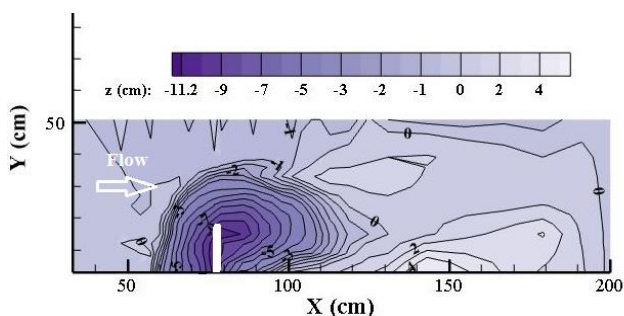
بررسی اثر نفوذپذیری موانع بر توپوگرافی بستر یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش، حداکثر عمق آبشستگی است. حداکثر عمق آبشستگی در موانع عموماً در نزدیکی دماغه مانع رخ می‌دهد. دلیل این امر، تمرکز جریان و افزایش قابل توجه سرعت در دماغه مانع و هجوم جریان منحرف شده به طرف محل مذکور است. موانع بسته عموماً نقش انحراف-دهنده جریان را داشته و منجر به ایجاد ناحیه‌ی جدایی جریان وسیع‌تری می‌شوند، چرا که جریان در برخورد با مانع به دو قسمت عمده تقسیم می‌شود. قسمتی از جریان کاملاً منحرف می‌شود و قسمت دیگر آن که پشت مانع واقع است، برگشت پیدا می‌کند. در موانع بسته اختلاط جریان‌های پرسرعت دماغه با جریان‌های ثانویه‌ی نسبتاً قوی و گردابه‌هایی که قبل از رسیدن به مانع به-تدریج در حال شکل‌گیری هستند، تغییرات توپوگرافی بستر را سبب می‌شوند. در شکل ۱۲ آبشستگی بستر برای دو مانع بسته

در ترکیب این دو جریان، گردابه‌های چرخشی پایین‌رونده شکل می‌گیرد که موجب آبشستگی در اطراف آبشکن می‌گردد همان‌گونه که در این دو شکل مشاهده می‌گردد هم جریان در صفحات عرضی و هم جریان پایین‌رونده در اطراف آبشکن توری سنگی نسبت به آبشکن میله‌ای دو ردیفه با درصد بازشدگی یکسان بسیار قوی‌تر است و بنابراین ابعاد چاله آبشستگی در اطراف آبشکن توری سنگی بزرگ‌تر از ابعاد چاله آبشستگی در اطراف آبشکن‌های میله‌ای است.

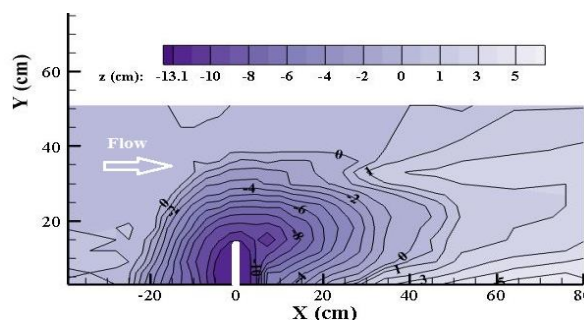
بررسی تغییرات توپوگرافی بستر در اطراف موانع مختلف
 در این قسمت از پژوهش، بررسی تغییرات توپوگرافی بستر تحت تاثیر حضور مانع بسته و انواع موانع باز (توری سنگی و میله‌ای) انجام شده است. این بررسی با ارائه پلان توپوگرافی بستر و پروفیل‌های طولی و عرضی در مقاطع مناسب صورت پذیرفته است.

تشکیل شده قدرت کمتری داشته و تلاطم کمتری را ایجاد می‌کند. در حالی که در مانع بسته، جریان انحرافی و جریان پایین‌رونده با هم عمل کرده و موجب تشکیل جریان‌های ثانویه، ازدیاد تنش برشی بستر و آبستگی می‌شوند. بنابراین در موانع توری‌سنگی به دلیل این که جریان از بین موانع عبور می‌کند؛ استهلاک انرژی بیشتر است و همچنین از شدت جریان‌های پایین‌رونده و عرضی کاسته می‌شود و در نتیجه مقادیر آبستگی کمتر است.

و مانع توری‌سنگی با تخلخل ۳۰ درصد نشان داده شده است. در تمامی شکل‌ها محور x ، جهت حرکت جریان یعنی طول کانال و محور Y عرض کانال بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به شکل (۱۲-الف و ۱۲-ب) مشاهده می‌شود که آبستگی در مانع بسته از آبستگی در مانع توری سنگی بیشتر است. علت این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که مانع توری‌سنگی دارای مقداری تخلخل نسبت به مانع بسته (تخلخل صفر) می‌باشد. به دلیل این که مقداری از جریان از بین خلل و فرج مانع توری‌سنگی عبور می‌کند؛ بنابراین سرعت جریان عبوری از دماغه کمتر شده، گردابه



ب) مانع توری سنگی



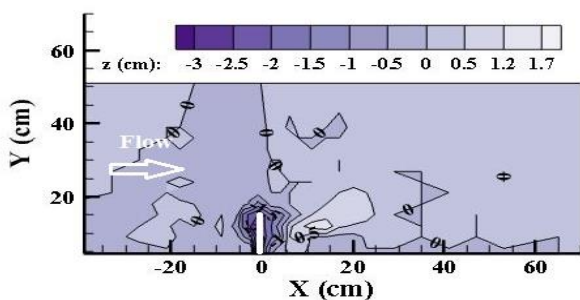
الف) مانع بسته

شکل ۱۲- آبستگی بستر در مانع بسته و توری سنگی

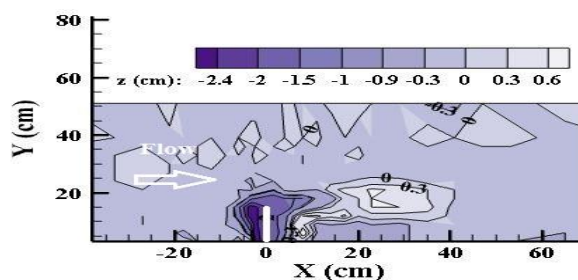
آبستگی بیشتری را نتیجه می‌دهد. در مقایسه بین موانع میله‌ای دو ردیفه نیز مشاهده می‌گردد که آرایش هندسی میله‌ها به صورت در امتداد هم آبستگی بیشتری نسبت به آرایش زیگزاگی ایجاد می‌کند. در موانع زیگزاگی، جریان آب به مانع اول برخورد نموده، بخشی از آن در اثر رویارویی با میله‌ها تغییر جهت داده و به سمت بستر حرکت می‌کند. این جریان‌های موسوم به جریان‌های پایین‌رونده؛ در نزدیکی بستر تبدیل به گردابه‌های نعل اسبی شده و باعث ایجاد فرسایش در بالادست مانع می‌شوند. بخشی از جریان نیز در اثر برخورد به مانع منحرف شده و با جریان پر قدرت مرکزی همراه می‌شود. ترکیب این جریان انحرافی با گردابه‌های شکل گرفته پشت مانع باعث ایجاد آبستگی می‌شود.

بررسی اثر تیپ موانع نفوذپذیر بر توپوگرافی بستر

در شکل ۱۳ آبستگی بستر در اطراف موانع میله‌ای دو ردیفه در حالت زیگزاگی و در امتداد هم با فاصله محور به محور ۲۴ میلی‌متر برای بازشدگی ۳۰ درصد نشان داده شده است. مقایسه بین شکل (۱۳-الف و ۱۳-ب) با شکل (۱۲-ب) نشان می‌دهد که علی‌رغم میزان نفوذپذیری یکسان، حداکثر عمق آبستگی در مانع توری‌سنگی بیشتر از موانع میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم و زیگزاگی است. علت این امر می‌تواند چنین بیان گردد که مانع توری‌سنگی، جریان کمتری را نسبت به موانع باز دوردیفه از خود عبور می‌دهد و بخش بیشتری از جریان را بازگردانیده یا منحرف می‌سازد، بنابراین گردابه‌های تشکیل شده قوی‌تر و در نتیجه



ب) مانع باز میله‌ای دو ردیفه زیگزاگی

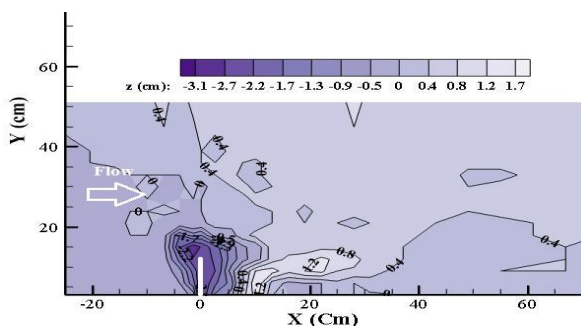


الف) مانع باز میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم

شکل ۱۳- تغییرات توپوگرافی بستر در حضور انواع موانع باز با فاصله دو ردیفه 4d (۲۴ میلی‌متر)

آبشکن دارد. در آرایش زیگزگی شمع‌ها، جریان عبوری از مانع اول در راستای حرکت خود به میله‌های مانع دوم برخورد می‌کند. این برخورد باعث افت شدید انرژی در جریان شده و آشفتگی شدید حول مانع را سبب می‌گردد. هر چه فاصله بین ردیف‌های مانع در حالت زیگزگی کمتر باشد، آشفتگی جریان بیشتر شده و به تبع آن شدت استهلاک انرژی افزایش می‌یابد. با افزایش فاصله دو ردیف شمع، به دلیل این که از شدت آشفتگی ذکر شده بین دو ردیف مانع کاسته می‌شود، استهلاک انرژی جریان حول مانع کاهش می‌یابد. در موانع دو ردیفه با آرایش پشت‌سر هم میله‌ها، هنگامی که فاصله دو ردیف کم باشد، جریان پس از عبور از لایه لای میله‌های مانع اول و طی کردن مسیری کوتاه به راحتی از بین میله‌های مانع دوم نیز عبور می‌کند؛ به عبارتی شمع کوبی‌ها به صورت یک مانع واحد با عرض بیشتر عمل می‌کنند. با افزایش فاصله دو ردیف، جریان آب پس از عبور از مانع اول با فرض عبور از مقطع تنگ‌شده، باز می‌شود اما پس از طی مسیری نه چندان طولانی، با مانع دوم مواجه می‌شود. این مسأله باعث افت انرژی مجدد جریان عبوری از مانع اول می‌شود. در موانع دو ردیفه هنگامی که افت انرژی حول مانع ایجاد می‌شود، از قدرت جریان برای کف‌کنی و آبشستگی بستر می‌کاهد. به عبارت دیگر افزایش آشفتگی و کاهش انرژی جریان بین میله‌های دو ردیف مانع رابطه عکس با میزان آبشستگی موضعی بستر حول مانع دارد.

با توجه به نتایج حاصله، با در نظر گرفتن حداکثر مقدار آبشستگی در مانع بسته به عنوان مینا حداکثر عمق آبشستگی برای سایر انواع مانع به شرح جدول ۲ خلاصه می‌گردد. علت به وجود آمدن تفاوت اندکی آبشستگی بیشتر در مانع میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم نسبت به زیگزگی، وجود جریان‌های ثانویه حول مانع می‌باشد که در موانع بسته به دلیل جریان‌های گردابی باعث می‌شود در پشت مانع جریان‌های ثانویه تشکیل شود و مقادیر آبشستگی بیشتر شود.



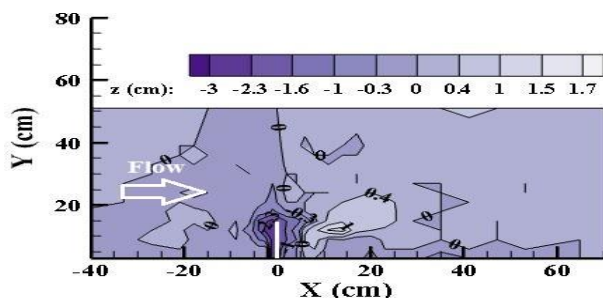
شکل ۱۴- تغییرات توپوگرافی بستر در حضور مانع باز یک‌ردیفه

نتایج حاصله نشان می‌دهد که اثرات موانع میله‌ای بر توپوگرافی بستر به مراتب کمتر از مانع توری‌سنگی با تخلخل ۳۰ درصد است و اگر چه میزان درصد بازشدگی هر سه نوع مانع با هم یکسان است؛ اما توزیع بازشدگی در سطح مانع تاثیر قابل توجهی بر تغییر در توپوگرافی بستر خواهد داشت. هنگام استفاده از موانع توری‌سنگی گردابه‌های تشکیل شده قوی‌تر، سرعت جریان عبوری از دماغه آبشکن بیشتر و در نتیجه‌ی آن حفره‌ی آبشستگی بزرگ‌تر با مقادیر عمق بیشتری حاصل می‌شود. به طوری که در موانع توری‌سنگی، آبشستگی به مراتب بیشتر از موانع میله‌ای بوده و به تبع آن رسوب‌گذاری در بستر نیز بیشتر است.

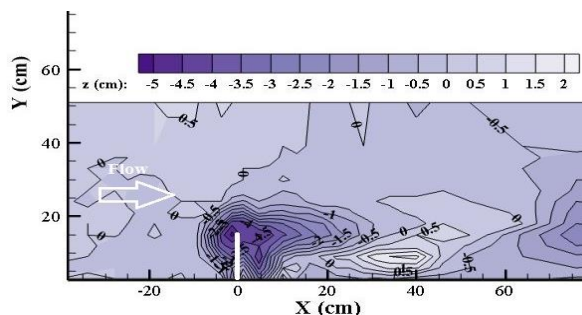
در شکل ۱۴ آبشستگی بستر در اطراف مانع میله‌ای یک‌ردیفه نشان داده شده است. با توجه به این شکل و مقایسه آن با شکل ۱۳ مشاهده می‌شود که مانع یک‌ردیفه دارای بیشترین مقادیر آبشستگی و بعد از آن به ترتیب موانع دو ردیفه در امتداد هم و سپس زیگزگی می‌باشد. دلیل بیشتر بودن آبشستگی مانع یک‌ردیفه نسبت به دو ردیفه را می‌توان چنین بیان کرد که در موانع دوردیفه اعم از پشت سر هم و زیگزگی به دلیل برخورد جریان با میله‌ها و استهلاک انرژی بیشتر، سرعت کمتر شده و در نتیجه میزان آبشستگی بستر نسبت به مانع میله‌ای یک‌ردیفه کمتر می‌باشد. قابل ذکر است که نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج Nasrollahi (2002) و نتایج Alauddin and Tsujimoto (2013) در خصوص حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن‌های نفوذناپذیر و آبشکن‌های نفوذپذیر همخوانی دارد. در پژوهش‌های این محققین نیز نشان داده شده که با افزایش نفوذپذیری آبشکن از عمق حداکثر آبشستگی در اطراف آن کاسته می‌شود و حفره آبشستگی ایجاد شده در اطراف آبشکن‌های میله‌ای به میزان قابل توجهی کوچکتر از آبشکن‌های نفوذناپذیر است.

بررسی تأثیر فاصله موانع باز دو ردیفه بر توپوگرافی بستر

در شکل ۱۵ آبشستگی موانع دو ردیفه در امتداد هم و دو ردیفه زیگزگی با درصد بازشدگی ۳۰ درصد و فاصله محور به محور ۶ میلی‌متر نشان داده شده است. همان‌طور که از مقایسه شکل ۱۵ با شکل ۱۳ مشاهده می‌گردد؛ مقادیر آبشستگی در موانع با فاصله محور به محور ۶ میلی‌متر نسبت به فاصله محور به محور ۲۴ میلی‌متر افزایش یافته است. به عبارت دیگر همان‌گونه که بیان گردید نوع آرایش و قرارگیری شمع‌های دو ردیف نسبت به یکدیگر، تأثیر به‌سزایی در روند تغییرات الگوی جریان حول



ب) مانع باز میله‌ای دو ردیفه زیگزاگی



الف) مانع باز میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم

شکل ۱۵- تغییرات توپوگرافی بستر در حضور موانع باز دو ردیفه با فاصله 1d (۶ میلی‌متر)

جدول ۲- حداکثر عمق آبشستگی اطراف موانع مختلف نسبت به مانع بسته

نوع مانع	حداکثر نسبی عمق آبشستگی
بسته	۱
توری سنگی (۳۰ درصد)	۰/۸۵
مانع میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم 4d	۰/۱۸
مانع میله‌ای دو ردیفه زیگزاگی 4d	۰/۲۶
مانع میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم 1d	۰/۳۸
مانع میله‌ای دو ردیفه زیگزاگی 1d	۰/۲۳
مانع میله‌ای یک‌ردیفه	۰/۲۴

امتداد هم و زیگزاگی با فاصله ۲۴ میلی‌متری بیشترین حجم نسبی حفره آبشستگی را دارند.

تأثیر انواع مانع بر تغییرات پروفیل طولی بستر

پروفیل طولی بستر کانال برای موانع با تخلخل ۳۰ درصد و طول ۱۲۰ میلی‌متر در محل ۶۰ میلی‌متری از دیواره نصب (وسط مانع) و دماغه مانع در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است. همان‌طور که در این دو شکل مشاهده می‌شود، ابعاد حفره برای مانع با درصد نفوذپذیری کمتر، بزرگ‌تر بوده و افزایش درصد نفوذپذیری مانع با کاهش ابعاد حفره آبشستگی همراه است. با بررسی پروفیل‌های طولی مشاهده می‌شود که ابعاد و شکل حفره آبشستگی در موانع مختلف، یکسان نبوده که نشان از تأثیرگذاری نوع موانع بر شکل حفره آبشستگی دارد. هم‌چنین عموماً بعد از هر حفره آبشستگی، یک پشته‌ی رسوبی مشاهده می‌شود که با فاصله‌ی بسیار کمی بعد از حفره ایجاد می‌شود. مقایسه پشته‌های رسوبی در این دو شکل نشان می‌دهد که ابعاد پشته رسوبی آبشستگی در راستای دماغه مانع بیشتر از سایر مقاطع طولی کانال است. همان‌طور که در این دو شکل مشاهده می‌شود تمرکز حفره‌ی آبشستگی و عمیق‌ترین نواحی آن برای همه موانع در محدوده‌ی نزدیک به دماغه‌ی آن رخ داده است. این اتفاق نتیجه‌ی افزایش سرعت جریان و انحراف شدید جریان در دماغه‌ی مانع

مقایسه حجم چاله آبشستگی ایجاد شده در اطراف موانع مختلف

به‌منظور تعیین کمی تغییرات توپوگرافی بستر به‌دلیل آبشستگی در اطراف موانع، پارامتر حجم حفره آبشستگی که تا حدودی بیان‌گر این تغییرات می‌باشد محاسبه گردید. برای مقایسه عملکرد موانع مختلف در این زمینه حجم حفره آبشستگی در اطراف مانع بسته به عنوان مبنا انتخاب شده و حجم حفره آبشستگی در اطراف سایر موانع نسبت به آن برآورد و در جدول ۳ ارائه گردیده است.

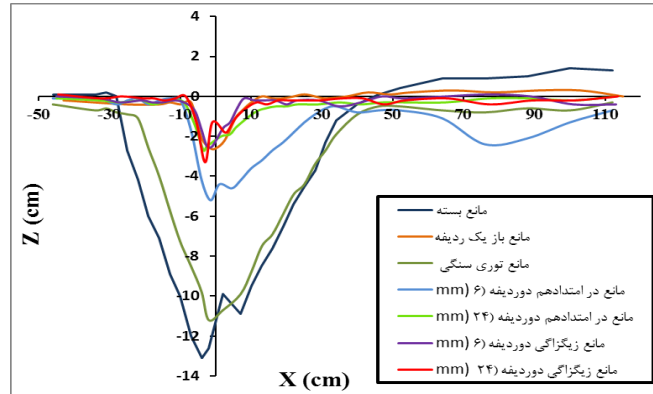
جدول ۳- حجم نسبی حفره آبشستگی انواع موانع نسبت به مانع بسته

نوع مانع	حجم نسبی حفره آبشستگی
بسته	۱
توری سنگی (۳۰ درصد)	۰/۹۵
مانع میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم 4d	۰/۰۷
مانع میله‌ای دو ردیفه زیگزاگی 4d	۰/۰۵
مانع میله‌ای دو ردیفه در امتداد هم 1d	۰/۲۶
مانع میله‌ای دو ردیفه زیگزاگی 1d	۰/۰۳
مانع میله‌ای یک‌ردیفه	۰/۰۴

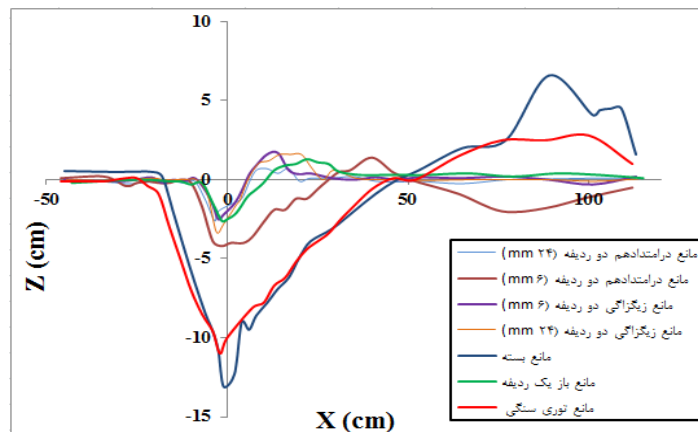
همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین حجم حفره آبشستگی مربوط به مانع توری سنگی می‌باشد. پس از آن موانع دو ردیفه در

بدین معنی که خطوط ترسیم شده در حفره آبشستگی در بالادست و پایین دست مانع برای همه انواع موانع چه در دماغه و چه در ۶۰ میلی متری از دیواره نصب مانع تقریباً با هم موازی است.

می باشد که با وقوع مقادیر حداکثر آبشستگی در این نواحی همراه است. نکته قابل توجه در شکل های ۱۶ و ۱۷، شیب تقریباً یکسان حفره آبشستگی در بالادست و پایین دست موانع مختلف می باشد.



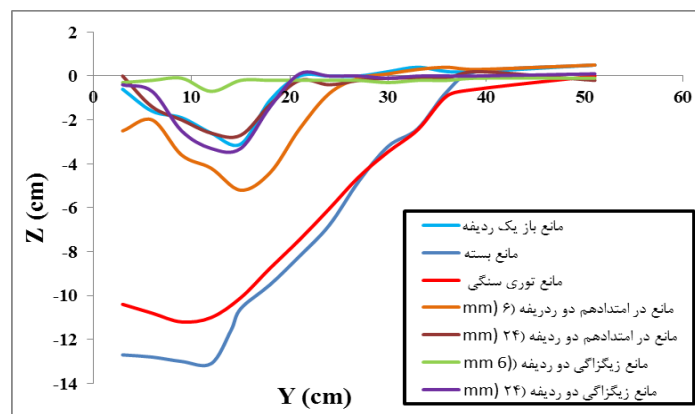
شکل ۱۶- پروفیل طولی بستر در موانع مختلف در فاصله ۵ سانتی متری از دیواره نصب مانع



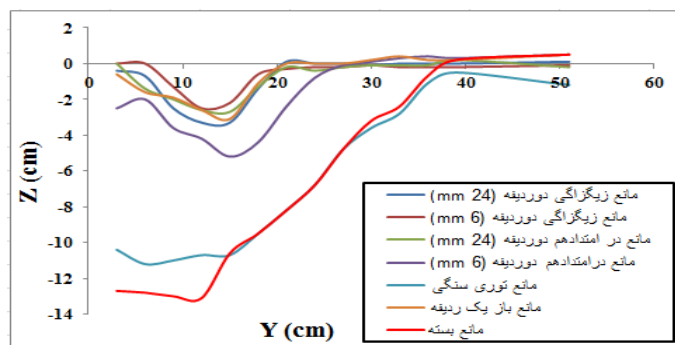
شکل ۱۷- پروفیل طولی بستر در دماغه مانع برای موانع مختلف

عرضی مشاهده می شود، عرض حفره برای مانع با بازشدگی کم تر، بیشتر بوده و آبشستگی بیشتر است و افزایش میزان بازشدگی مانع با کاهش عرض حفره آبشستگی همراه است.

در شکل های ۱۸ و ۱۹ نیز پروفیل عرضی برای موانع مختلف نشان داده شده است. مطابق با تصاویر مشاهده می شود که با ورود به محدوده ی قرارگیری مانع، به تدریج میزان تغییرات توپوگرافی بستر بیشتر می شود. همان طور که در پروفیل های



شکل ۱۸- پروفیل عرضی بستر برای موانع متفاوت



شکل ۱۹- پروفیل عرضی بستر حول دماغه موانع

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، آبشستگی و الگوی جریان حول آبشکن‌های بسته و باز توری‌سنگی، میله‌ای یک‌ردیفه و دو ردیفه با آرایش هندسی متفاوت به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. اهم نتایج کاربردی حاصل از این پژوهش به صورت زیر خلاصه شده است. به طور کلی آبشستگی در اطراف آبشکن‌های باز در هر حالتی اعم از آبشکن توری‌سنگی، میله‌ای یک‌ردیفه و میله‌ای دو ردیفه کمتر از آبشکن بسته می‌باشد. لیکن در مقایسه آبشکن توری‌سنگی با آبشکن‌های میله‌ای، علی‌رغم یکسان بودن درصد بازشدگی، آبشستگی به طور قابل توجهی بیشتر است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که جریان‌های عرضی و جریان پایین‌رونده طولی در آبشکن توری‌سنگی نسبت به آبشکن‌های میله‌ای بسیار بیشتر بوده؛ به طوری که آبشکن توری‌سنگی بخشی از جریان برخوردی را منحرف می‌سازد. در حالی که در مورد آبشکن‌های میله‌ای، انحراف جریان بسیار کم می‌باشد. لذا می‌توان از آبشکن‌های توری‌سنگی به عنوان آبشکن‌های نیم‌باز نام برد که عملکرد آبشکن

بسته و باز را با توان کمتری انجام می‌دهند.

در صورت استفاده از آبشکن میله‌ای دو ردیفه نسبت به آبشکن میله‌ای یک ردیفه ابعاد حفره آبشستگی به ویژه عمق حداکثر آبشستگی کاهش می‌یابد. ابعاد حفره آبشستگی و نیز حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن میله‌ای دو ردیفه با آرایش هندسی در امتداد هم بیشتر از آبشکن میله‌ای دو ردیفه زیگزاگی است و قضاوت در مورد تاثیر فاصله قرارگیری دو ردیف میله‌ها در آبشکن میله‌ای دو ردیفه بر ابعاد حفره آبشستگی نیازمند استفاده از نتایج آزمایش‌های بیشتری است.

بطور کلی بر اساس نتایج حاصله، در صورتیکه به لحاظ اجرایی هدف اصلی از ساخت آبشکن انحراف جریان باشد کماکان آبشکن بسته عملکرد مناسب تری دارد در حالیکه اگر هدف از احداث آبشکن به تله انداختن رسوب و احیاء ساحل باشد، ساخت آبشکن میله‌ای دو ردیفه زیگزاگی توصیه شده و برای تامین همزمان هر دو هدف استفاده از آبشکن‌های توری‌سنگی مناسب‌تر خواهد بود.

REFERENCES

- Alauddin, M., Tsujimoto, T. (2013). Groin Configurations: An Approach towards Stable Lowland Rivers with Improved Environmental Functions. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*. 7 (11), 788-792.
- Badpa, Z., (2016). Experimental Investigation of Flow Pattern and Scour due to presence of gabion groyne in the Straight Channel with Removable Bed. Master of Science Degree in hydraulic structures, Faculty of Engineering, Bu Ali Sina University (In Farsi).
- ChamPour, M., KashafiPour, M. (2016). *Experimental Investigation of the Effect of Permeation Series of groyne on Bed Topography in a 90 Degree Arc*. Conference and Exhibition of Water Engineering, 25 and 26 October, Tehran, Iran (In Farsi).
- Ezzeldin, M.M., Saafan, T.A., Rageh, O.S., and Nejm, L.M. (2007). *11th International Water Technology Conference*. Sharm El-sheikh. Egypt
- Haghnazar, H., Hashemzade ansar, B., and Noori, A. (2019). Experimental Investigation of the Effect of Hydraulic Flow Parameters on groyne Breakdown. *17th Iranian Hydraulic Conference*, Iranian Hydraulic Association-Shahrekord University (in Farsi).
- Jansen, P.Ph. (1979). *Principles of River Engineering*. Pitman, London, UK.
- Linder, C.P. (1969). Channel Improvement and Stabilization Measures. In State of Knowledge of Channel Stabilization in Major Alluvial Rivers. Technical Report No. 7. Fenwick, G.B. (ed). USACE Committee on Channel Stabilization, Vicksburg, MS, USA.
- Martinez, E, Ettema, R, Lachhab, A, (2002). Scour Experiments on Dike Angle, Porosity, and Hook for a Thin Dike. *1th International Conference on Scour of Foundations*, Texas, 364-372.
- Mahmoud, M.M., Ahmed, H.S., Abd El-Raheem, G.A., Ali, N.A., and Tominaga, A. (2013). Flow analysis around groyne with different permeability in compound channel floodplains. *Journal of*

- Engineering Sciences*, Assiut University, Faculty of Engineering, 41(2), 302-320.
- Mehraeen, M. (2015). Basics of Laboratory Devices in Hydraulic Engineering with Emphasis on Single Point Acoustic velocimeter. *Tarbiat Modarres University Water Research Institute* (In Farsi).
- Nasrolahi, A. (2002). *Investigation of the effect of the percentage of openings on the scour around open groynes*. M.Sc., Water Engineering, Faculty of Engineering and Tarbiat Modares University (In Farsi).
- Osman MA, Negmaldin Saeed H, (2012). Local scour depth at the nose of permeable and impermeable spur dykes. *University of Khartoum Engineering Journal*, 2(1), 1-9.
- Pazin, S., (2017). Experimental comparison of the effect of two-row zigzag and parallel groynes over flow pattern and topography of the bed in a straight channel with a moving bed. Master of Science Degree in hydraulic structures, Faculty of Engineering, Bu Ali Sina University (In Farsi).
- Teraguchi, H., Nakagawa, H., Kawaike, K., Baba, Y., and Zhang, H. (2010). Morphological Changes induced by River Training Structures: Bandal-like structures and Groins. *Annals of Disaster Prevention Research Institute*, Kyoto University. 505-518.
- Vahabiseviri, R. (2017). *Experimental Investigation of the Effect of Triangular Arrangement of Permeable groynes on River Erosion Control*. M.Sc., Department of Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, Zanzan University (In Farsi).
- Yebarepour khazine, A. (2014). *Investigating the Impact of Direct groyne Permeability on Erosion Pattern in Non-submerged Conditions*. Master thesis. Water structures. Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz (In Farsi).
- Zhang, H., Nakagawa, H. (2008). Scour around spur dykes: Recent Advances and Future Researches. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst.* Kyoto University. 51B, 633-652