

مطالعه آزمایشگاهی بهبود عملکرد سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای

سرور رضاپوریان^{۱*}، محمد مهدی احمدی^۲، کورش قادری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۰

چکیده

سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای (Debris flow breaker) سازه‌ای با طراحی ساده، کاربردی، قابل اعتماد و مقرون به صرفه برای حفاظت پایین دست می‌باشد. این سازه با قابلیت زهکشی آب جریان واریزه‌ای حجم واریزه‌های جاری به پایین دست رودخانه و خسارات ناشی از این واریزه‌ها را کاهش می‌دهد. آنالیز ابعادی به منظور بررسی رفتار سازه متوقف کننده در مقابل جریان واریزه‌ای صورت گرفت. عملکرد سازه با استفاده از محاسبه راندمان سازه و پارامترهای بی بعد مسافت طی شده توسط واریزه و محل تشکیل ارتفاع ماکزیمم تجمع واریزه‌ها روی سازه ارزیابی شد. کارایی سازه با تغییر بازشدگی، ساختمان آن و استقرار مانع یکپارچه بر روی سازه با غلظت و سرعت متفاوت جریان واریزه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در نتایج سرعت جریان واریزه‌ای متأثر از شیب فلوم نشان داده شد. میزان و حالت بازشدگی سازه از موثرترین پارامترها در عملکرد سازه می‌باشند. با کاهش ۴۰ درصدی میزان بازشدگی سازه راندمان سازه به میزان ۹۵ درصد افزایش یافته است. تغییر در ساختمان سازه موجب افزایش راندمان سازه تا ۴۴ درصد شده است. کاربرد مانع یکپارچه بر روی سازه متوقف کننده علاوه بر افزایش راندمان کنترل واریزه، موجب کاهش طول مسافت طی شده توسط واریزه‌ها تا توقف نهایی و کاهش طول کپه واریزه‌ها در بالادست مانع شده است.

واژه‌های کلیدی: سازه متوقف کننده، جریان واریزه‌ای، راندمان کنترلی، مهندسی رودخانه

مقدمه

خطرات ناشی از آن با استفاده از انواع سدهای بتنی مانند Sabo Dam با موفقیت صورت گرفته است اما روش سازه‌ای قابل اعتمادی وجود دارد که در آبراهه‌ها و رودخانه‌ها نتایج بسیار خوبی نشان داده است. این سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای (Debris flow breaker) می‌باشد. فرایند متوقف کردن و جداسازی رسوبات به نظر راه حل مناسبی برای این جریان‌ها می‌باشد که توسط سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای محقق می‌شود. این سازه به دلیل سادگی طراحی، مقرون به صرفه بودن و تعمیر و نگهداری آسان از آن مورد توجه قرار گرفت. پس از آنکه این سازه به تدریج در دنیا معرفی شد، مطالعاتی برای بررسی جوانب مختلف عملکرد این سازه انجام شد از قبیل بررسی طول عمر مفید سازه، بررسی ابعاد صفحه زهکشی این سازه برای جریان‌های مختلف با ابعاد رسوبات متفاوت و مطالعه در رابطه با نقش فشار آب در توقف رسوبات بر روی صفحه افقی سازه (Gonda, 2009).

فناوری سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای در سال ۱۹۵۶ توسط هاشیموتو معرفی گردید. این سازه اولین بار توسط موسسه تحقیقات ژاپن (PWRI) به صورت عملی مورد استفاده قرار گرفت. این سازه در

جریان‌های واریزه‌ای به عنوان یکی از بلایای طبیعی بیشتر در رودخانه‌ها و مسیر آبراهه‌ها اتفاق می‌افتد که خسارات و تلفات زیادی را به همراه دارند (Pan et al., 2018). این جریان‌ها به صورت دوره‌ای و در اکثر موارد بعد از بارش‌های سنگین و ذوب برف در اثر شیب آبراهه‌ها و رودخانه‌ها رخ می‌دهند. جریان‌های واریزه‌ای توده‌ای از خاک، سنگ، چوب و آب هستند که خطر بزرگی برای زیر ساخت‌ها و زندگی انسان‌ها به شمار می‌آیند (Canelli et al., 2012; Clark, 2018). این گونه جریان‌ها با حجمی معادل 10^6 تا 10^{10} متر مکعب می‌توانند چندین متر عمق و طول دنباله چند کیلومتری داشته باشند (Cordoba, 2015). کنترل این نوع از جریان‌ها و کاهش

- ۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
 - ۲- دانشیار بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
 - ۳- دانشیار بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
- *- نویسنده مسئول: (Email: Srezapourian@gmail.com)

flow) را بر روی فلوم‌هایی با شیب بالای ۲۰ درصد تعیین کرده است. ایشان نتایج آزمایشگاهی را با مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادلات مایر-پیتر مولر مقایسه نموده و نشان داد که معادلات مقادیر را کمتر از فلوم‌های شیبدار برآورده کرده‌اند (Smart, 1984).

ژاپن به‌صورت سه طرح آزمایشی برای جمع‌آوری داده، کسب دانش فنی در خصوص ساختمان، تعمیر و نگهداری آن مورد آزمایش قرار گرفت. این سازه در مقیاس واقعی در کوه توکاجیداک، هوکایدو ژاپن اجرا شد (شکل (۱)) (Gonda, 2009). اسمارت طی تحقیقات خود، ظرفیت رسوب جریان‌های سیلابی (sediment capacity of stream)



شکل ۱- سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای در دره کامی - هوریزاوا از کوه یاکداک ژاپن (Gonda, 2009)

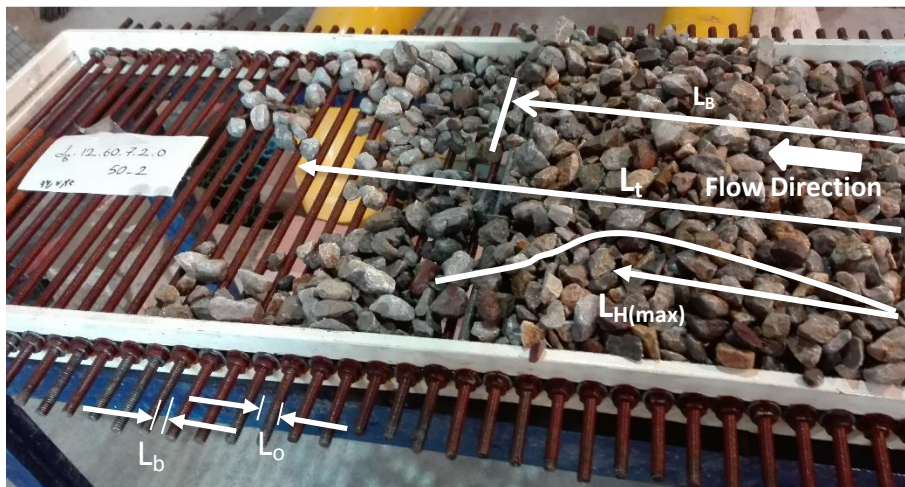
در این تحقیق مطالعه آزمایشگاهی جهت بررسی عملکرد سازه متوقف‌کننده تحت شرایط مختلف جریان واریزه‌ای سنگی (stony debris flow) انجام شده است. مطالعات پیشین به بررسی مکانیزم فرایند رسوبگذاری جریان‌های واریزه‌ای بر روی شیب‌های تند و دامنه کوه‌ها پرداخته و کمتر مطالعه‌ای این جریان را در رودخانه و آبراه‌ها بررسی کرده است. لذا در این مطالعه توجه ویژه به افزایش راندمان و عملکرد سازه متوقف‌کننده شده است. این افزایش راندمان در اثر ایجاد تغییرات هندسی شامل کاهش میزان بازشدگی سازه، تعویض میله‌های طولی سازه با میله‌های عرضی و استفاده از مانع یکپارچه بر روی سازه صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

پارامترهای موثر بر عملکرد سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای برای مطالعه سیستماتیک عملکرد سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای به عنوان ابزاری قابل اعتماد در کنترل این نوع از جریان، کاهش خسارت ناشی از آن و حفاظت پایین دست، شناخت پارامترهای موثر در این سازه و جریان مورد نظر مهم خواهد بود. آنالیز ابعادی به منظور مطالعه رفتار این سازه انجام شده و گروه‌هایی از اعداد بی‌بعد برای تفسیر راندمان نگهداشت واریزه توسط سازه متوقف‌کننده به دست آمده است. در نهایت پارامترهای بی‌تأثیر حذف و معادله ساده شده نهایی برای بررسی راندمان سازه ارائه شده است. شکل (۲) این سازه را در آزمایشگاه نشان می‌دهد.

مطالعات متعددی نیز بر روی مقاومت جریان‌های واریزه‌ای در کانال شیبدار انجام شده که بیانگر تأثیر پارامتر مقاومت بر روی عمق جریان می‌باشد، همچنین تحقیقات مشابه نشان داده‌اند که مقاومت می‌تواند خود تحت تأثیر شیب و اندازه ذرات بستر کانال قرار گیرد (Tian et al., 2014). جوز و همکاران انتقال رسوب در کانال با شیب تند را بررسی کرده و تغییرات پروفیل کف کانال را با دبی و رسوب مختلف مورد ارزیابی قرار داده‌اند (Jues et al., 2015). وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ تأثیر وجود موانعی مشابه حوضچه‌های آرامش پایین دست سدها را در مسیر فلوم آزمایشگاهی برای کاهش خطرات ناشی از حمل واریزه‌ها همراه با جریان بررسی کرده‌اند. حاصل این مطالعه کاهش ۲۲ درصدی سرعت جریان واریزه‌ای بعد از عبور از بین موانعی با فاصله ۰/۱ تا ۰/۲۵ متر در مسیر فلوم بوده است (Wang et al., 2017). ساز و کار سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای به رفتار سازه‌های زهکشی بسیار شبیه است. زهکشی بخش سیال جریان واریزه‌ای توسط سازه متوقف‌کننده موجب افزایش غلظت رسوبات در مقطعی از جریان شده و سرعت آن را کاهش می‌دهد. به منظور بررسی فرایند جداسازی آب از رسوب مطالعاتی بر روی مکانسیم سازه صورت گرفته است. عملکرد سازه در این جداسازی به فواصل بازشدگی و بسته‌شدگی روی صفحه وابسته است (Gonda, 2009, 2012, Kim et al., 2012). تنها مطالعات انجام شده به منظور بهینه‌سازی این سازه به بررسی طول بهینه این سازه پرداخته است (Yazawa et al., Izumi et al., 1982, ICHARM, 2008). (1998).



شکل ۲- سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای در آزمایشگاه

انباشه شده روی سازه $(L_{H(max)})$ به طول سازه متوقف کننده، $\frac{L_{H(max)}}{L_{db}}$ در نتایج استفاده شده است. همچنین، پارامتر $\frac{L_B}{D_{50}}$ قابل ترکیب با پارامتر بی بعد $\frac{L_{db}}{D_{50}}$ است که به صورت پارامتر جدید $\frac{L_B}{L_{db}}$ در معرفی موانع یکپارچه استفاده شده در نتایج مطالعه مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

معادله نهایی با پارامترهای موثر در عملکرد سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای به صورت زیر است:

$$\text{Efficiency (\%)} = g\left(\frac{L_o}{D_{50}}, \frac{L_t}{L_{db}}, \frac{L_B}{L_{db}}, \frac{h_B}{D_{50}}, \frac{L_{H(max)}}{L_{db}}, C\right) \quad (4)$$

تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش ها

در این مطالعه از یک فلوم آزمایشگاهی (طول ۴ متر، عرض ۰/۴ متر و ارتفاع ۰/۵ متر) که در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان ساخته شده، استفاده شده است. در بالادست فلوم مخزنی فلزی با ابعاد $1 \times 1 \times 1$ متر قرار دارد که با مخلوط آب زلال و واریزه (debris) پر شده است. ابتدای فلوم دریچه‌ای فلزی تعبیه شده است که مخلوط آب و واریزه را به طور ناگهانی وارد فلوم کرده و جریان واریزه‌ای را ایجاد می‌کند. بدنه فلوم با ورقه پلاکسی گلاس شفاف ساخته شده و به منظور مشاهده بهتر رفتار جریان در فلوم یکی از دیوارها به صورت شیشه‌ای در نظر گرفته شده است. دوربین دیجیتال فیلمبرداری Panasonic برای اندازه‌گیری زمان و سرعت جریان واریزه‌ای استفاده شده است. سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای (عرض ۰/۴ متر و طول ۱ متر) به صورت افقی در انتهای پایین دست فلوم نصب گردیده است (شکل ۳). واریزه سنگی یکنواخت (stony debris) با منحنی دانه‌بندی ارائه شده در شکل (۴) به عنوان مواد جریان واریزه‌ای استفاده شده است. خصوصیات واریزه استفاده شده در جدول (۱) گزارش شده است.

اول، راندمان نگهداشت سازه متوقف کننده جریان را می‌توان به صورتی یک تابع ψ از پارامترهای موثر بیان کرد:

$$\text{Efficiency (\%)} = \psi(W_f, S_f, W_{db}, L_{db}, S_{db}, L_o, L_b, L_T, V_d, \rho, \mu, h, V, g, \rho_s, D_{50}, \omega, W_s, C, \phi_s, L_B, h_B) \quad (1)$$

دوم، مرحله مهم در انجام آنالیز ابعادی سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای، انتخاب ابعاد مستقل اصلی برای پارامترهای معادله (۱) است که سه بعد جرم (M) ، طول (L) و زمان (T) براساس تئوری باکینگهام انتخاب شده است. پارامترهای g و S_f به صورت زیر جایگزین می‌شوند:

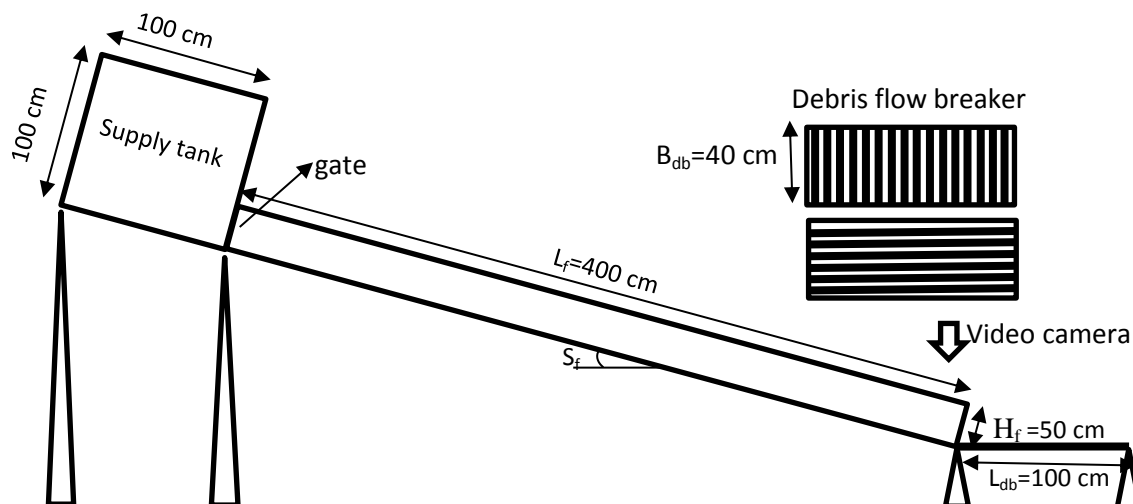
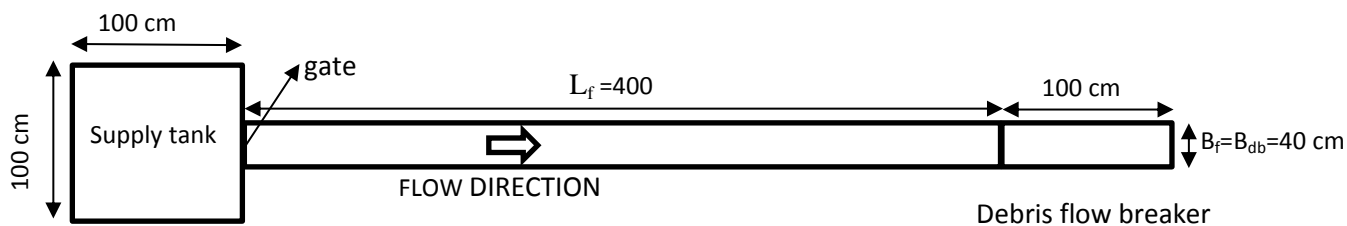
$$\begin{cases} \tau_0 = \rho g h S_f = \gamma h S_f \rightarrow v_* \text{ Alternative } S_f \\ v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{g h S_0} \\ \gamma_c = g(\rho_c - \rho) \rightarrow \gamma_c \text{ Alternative } g \end{cases} \quad (2)$$

در این مطالعه، موضوع اصلی ارزیابی راندمان نگهداشت سازه متوقف کننده است که بدین منظور پارامترهای ρ به عنوان پارامتر، D_{50} و v_* به عنوان متغیرهای تکراری اعداد بی بعد انتخاب می‌شوند. راندمان نگهداشت واریزه توسط سازه متوقف کننده توسط تابع جدید f که شامل گروه‌های بی بعد، ارائه شده است:

$$\text{Efficiency (\%)} = f\left(\frac{B_f}{D_{50}}, \frac{1}{Re}, \frac{h}{D_{50}}, C_*, \frac{1}{Fr^2}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\omega}{v_*}, \frac{W_s}{\rho v_*^2 D_{50}^2}, \frac{L_{db}}{D_{50}}, \frac{B_{db}}{D_{50}}, \frac{L_o}{D_{50}}, \frac{L_b}{D_{50}}, \frac{V_d}{D_{50}^3}, \frac{L_t}{D_{50}}, S_{db}, C, \phi_s, \frac{L_B}{D_{50}}, \frac{h_B}{D_{50}}\right) \quad (3)$$

که، C_* برابر است با ضریب شزی، عدد فرود به دست آمده نیز برابر با عدد فرود دنسیمتریک است.

پارامترهای بی بعد به دست آمده قابل ترکیب با یکدیگر هستند، به طور مثال، $\frac{L_t}{D_{50}}$ و $\frac{L_{db}}{D_{50}}$ را می‌توان به صورت پارامتر جدید $\frac{L_t}{L_{db}}$ بازنویسی کرد. علاوه بر این، محل تشکیل بیشترین ارتفاع واریزه



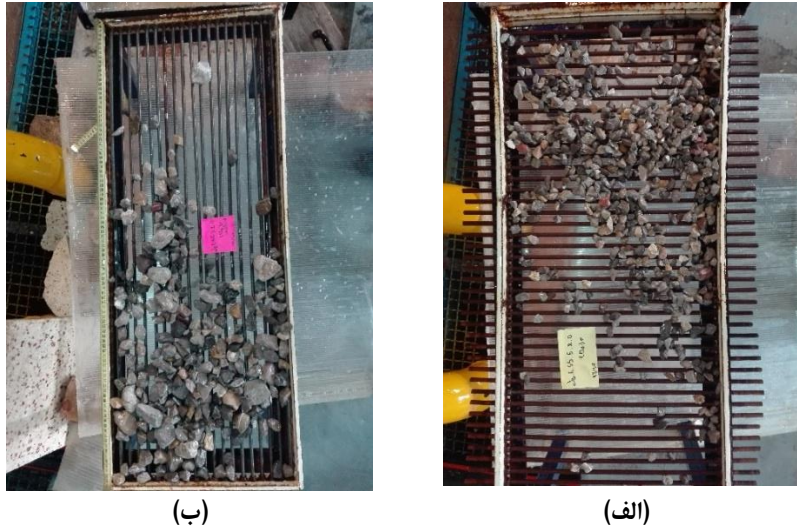
شکل ۳- پلان و نمای جانبی فلوم آزمایشگاهی و سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای



شکل ۴- منحنی دانه‌بندی مواد واریزه‌ای

جدول ۱- خصوصیات واریزه استفاده شده در آزمایشات

D_{50} (mm)	D_{90} (mm)	Φ_s (Degree)	σ_g	Density (g/cm ³)
۱۴	۲۲/۸	۵۶	۱/۳۹	۲/۶۵



شکل ۵- سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای، الف) بازشدگی سازه با میله‌های عرضی، ب) بازشدگی سازه با میله‌های طولی

تفکیک بوده‌اند. بخش اول مربوط به تغییر شیارها روی سازه متوقف‌کننده بوده که برای ۶ غلظت جریان، ۳ شیب فلوم و ۳ اندازه بازشدگی سازه انجام شده است. بخش دوم مربوط به استقرار مانع بر روی سازه متوقف‌کننده جریان است که بسته به ارتفاع و محل این مانع حالت‌های مختلفی از آزمایش انجام شده است. در این بخش ۳ ارتفاع و ۳ محل مختلف روی سازه برای موانع در نظر گرفته شده است. طول موانع نیز برابر با عرض سازه متوقف‌کننده ۰/۴ متر است. شرایط آزمایشگاهی در جدول (۲) برای هر سری آزمایش با سه تکرار نشان داده شده‌است.

فلوم آزمایشگاهی با قابلیت تغییر شیب برای شرایط مختلف جریان واریزه‌ای طراحی شده‌است. شرایط مختلف جریان شامل غلظت‌های مختلف واریزه و حجم‌های متفاوت جریان واریزه‌ای می‌باشد. در این مطالعه متغیرها عبارتند از: غلظت جریان واریزه‌ای، شیب فلوم، اندازه بازشدگی و حالت شیارهای تعبیه شده بر روی سازه متوقف‌کننده و وجود موانع یکپارچه بر روی سازه متوقف‌کننده. غلظت جریان واریزه‌ای براساس شرایط آزمایشگاهی از قبیل قدرت پمپ به‌منظور فراهم آوردن حجم آب مورد نیاز، شرایط مخزن و حجم واریزه مورد استفاده برای ایجاد جریان واریزه‌ای با تکرار و به‌صورت تجربی به‌دست آمده است. آزمایشات انجام شده در دو بخش قابل

جدول ۲- شرایط آزمایشات

S (Degree)	L_o	L_B	h_B	C	Debris breaker
5	$0.75D_m$	$\frac{1}{3}L_{db}$	D_m	0.47	vertical
7	D_m	$\frac{1}{2}L_{db}$	$1.5D_m$	0.5	Horizontal
9	$1.25D_m$	$\frac{2}{3}L_{db}$	$2D_m$	0.53	
				0.56	
				0.59	
				0.62	

بررسی عملکرد سازه متوقف‌کننده با وجود میله‌های موازی با جهت جریان (در جهت طولی) بر روی سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای، بخش دوم: مقایسه عملکرد سازه برای متوقف کردن واریزه‌ها با میله‌های طولی و میله‌های در جهت عمود بر خطوط جریان (در جهت عرضی) و بخش سوم: عملکرد سازه متوقف‌کننده در برابر جریان واریزه‌ای با استفاده از مانع یکپارچه بر روی سازه متوقف‌کننده. تمامی

نتایج

ارزیابی عملکرد کنترلی سازه متوقف‌کننده

جهت بررسی راندمان کنترل واریزه توسط سازه متوقف‌کننده، ۶ غلظت مختلف واریزه در سه شیب متفاوت از فلوم مورد بررسی قرار گرفته‌است. نتایج مطالعه در ۳ بخش ارائه شده است. بخش اول:

خواهد بود. افزایش این دو عامل موجب تشکیل تجمع واریزه‌ها در انتهای سازه شده و پارامتر بی‌بعد $\frac{LH(max)}{L_{db}}$ را افزایش داده‌است.

تاثیر حالت قرارگیری میله‌ها بر روی سازه متوقف کننده

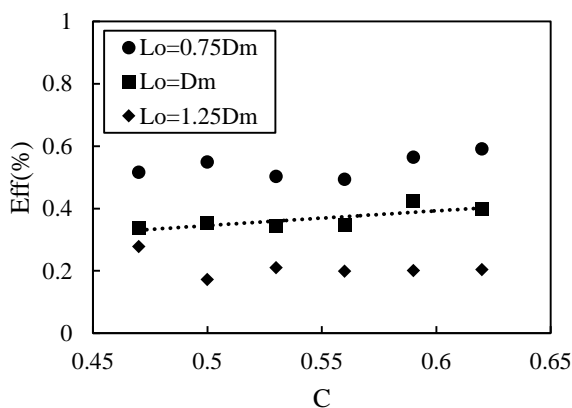
بررسی عملکرد سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای با تغییر میله‌های طولی به عرضی برای میزان بازشدگی ثابت بر روی سازه به اندازه D_m انجام شده‌است. در شکل (۸) نشان داده شده که تغییر میله‌های سازه متوقف کننده از حالت معمول طولی به حالت عرضی و عمود بر جهت جریان موجب افزایش راندمان این سازه در شیب‌های مختلف فلوم شده‌است. اختلاف راندمان در دو حالت میله‌های طولی و عرضی برای فلوم ۹ درجه در شکل (۸-ج) بیشتر از سایر شیب‌های فلوم بوده است.

آزمایشات سازه متوقف کننده با فاصله بازشدگی ثابت $L_0=D_m$ و فاصله مسدودشدگی ثابت $L_b=0.5D_m$ مورد استفاده قرار گرفته است.

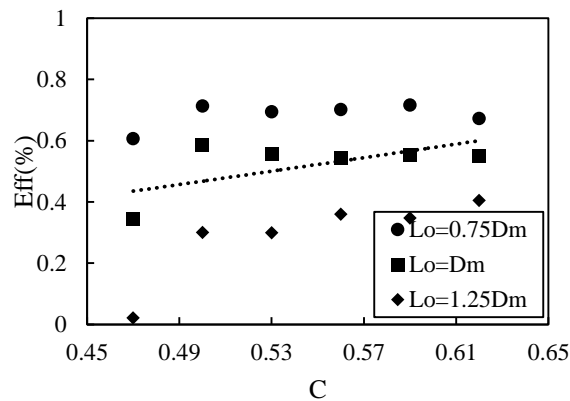
تاثیر میزان بازشدگی روی سازه متوقف کننده

سرعت جریان واریزه ای با افزایش شیب فلوم، افزایش یافته است. با این حال، کاهش میزان بازشدگی سازه متوقف کننده حتی در بیشترین سرعت جریان (فلوم با شیب ۹ درجه) نیز موجب افزایش راندمان نگهداشت واریزه توسط سازه گردیده است.

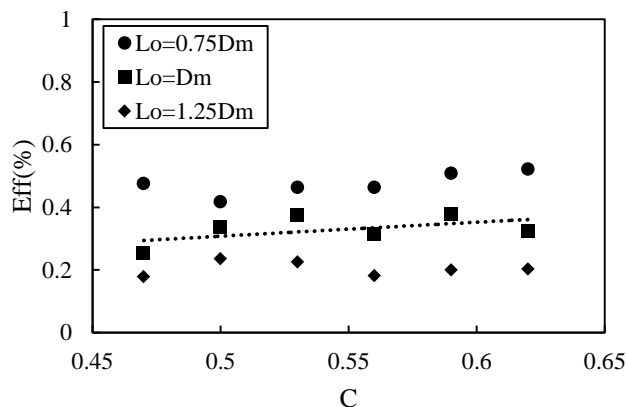
پارامتر بی‌بعد $\frac{L_t}{L_{db}}$ با کاهش میزان بازشدگی سازه متوقف کننده رابطه مستقیم داشته و با توجه به شکل (۷) در همه شیب‌های فلوم کاهش نشان داده‌است. همچنین، این پارامتر بی‌بعد با افزایش غلظت جریان واریزه‌ای نیز افزایش یافته‌است. محل تشکیل ارتفاع ماکزیمم حاصل از تجمع واریزه‌ها بر روی سازه متوقف کننده به شیب فلوم و میزان بازشدگی سازه وابسته است. این طول در تعیین طول سازه موثر



(ب)

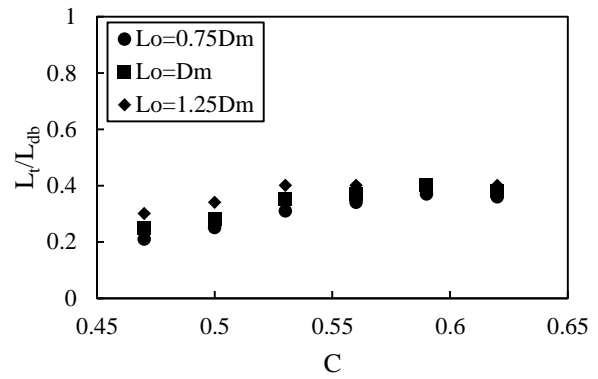
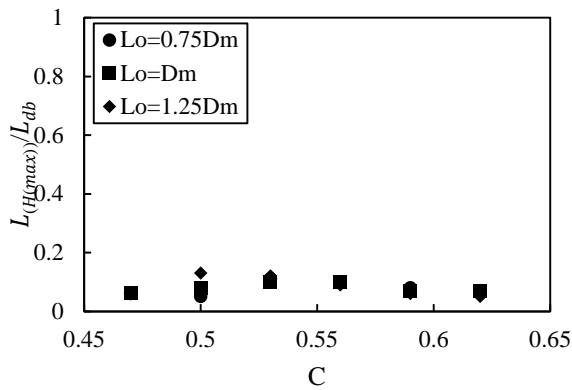


(الف)

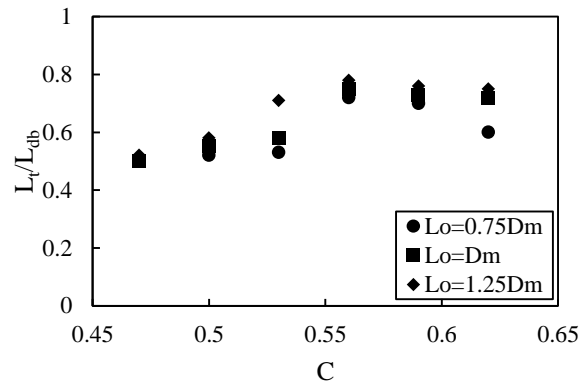
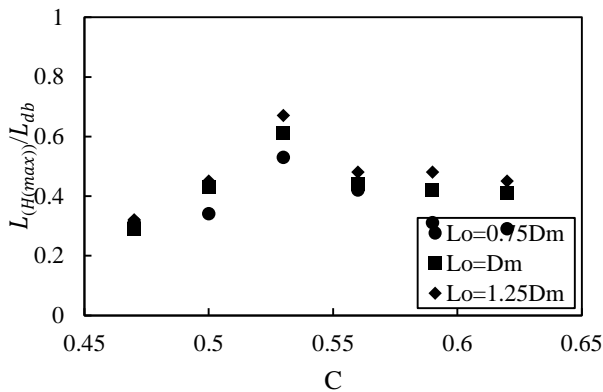


(ج)

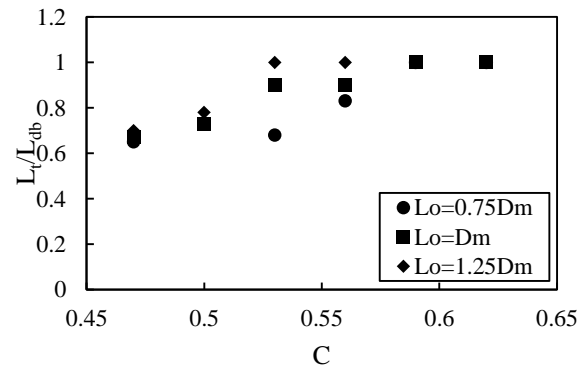
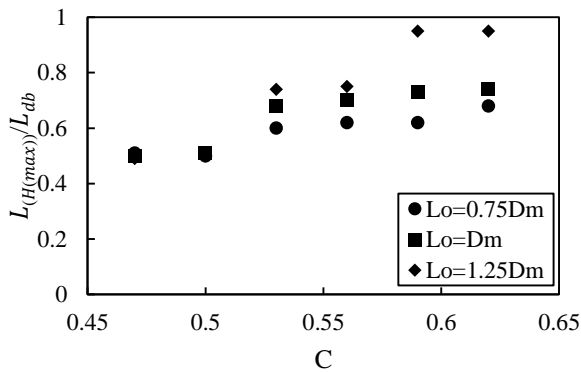
شکل ۶- رابطه بین راندمان سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای و غلظت جریان، (الف) شیب فلوم ۵ درجه، (ب) شیب فلوم ۷ درجه و (ج) شیب فلوم ۹ درجه



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۷- رابطه بین پارامترهای بی‌بعد $\frac{L_t}{L_{db}}$ ، $\frac{L_{qH(max)}}{L_{db}}$ و غلظت جریان واریزه‌ای، (الف) شیب فلوم ۵ درجه، (ب) شیب فلوم ۷ درجه و (ج) شیب فلوم ۹ درجه

آزمایشات برای میله‌های طولی نسبت به میله‌های عرضی نزدیک به ابتدای سازه به دست آمده‌است.

تاثیر استفاده از مانع یکپارچه بر روی سازه متوقف‌کننده

جهت ارزیابی اثر محل و ارتفاع موانع یکپارچه بر روی عملکرد سازه متوقف‌کننده در نگهداشت واریزه‌ها سه ارتفاع و سه محل

نتایج در شکل (۹) نشان می‌دهد که عملکرد میله‌های موازی با جهت جریان ورودی روی سازه متوقف‌کننده به‌خوبی میله‌های عمودی نبوده و علاوه‌براین حرکت واریزه‌ها بر روی سازه در طول بیشتری نسبت به حالت دیگر متوقف شده‌اند. در نتیجه، پارامتر بی‌بعد برای میله‌های طولی سازه نسبت به میله‌های عرضی روی سازه بیشتر است. محل تشکیل ارتفاع ماکزیمم تجمع واریزه‌ها در

آزمایشات می‌باشد و واریزه‌ها با سرعت کمتر روی سازه حرکت کرده و در ابتدای سازه متوقف می‌شوند. لذا، مانع در محل $\frac{1}{3}L_{db}$ با ارتفاع $2D_m$ به خوبی توانسته واریزه‌ها را کنترل کند.

پارامتر بی‌بعد $\frac{LH(max)}{L_{db}}$ نشان‌دهنده محل تشکیل ماکزیمم ارتفاع حاصل از تجمع واریزه‌ها بر روی سازه متوقف کننده است. این پارامتر وابسته به ارتفاع مانع، محل قرارگیری مانع بر روی سازه و شیب فلوم قابل تغییر است.

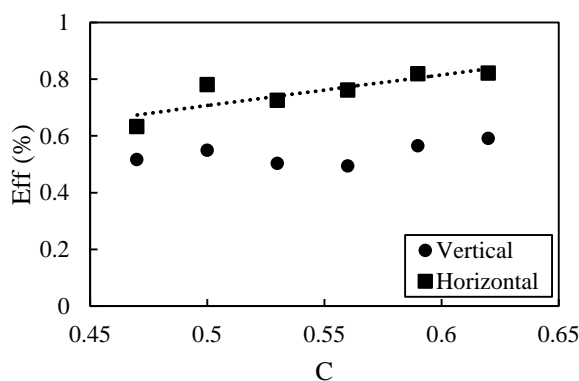
بحث

در این مطالعه عملکرد سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای به-عنوان سازه‌ای ساده، کاربردی و قابل اطمینان در رودخانه‌ها و مسیر آبراهه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از انجام این مطالعه بررسی میزان عملکرد و راندمان این سازه با وجود تغییرات در ساختمان آن و استفاده از مانع بر روی این سازه به صورت آزمایشگاهی است. آنالیز ابعادی رفتار سازه را توسط گروه‌های بی‌بعد تفسیر کرده‌است.

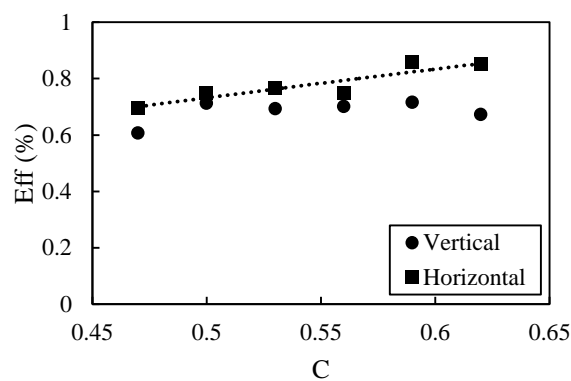
مختلف برای موانع در نظر گرفته شده است. این موانع بر روی سازه متوقف کننده تعیبه گردیده و نتایج مربوط به آزمایشات برداشت شده است. در بین این نتایج برای هر شیب فلوم، محل و ارتفاعی که مانع روی سازه بهترین عملکرد را داشته مشخص و در این بخش گزارش شده است.

شکل (۱۰) نشان می‌دهد که وجود مانع یکپارچه روی سازه متوقف کننده نسبت به حالت سازه بدون مانع، عملکرد بهتری را در مقابل جریان واریزه‌ای داشته است. براساس نتایج به دست آمده از آزمایشات سازه متوقف کننده با وجود مانع، اگر مانع از ابتدای سازه دورتر شود می‌توان مانع با ارتفاع کمتری را استفاده کرد زیرا عملکرد سازه با موانع در ارتفاعات مختلف نزدیک به یکدیگر است.

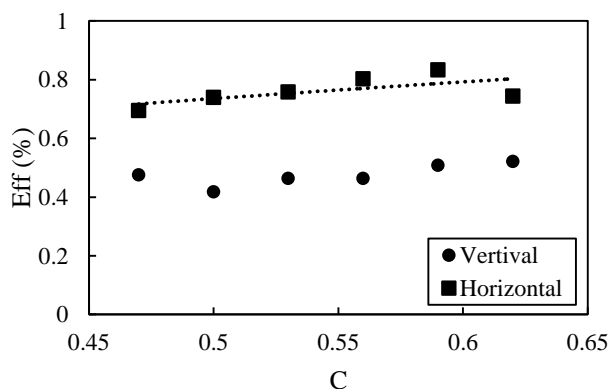
در شکل (۱۱) نشان داده شده که وجود مانع و تغییر ارتفاع این موانع چگونه توانسته بر روی طول مسافت طی شده توسط جریان واریزه‌ای روی سازه متوقف کننده تاثیرگذار باشد. این تاثیر با کاهش پارامتر بی‌بعد $\frac{L_t}{L_{db}}$ در ازای افزایش ارتفاع مانع در محل‌های خاص از سازه متوقف کننده نشان داده شده است. به طور مثال، در فلوم با شیب ۵ درجه، سرعت جریان واریزه‌ای در کمترین مقدار خود در بین



(ب)

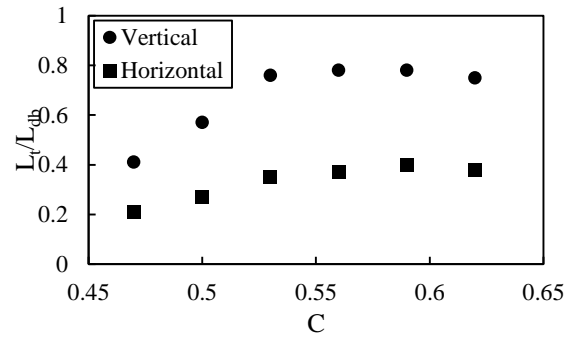
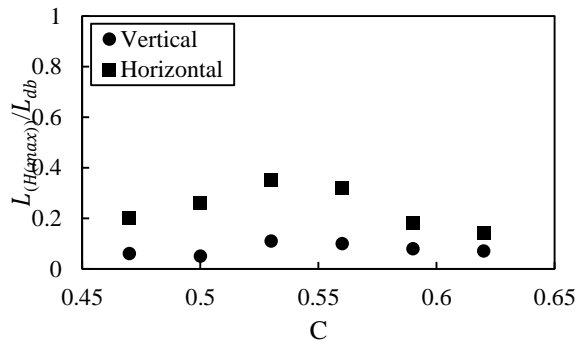


(الف)

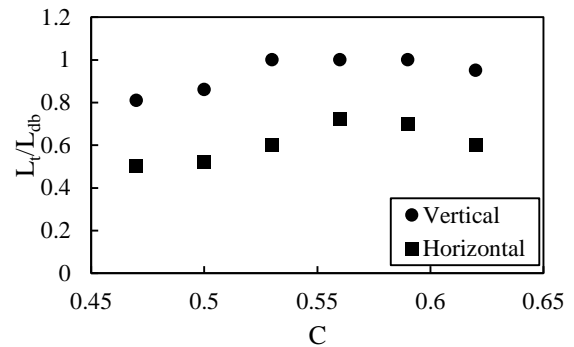
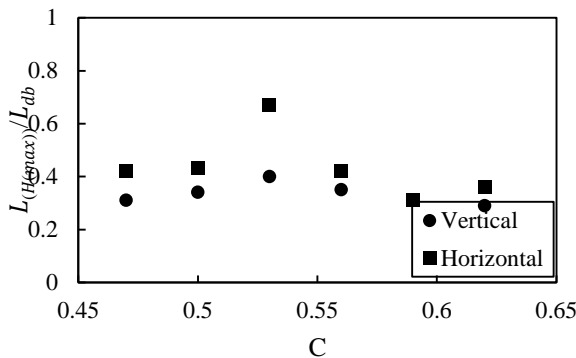


(ج)

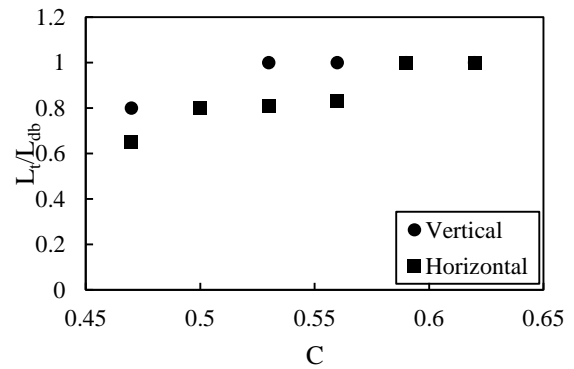
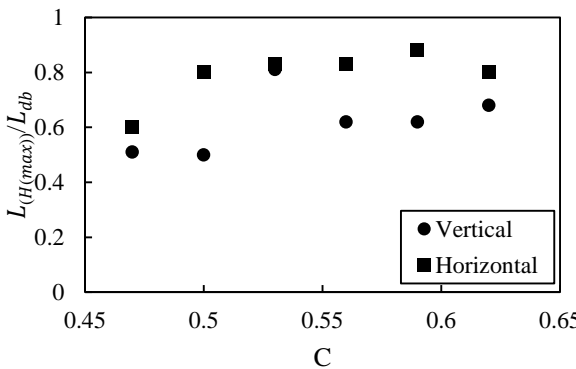
شکل ۸- رابطه بین راندمان سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای و غلظت جریان، (الف) شیب فلوم ۵ درجه، (ب) شیب فلوم ۷ درجه و (ج) شیب فلوم ۹ درجه



(الف)



(ب)



(ج)

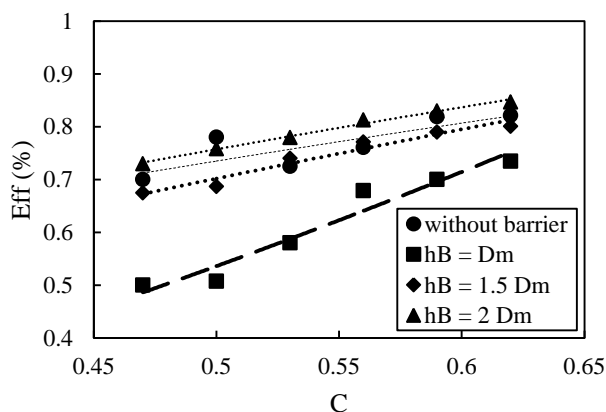
شکل ۹- رابطه بین پارامترهای بی بعد $\frac{L_H(max)}{L_{db}}$ و $\frac{L_H}{L_{db}}$ و غلظت جریان واریزه‌ای، الف) شیب فلوم ۵ درجه، ب) شیب فلوم ۷ درجه و ج) شیب فلوم ۹ درجه

است (Kim et al., 2013). اما در این مطالعه، راندمان سازه متوقف کننده، طول مسافت طی شده توسط واریزه‌ها و محل ارتفاع ماکزیمم تجمع آنها روی سازه برآورد شد. شیب فلوم و میزان بازشدگی سازه به‌عنوان عوامل اصلی بر این سه پارامتر معرفی گردید. افزایش میزان بازشدگی از $0.75D_m$ تا D_m موجب کاهش ۴۵ درصدی و افزایش میزان بازشدگی از $0.75D_m$ تا $1.25D_m$ موجب کاهش ۹۵ درصدی راندمان سازه گردید. اما در این مطالعه این بازشدگی‌ها بنحوی طراحی شده‌اند که در عرض سازه قرار گرفته و عمود بر جریان ورودی

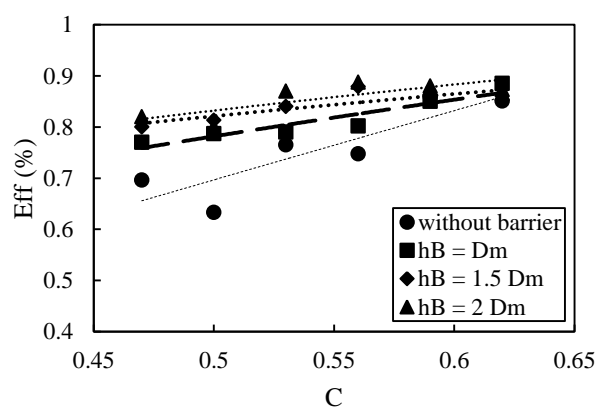
در مطالعات قبلی انجام شده بر روی سازه متوقف کننده بازشدگی روی سازه به‌صورت طولی در نظر گرفته شده‌است. همچنین، بررسی سازه متوقف کننده به تغییر شیب أبراهه و نهایتاً تغییر میزان بازشدگی سازه محدود شده‌است (Gonda, 2009 and Kim et al., 2013). گوندا (۲۰۰۹) تنها اثر میزان بازشدگی را بر روی مسافت طی شده مورد بررسی قرار داده‌است (Gonda, 2009). کیم و همکاران (۲۰۱۳) نیز اثر وجود یا عدم وجود سازه متوقف کننده را بر روی مسافت طی شده توسط واریزه‌ها روی سازه متوقف کننده مورد بررسی قرار داده-

مسافت موجب حفاظت پایین دست سازه و رودخانه از خطرات و خسارات ناشی از جریان‌های واریزه‌ای می‌گردد. با توجه به نتایج به دست آمده و نزدیک بودن نتایج برای موانع با ارتفاعات مختلف، این امکان برای مهندسين طراح فراهم شده که براساس موقعیت احداث سازه، محل و ارتفاع مانع را به گونه‌ای انتخاب کنند که طرح از نظر لایروبی و استفاده مجدد، نگهداری، تعمیرات و مقرون به صرفه بودن در بهترین حالت قرار داشته باشد. در نهایت، کلیه تغییرات ایجاد شده بر روی سازه متوقف کننده در راستای بهبود عملکرد و افزایش راندمان آن در مقابل کنترل جریان واریزه‌ای در رودخانه‌ها صورت گرفته است که براساس نتایج به دست آمده همگی اثرات مثبتی بر روی راندمان سازه و کاهش خسارت ناشی از جریان واریزه‌ای نشان داده‌اند.

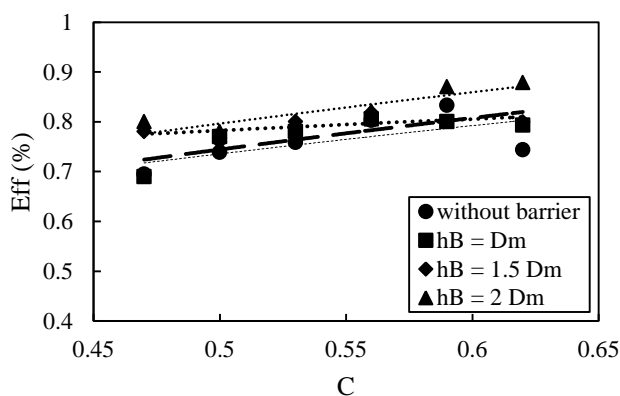
هستند. تغییر بازشدگی‌های روی سازه از حالت موازی با جریان به حالت عمود بر جریان، به ترتیب، موجب افزایش ۲۱، ۳۵ و ۴۴ درصدی راندمان نگهداشت واریزه توسط سازه در فلوم با شیب‌های ۵، ۷ و ۹ درجه شده‌است. علاوه بر این تغییر، موانعی نیز بر روی سازه با محل و ارتفاع متغیر تعبیه گردید که رفتار سازه را در مقابل کنترل جریان واریزه‌ای تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای فلوم با هر شیب ۹ حالت ترکیبی از محل و ارتفاع مانع برای آزمایشات در نظر گرفته شد. از بین این ۹ حالت، نتایج ترکیب‌هایی که بهترین عملکرد را داشته‌اند در شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) ترسیم شده‌اند. افزایش شیب فلوم و افزایش سرعت جریان واریزه‌ای موجب جابجایی محل مانع از ابتدای سازه متوقف کننده به انتهای سازه شد. وجود این موانع طول مسافت طی شده توسط واریزه به پایین دست را نیز کاهش داده که این کاهش



(ب)



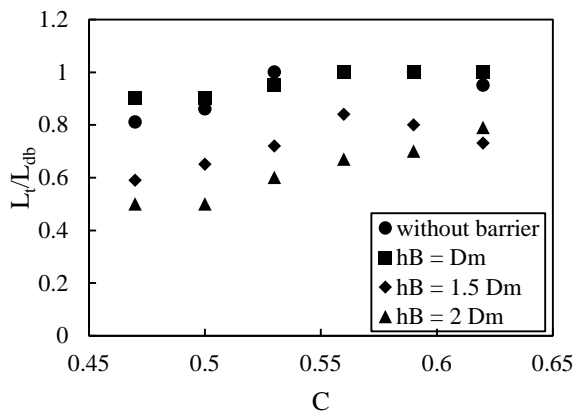
(الف)



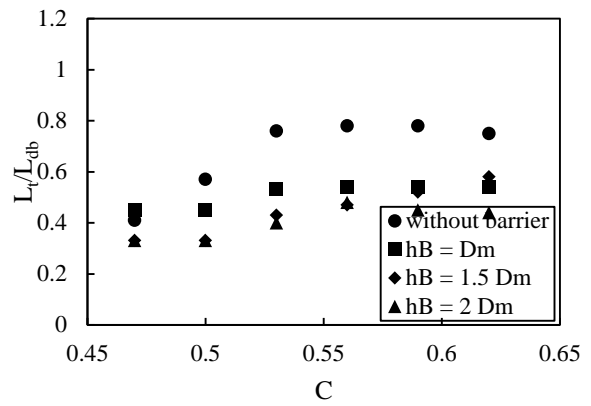
(ج)

شکل ۱۰- رابطه بین راندمان سازه متوقف کننده و غلظت جریان واریزه‌ای در فلوم با

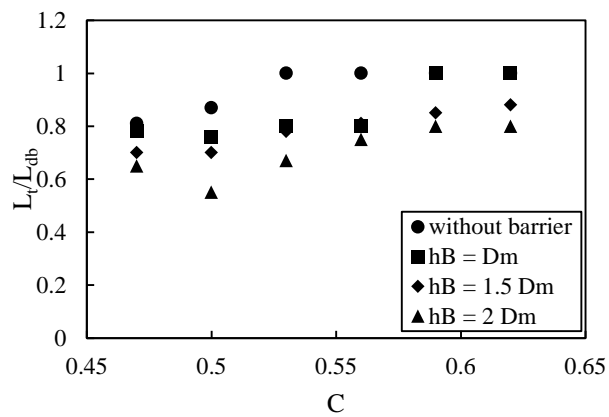
(الف) شیب ۵ درجه $L_B = \frac{1}{3}L_{db} - h_B = 2D_m$ ، (ب) شیب ۷ درجه $L_B = \frac{1}{2}L_{db} - h_B = 2D_m$ و (ج) شیب ۹ درجه $L_B = \frac{1}{2}L_{db} - h_B = 2D_m$



(ب)



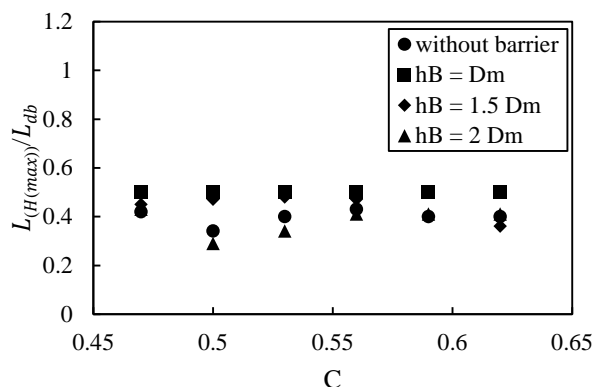
(الف)



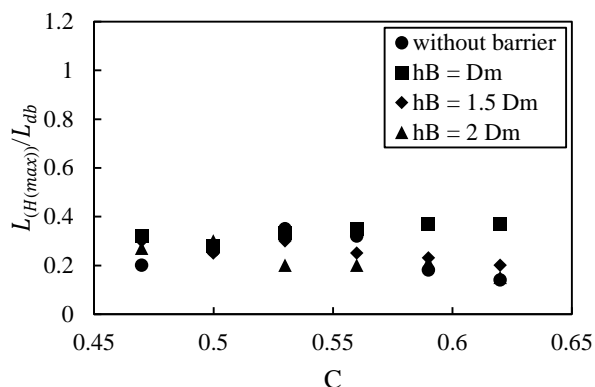
(ج)

شکل ۱۱- رابطه بین پارامتر بی‌بعد $\frac{L_c}{L_{db}}$ و غلظت جریان واریزه‌ای در فلوم با،

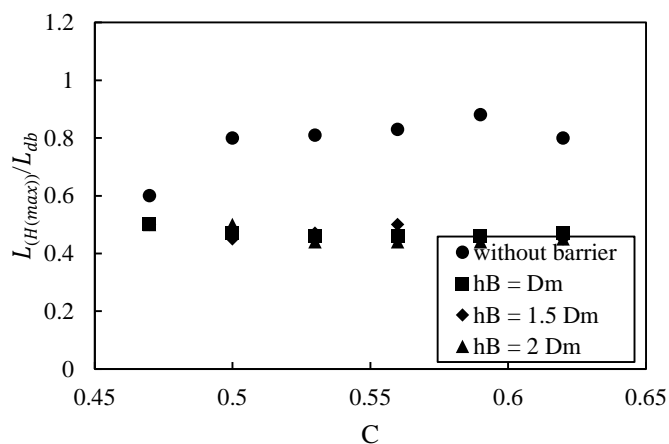
الف) شیب ۵ درجه $L_B = \frac{1}{3}L_{db} - h_B = 2D_m$ ، ب) شیب ۷ درجه $L_B = \frac{1}{2}L_{db} - h_B = 2D_m$ و ج) شیب ۹ درجه $L_B = \frac{1}{2}L_{db} - h_B = 2D_m$



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۱۲- رابطه بین پارامتر بی بعد $\frac{L_{H(max)}}{L_{db}}$ و غلظت جریان واریزه‌ای در فلوم با،

(الف) شیب ۵ درجه $L_B = \frac{1}{3}L_{db} - h_B = 2D_m$ ، (ب) شیب ۷ درجه $L_B = \frac{1}{2}L_{db} - h_B = 2D_m$ و (ج) شیب ۹ درجه $L_B = \frac{1}{2}L_{db} - h_B = 2D_m$

علائم اختصاری

W_f	عرض فلوم	ρ	جرم مخصوص
S_f	شیب کف فلوم	μ	ویسکوزیته دینامیکی
W_{db}	عرض سازه متوقف کننده جریان	h	عمق جریان
L_{db}	طول سازه	V	سرعت جریان
S_{db}	شیب سازه	g	شتاب گرانش
L_o	فاصله بازشدگی	ρ_s	جرم مخصوص واریزه
L_b	فاصله مسدود شدگی	D_{50}	قطر مشخصه واریزه
W_s	وزن غوطه‌وری واریزه	V_d	حجم واریزه نگداشته شده
C	غلظت واریزه	H_s	ارتفاع رسوب انباشته شده
φ_s	زاویه ایستایی واریزه‌ها	L_T	طول حرکت واریزه‌ها
ω	سرعت سقوط ذرات	L_B	محل قرارگیری مانع یکپارچه
		h_B	ارتفاع مانع یکپارچه

- Garcia-Navarro, p. 2015. Sediment transport in steep channels with a uniform grain size. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress 28 June – 3 July. The Hague, The Netherlands.
- Julien, P. Y., and Paris, A. 2010. Mean velocity of mudflows and debris flows. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE. Vol. 136(9): 676-679.
- Kim, Y., Nakagawa, H., Kawaike, K. and Zhang, H. 2012. Numerical and experimental study on debris flow breaker. *Annals of Disaster prevention research institute*. Vol. 55: 471- 481.
- Kim, Y., Nakagawa, H., Kawaike, K. and Zhang, H. 2013. A study on debris flow deposition by the arrangement of Sabo dam. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, Vol. 69(4): 97- 102.
- Pan, H. L., Jiang, y. J., Wang, J., and Qu, G. Q. 2018. Rainfall threshold calculation for debris flow early warning in areas with scarcity of data. *Journal of Natural Hazards Earth System Sciences Discussions*. Vol. 18: 1395- 1409.
- Wang, F., Chen, X., Chen, J., and You, Y. 2017. Experimental study on a debris flow drainage channel with different types of energy dissipation baffles. *Journal of Engineering Geology*. Vol. 14(10): 1951-1960.
- Yazawa, A., Mizuyama, T. and Morita, A. 1998. Experimental study on debris-flow control facilities, *Civil Engineering Journal*, Vol. 28(8): 9-14.
- Canelli, L., Ferrero, A. M., Migliazza, M., and Segalini, A. 2012. Debris flow risk mitigation by the means of rigid and flexible barriers- experimental tests and impact analysis. *Journal of Natural Hazards Earth Systems science*. Vol. 12:1693- 1699.
- Clark, B. 2018. Numerical modeling of debris flow hazards using computational fluiddynamic. Master Thesis. Norwegian University of Science and Technology.
- Cordoba, G., Sheridan, M. F., and Pitman, E. B. 2015. A model for tow phase debris flows. *Journal of Natural Hazards Earth System Sciences Discussions*. Vol. 3: 3789- 3822.
- Gonda, Y. 2009. Function of a debris- flow brake. *Journal of Erosion Control Engineering*, Vol. 2(1): 15-21.
- ICHARM .2008. Debris-flow dewatering brakes: a promising tool for disaster management in developing countries, *International Center for Water Hazard and Risk Management Newsletter*, Vol. 3(3): 10.
- Izumi, I., Watanabe, M., Takemura, T., Mizuyama T. 1982. Test of a bottom infiltration screen in Ohsawa Fan, Mt. Fuji, *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering(Shin-sabo)*, Vol. 34(3): 45- 50.
- Jues, C., Franzini, F., Soares-Fraza, S., Murillo, J., and

Experimental Study for Performance Improvement of Debris Flow Breaker

S. Rezapourian^{1*}, M. Mehdi Ahmadi², K. Qaderi³

Recived: Feb.12, 2019

Accepted: Jul.01, 2019

Abstract

Debris flow breaker structure is known as a structure with simple, applicable, reliable, and economic design for preserving the downstream. The structure is able to drainage the debris flow, and therefore, reduces the volume of debris toward the river downstream and decreases the damages to downstream. In this study, dimensional analysis was carried out in order to investigate the structure behavior against debris flow. The structure performance was evaluated by calculating the structure efficiency and dimensionless parameters of distance traveled by the debris and location of the maximum height of the debris accumulation on the structure. Structure performance was investigated by changing in the opening, its building, and the establishment of an integrated barrier on the structure with different concentrations and velocity of the debris flow. The results showed that debris flow velocity is affected by flume slope. The amount and state of opening in the structure are the most effective parameters in the structure performance. With a 40% reduction in the structure opening, the efficiency increased by 95%. Change in the building of the structure has increased the structure efficiency by 44%. The application of an integrated barrier to the breaker structure, in addition to increase the efficiency of the debris control, has reduced the length of the distance traveled by the debris until the final stop and the length of the clamor in the upstream of barriers.

Keywords: Structure breaker, Debris flow, Control efficiency, River engineering

1- Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Associate Professor., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3- Associate Professor., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman,

(*- Corresponding Author Email: srezapourian@gmail.com)