

## مطالعه آزمایشگاهی بهبود عملکرد سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای سنگی با کاربرد موانع کاهش انرژی جنبشی

سرور رضاپوریان<sup>۱\*</sup>، محمد مهدی احمدی<sup>۲</sup>، کورش قادری<sup>۳</sup>، علیرضا شجاعی شاهرخ آبادی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۱۴

### چکیده

سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای با زهکشی آب و کاهش قدرت حمل جریان واریزه‌ای، از پایین دست در مقابل خطرات ناشی از این جریان‌ها محافظت می‌کند. به نظر می‌رسد تغییر در سازه بنحوی که بتواند انرژی جنبشی واریزه‌ها را کاهش دهد، افزایش کارایی سازه را به دنبال خواهد داشت. در این تحقیق بر اساس آنالیز ابعادی، آزمایش‌هایی جهت بهبود کارایی سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای سنگی در یک فلوم با قابلیت تنظیم شیب انجام گردیده است. در این آزمایش‌ها، راندمان سازه متوقف کننده با وجود موانع مختلف از لحاظ اندازه، شکل و چیدمان تحت شرایط متفاوت جریان واریزه‌ای مطالعه گردید. موانع دندانهای و موانع چند ردیفی برای توقف واریزه‌ها روی سازه انتخاب شده‌اند. بر اساس نتایج موانع دندانهای شکل با چنانمایی متفاوت خود توانسته‌اند تا ۲۵ درصد راندمان سازه متوقف کننده را افزایش دهند. علاوه بر این، موانع دو یا سه ردیفی، حتی با ارتفاع کم خود افزایش ۱۰ درصدی راندمان کنترلی سازه را به همراه داشته‌اند. بر اساس این نتایج ساختار جدید و بهینه شده سازه معرفی گردید.

**واژه‌های کلیدی:** بررسی آزمایشگاهی، جریان واریزه‌ای، سیلاب، جریان دوفازه، مهندسی رودخانه

### مقدمه

(2014). اقدامات حفاظتی و کنترلی خسارات ناشی از این جریان‌ها توسط محققین بررسی و در حال توسعه است (Clark, 2018). این اقدامات در راستای کنترل جریان‌ها و یا کاهش بار واریزه‌ای جریان پیشنهاد و به کار گرفته شده است، از جمله ساخت سدهای کنترلی<sup>۵</sup>، کانال‌های زهکشی<sup>۶</sup> و موانع شبکه‌ای انعطاف پذیر<sup>۷</sup> (Wendeler et al., 2008; Bichler et al., 2012; Volkwein et al., 2015; Wang et al., 2017). برای کاهش سرعت و قدرت تخریبی جریان واریزه‌ای و تاثیر مخربی که بر زیرساخت‌های موجود در مسیر حرکت این جریان‌ها وجود دارد، دو روش سازه‌ای و غیرسازه‌ای غالباً استفاده می‌شود. روش‌های سازه‌ای با ایجاد مانع و یا سازه کنترلی در مقابل جریان آن را کنترل می‌نمایند. اما روش‌های غیر سازه‌ای بیشتر به سیستم‌های هشداردهنده و نقشه‌های ریسک وابسته است (Volkwein et al., 2015).

از جمله روش‌های سازه‌ای می‌توان به سازه کنترلی، سازه متوقف کننده جریان<sup>۸</sup> اشاره نمود. این سازه با زهکشی آب همراه جریان، از حرکت واریزه‌ها به پایین دست جلوگیری کرده و آن‌ها را

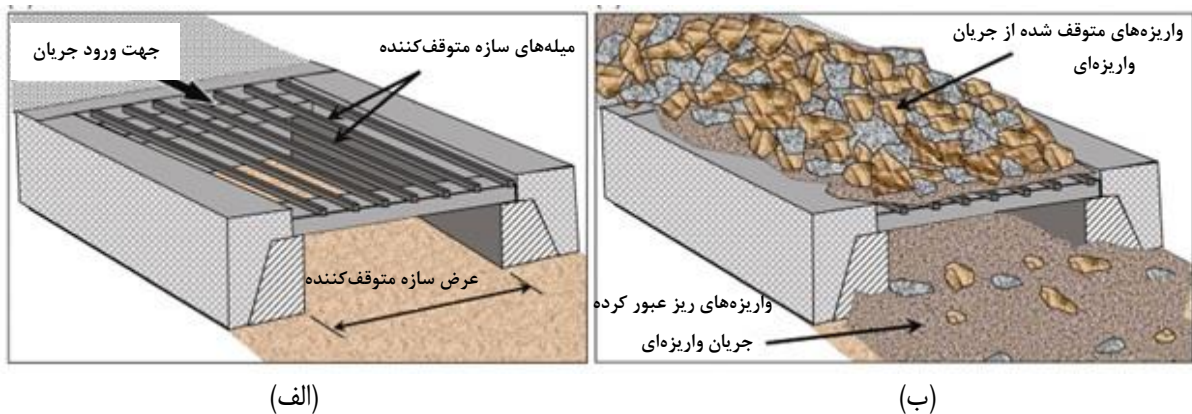
جریان‌های واریزه‌ای (Debris flows) جریان‌هایی با سرعت بسیار بالا می‌باشند که در آبراهه‌ها و رودخانه حرکت می‌کنند و غالباً خسارات‌های وسیع به همراه می‌آورند (Wang et al., 2017; Pan et al., 2018; Clark, 2018). در سال‌های اخیر به دلیل تاثیرات ناشی از گرمایش زمین، از بین رفتن پوشش گیاهی و رخداد باران‌های حدی، فراوانی وقوع جریان‌های واریزه‌ای افزایش یافته و خسارات زیادی را بجا گذاشته‌اند. جریان واریزه‌ای در ۸ آگوست ۲۰۱۰ در ژائوکو چین و در ۲ می ۲۰۱۴ در کشور افغانستان به ترتیب، موجب مرگ ۱۷۰۰ و ۲۰۰۰ نفر گردیده است (Wang, 2013; Ahmad and Kakar, 2013).

- 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
  - ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- (\* - نویسنده مسئول: (Email: Srezapourian@gmail.com)

- 5- Check Dam
- 6- Drainage Channels
- 7- Flexible Net Barriers
- 8- Debris Flow Breaker

کنترلی جریان واریزه‌ای به نام Sabo Dams نیز مورد استفاده قرار گرفته‌است. در سال ۱۹۶۰ فناوری استفاده از این سازه توسط هاشیموتو مطرح گردید. این سازه توسط موسسه تحقیقات عمومی ژاپن (PWRI) به صورت تجربی مورد تایید و در کوه توکاجیداک، هوکایدو ژاپن به صورت تجربی ساخته شد و مورد استفاده قرار گرفت (Gonda, 2009).

متوقف می‌کند. این سازه به عنوان یک روش ساده از لحاظ طراحی و اجرا، مقرون به صرفه و به دلیل امکان لایروبی و استفاده مجدد برای کاهش خطرات ناشی از جریان واریزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ویژگی‌ها موجب شده که سازه متوقف‌کننده به عنوان یک روش کاربردی و قابل اطمینان در بین مهندسين این رشته مطرح گردد. شکل ۱ نمای شماتیک از سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای و نحوه عملکرد آن را نشان می‌دهد. این سازه حتی در بالادست سدهای



شکل ۱- نمای شماتیک از عملکرد سازه متوقف‌کننده، (الف) سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای قبل از وقوع جریان واریزه‌ای، (ب) سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای بعد از توقف بخشی از جریان واریزه‌ای و (ج) سازه متوقف‌کننده در دره کامی کامی-هوریزاوا کوه یاکداک ژاپن (Gonda, 2009; Yifru et al., 2018)

سازه متوقف‌کننده به عنوان عامل اصلی در فرایند جداسازی آب و واریزه توسط این سازه مورد بررسی قرار گرفته است (Gonda, 2009; Kim et al., 2012). در مطالعاتی دیگر شیب آبراهه نیز به عنوان یک عامل مؤثر در عملکرد سازه متوقف‌کننده مطرح گردیده است (Jues et al., 2015; Tian et al., 2014). تنها مطالعات انجام شده به منظور بهینه‌سازی این سازه به بررسی تاثیر طول این سازه پرداخته شده است (Yazawa et al., 1982; ICHARM, 2008). ایفرو و همکاران نیز فرضیه ارتباط میزان بازشدگی سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای و اندازه قطر متوسط واریزه‌ها را دنبال

در نروژ نیز به علت تغییرات شدید آب و هوایی و افزایش تعداد رخداد جریان واریزه‌ای از سازه متوقف‌کننده جریان واریزه‌ای استفاده شده است (Yifru et al., 2018). ریکنمن مطالعات کاملی بر روی مقاومت جریان واریزه‌ای و نرخ انتقال بار بستر انجام داده که منجر به معادلاتی شده که امروزه بسیار مورد استفاده مهندسين قرار می‌گیرد (Rickenmann, 1991). گوندا با نتایج شبیه‌سازی عددی و آزمایشگاهی نشان داده که تغییرات فشار آب بر روی سازه متوقف‌کننده نقش مهمی را در توقف واریزه‌ها بر روی سازه بازی می‌کنند (Gonda, 2009). میزان بازشدگی و مسدود شدگی روی

$$\text{Efficiency (\%)} = f \left( \frac{B_f}{D_{50}}, \frac{1}{Re}, \frac{h}{D_{50}}, C_*, \frac{1}{Fr^2}, \frac{\rho_s}{\rho}, \right) \quad (3)$$

$$\frac{\omega}{v_*}, \frac{W_s}{\rho v_*^2 D_{50}^2}, \frac{L_{db}}{D_{50}}, \frac{B_{db}}{D_{50}}, \frac{L_o}{D_{50}}, \frac{L_b}{D_{50}}, \frac{V_d}{D_{50}^3}, \frac{L_t}{D_{50}}, S_{db},$$

$$C, \varphi_s, \frac{L_B}{D_{50}}, \frac{h_B}{D_{50}}$$

که،  $C_*$  برابر است با ضریب شزی، عدد فرود به دست آمده در پارامتر  $\frac{1}{Fr^2}$  برابر با عدد فرود دنسیمیتریک است.

برای تحلیل نتایج حاصل از آزمایش‌ها از ترکیب اعداد بی بعد به دست آمده استفاده شده است. پارامتر  $\frac{L_{H(max)}}{L_{db}}$  نسبت مکان تشکیل بیشترین ارتفاع واریزه انباشه شده روی سازه  $(L_{H(max)})$  به طول سازه متوقف کننده است. همچنین، پارامتر  $\frac{L_t}{L_{db}}$  نسبت مسافت طی شده توسط واریزه‌ها بر روی سازه به طول سازه متوقف کننده و  $\frac{L_B}{L_{db}}$  نسبت محل استقرار مانع بر روی سازه به طول سازه متوقف کننده است.

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

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

### تجهیزات آزمایشگاهی

فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این مطالعه، فلومی به طول ۴ متر، عرض ۰/۴ متر و ارتفاع ۰/۵ متر است که در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان ساخته شده است. مخزن تعبیه شده برای مخلوط آب و واریزه، مخزنی فلزی با ابعاد  $1 \times 1 \times 1$  متر می‌باشد. دریچه فلزی ابتدای فلوم، مخلوط آب و واریزه را به منظور ایجاد جریان واریزه‌ای به طور ناگهانی وارد فلوم می‌کند. بدنه فلوم از ورقه شفاف پلکسی گلاس ساخته شده و جهت مشاهده رفتار جریان واریزه‌ای در فلوم یکی از دیواره‌ها از جنس شیشه در نظر گرفته شده است. سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای نیز در انتهای پایین دست فلوم به صورت افقی و مجزا از فلوم بر روی پایه‌ای با ارتفاع ۰/۵ متر برابر با ارتفاع کف فلوم نصب گردیده است (شکل ۲). در این مطالعه از واریزه سنگی یکنواخت<sup>۱</sup> با منحنی دانه بندی نشان داده شده در شکل ۳ و مشخصات جدول ۱ استفاده شده است. بعد از باز شدن دریچه آب، واریزه سنگی توسط آب حمل می‌گردد و در طول فلوم جریان واریزه‌ای شکل می‌گیرد و هنگامی که جریان به ابتدای سازه متوقف کننده می‌رسد یک جریان واریزه‌ای مشابه جریان واریزه‌ای سنگی طبیعی است. با توجه به باز شدن ناگهانی دریچه یک جریان غیر ماندگار تولید می‌شود که وقتی این جریان غیرماندگار روی صفحه نرده‌ای می‌رسد به وضعیت جریان متغیر مکانی با کاهش دبی تبدیل می‌شود. علاوه بر این، شیب فلوم، غلظت جریان و حجم آب به نحوی تعیین شده است که جریان واریزه‌ای شبیه سازی شده مشابه جریان واریزه‌ای در طبیعت باشد.

کرده و اعتبار این فرضیه را تایید نموده‌اند (Yifru et al., 2018). در این تحقیق مطالعه آزمایشگاهی به منظور ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای انجام شده است. بدین منظور از نصب موانع روی سازه جهت بهبود و افزایش راندمان آن استفاده شده است. فرض بر این است که وجود بلوک‌ها منجر به توقف لحظه‌ای واریزه شده و فرصت بیشتری برای زهکش آب ایجاد می‌کند. علاوه بر این جانمایی و اندازه صحیح این موانع می‌تواند محل تجمع کپه واریزه بر روی سازه را نیز در راستای حفظ قابلیت سازه برای جریان‌های آبی افزایش دهد.

### مواد و روش‌ها

#### آنالیز ابعادی

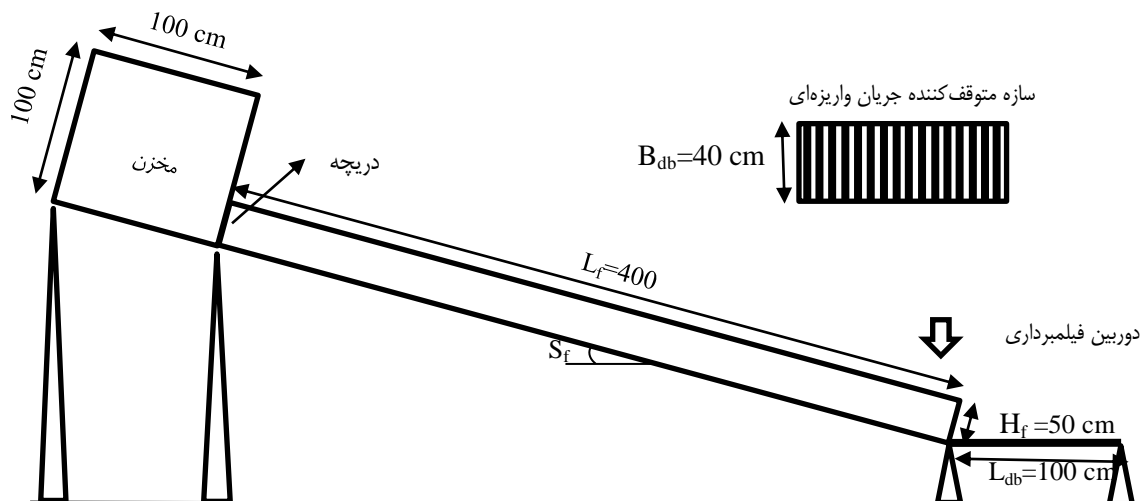
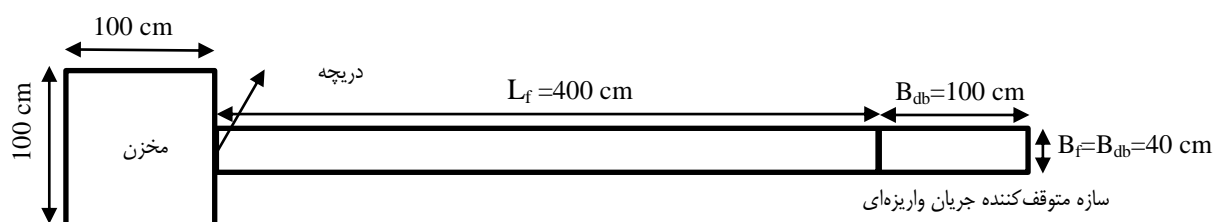
پارامترهای موثر بر راندمان سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای آنالیز ابعادی به درک پیچیدگی یک پدیده فیزیکی کمک می‌کند. پارامترهای مشخصه سازه متوقف کننده جریان بر راندمان این سازه به صورت تابع  $\psi$  ارائه شده است.

$\text{Efficiency (\%)} = \psi (W_f, S_f, W_{db}, L_{db}, S_{db}, L_o, L_b, L_T, V_d, \rho, \mu, h, V, g, \rho_s, D_{50}, \omega, W_s, C, \varphi_s, L_B, h_B, L_B)$  (۱)  
که، عرض فلوم  $W_f$ ، شیب فلوم  $S_f$ ، عرض سازه متوقف کننده جریان  $W_{db}$ ، طول سازه  $L_{db}$ ، شیب سازه  $S_{db}$ ، فاصله بازسنگی  $L_o$ ، فاصله مسدود شدگی  $L_b$ ، طول حرکت واریزه‌ها  $L_T$  و حجم واریزه نگهداشته شده  $V_d$ ، فاکتورهای سیال شامل، جرم مخصوص  $\rho$ ، ویسکوزیته دینامیکی  $\mu$ ، عمق جریان  $h$ ، سرعت جریان  $V$  و شتاب گرانش  $g$  است. فاکتورهای مربوط به رسوب واریزه‌ای عبارتند از، جرم مخصوص مواد جامد  $\rho_s$ ، قطر مشخصه ذرات  $D_{50}$ ، سرعت سقوط ذرات  $\omega$ ، وزن غوطه‌وری ذره  $W_s$ ، غلظت جریان واریزه‌ای  $C$ ، زاویه ایستایی ذرات  $L_B$ ،  $h_B$  و  $\varphi_s$  محل و ارتفاع قرار گیری مانع. پارامترهای  $g$  و  $S_f$  به صورت زیر جایگزین می‌شوند:

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

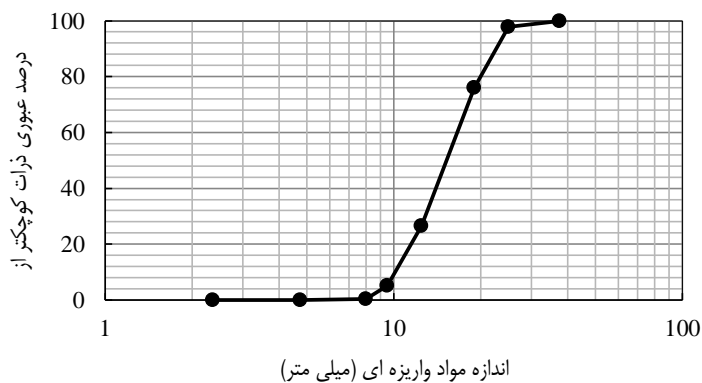
استفاده از تئوری پی-باکینگهام پارامترهای مشخصه لیست شده برای راندمان سازه را به گروه‌های بی بعد تبدیل می‌کند. به همین منظور پارامترهای جرم مخصوص آب  $\rho$ ، قطر متوسط واریزه‌ها  $D_{50}$  و پارامتر جایگزین  $v_*$  به عنوان متغیرهای تکراری در اعداد بی بعد انتخاب شده‌اند. راندمان نگهداشت واریزه توسط سازه متوقف کننده توسط تابع جدیدی به نام  $f$ ، ارائه شده است:

(الف)



(ب)

شکل ۲- الف) نمای بالا و ب) نمای جانب از فلوم آزمایشگاهی



شکل ۳- منحنی دانه بندی مواد واریزه‌ای

جدول ۱- خصوصیات واریزه استفاده شده در آزمایش‌ها

D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>90</sub> (mm)	Φ <sub>s</sub> (Degree)	σ <sub>g</sub>	Density (g/cm <sup>3</sup> )
14	22.8	56	1.39	2.65



برنامه ریزی آزمایش ها

در این مطالعه، شیب فلوم، غلظت جریان واریزه ای، محل و ارتفاع موانع دندانهای به عنوان پارامترهای متغیر مورد بررسی قرار گرفته است. موانع دندانهای در سه محل متفاوت و سه ارتفاع مختلف

به صورت دو دندان و سه دندان بر روی سازه قرار گرفته اند. علاوه بر این، وجود این موانع به صورت ترکیبی و چند ردیفی بر روی راندمان سازه بررسی شده است.

جدول ۲- شرایط آزمایش ها

Flume slope (Degree)	Barrier height	Barrier place	Flow concentration	Jag number
5	$2D_m$	$L_1 = \frac{1}{3}L_{ab}$	0.47	tow
7	$2 \cdot 5D_m$	$L_2 = \frac{1}{2}L_{ab}$	0.5	three
		$L_3 = \frac{2}{3}L_{ab}$	0.53	
	$3D_m$		0.56	
			0.59	
			0.62	

به صورت مثلثهایی با ارتفاع  $2D_m$  و قاعده  $5D_m$  طراحی شده اند. که ارتفاع آنها در سه مقدار مختلف بر روی سازه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در آزمایش های مربوط به موانع چند ردیفی از موانع مستطیلی با طول  $5D_m$  و ارتفاع  $2D_m$  استفاده شده است.

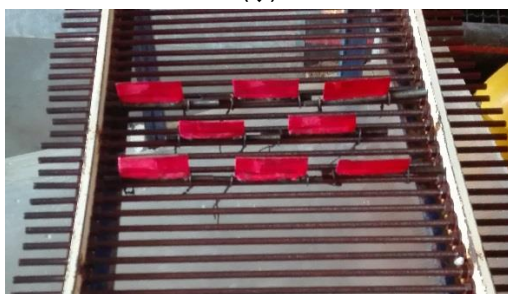
برای بررسی تاثیر موانع دندانهای بر روی سازه متوقف کننده جریان واریزه ای این موانع به صورت دو دندان و سه دندان در مقابل جریان واریزه ای بر روی سازه افقی نصب گردیده اند. این موانع در حالت دو دندان در عرض سازه و در محل های با فواصل  $\frac{1}{3}B_{ab}$  و در حالت سه دندان در محل هایی با فاصله  $\frac{1}{4}B_{ab}$  قرار گرفته اند. موانع



(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۴- سازه متوقف کننده جریان واریزه ای با مانع، (الف) دو دندان، (ب) سه دندان، (ج) دو ردیفی و (د) سه ردیفی

سازه، طول مسافت طی شده توسط واریزه ها بر روی سازه و محل تشکیل ارتفاع ماکزیمم حاصل از تجمع واریزه ها در آزمایش ها

در این مطالعه، رفتار سازه متوقف کننده جریان واریزه ای به ازای وجود موانع دندانهای و چند ردیفی مورد بررسی قرار گرفت. راندمان

متوقف کننده استفاده شده است. وجود این موانع، عملکرد سازه در توقف واریزه‌ها و میزان پیشروی آن‌ها به پایین دست را تحت تاثیر قرار داده است. به منظور نشان دادن اثر مانع بر عملکرد سازه، راندمان سازه در توقف واریزه‌ها با وجود مانع دو دندان‌های با ارتفاع  $2.5D_m$  در محل  $\frac{1}{2}L_{db}$  و بدون وجود مانع مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج در شکل ۵ تاثیر وجود موانع بر روی سازه را با راندمان توقف واریزه‌ها توسط سازه نشان می‌دهد. در این شکل راندمان سازه با وجود مانع سه دندان‌های از حالت سازه بدون مانع بیشتر بوده و حتی این مانع عملکرد بهتری را نسبت به مانع دو دندان‌های از خود نشان داده است. شکل ۶ نیز مسافت طی شده توسط واریزه‌ها بر روی سازه را نشان می‌دهد که این طول برای سازه با وجود مانع نسبت به سازه بدون مانع کمتر و با وجود مانع سه دندان نسبت به مانع دو دندان به مراتب کوچکتر بوده است.

برداشت شد. علاوه بر این، مقایسه‌ای بین نتایج به دست آمده از وجود موانع دندان‌های در یک ردیف و چند ردیف انجام شد.

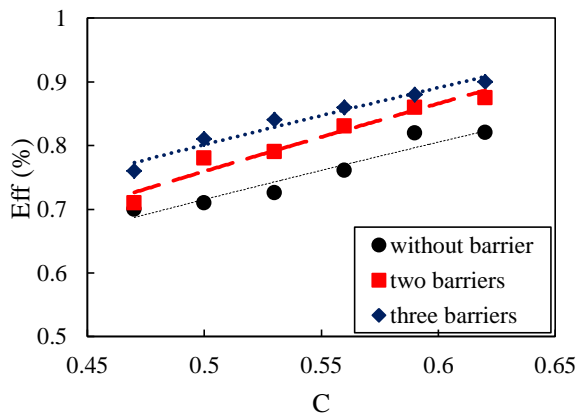
### نتایج

#### ارزیابی عملکرد کنترلی سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای

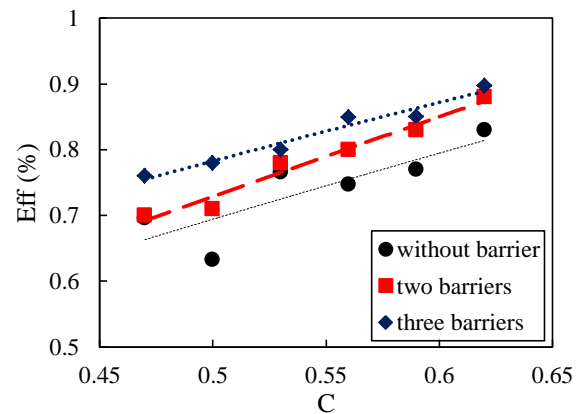
به منظور بررسی راندمان نگهداشت واریزه توسط سازه متوقف کننده، شش مقدار پارامتر معرف غلظت جریان واریزه  $C$  و دو سرعت متفاوت جریان واریزه (با تغییر شیب فلوم  $S_f$ ) مورد بررسی قرار گرفته است. دانه بندی مواد آزمایشی ثابت و فاصله بازشدگی سازه متوقف کننده برابر  $L_o=D_m$  در نظر گرفته شده است.

#### تاثیر وجود و عدم وجود موانع دندان‌های

جهت کاهش انرژی جنبشی جریان واریزه‌ای از مانع بر روی سازه

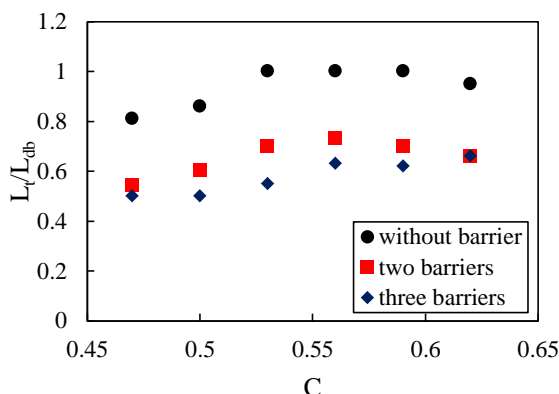


(ب)

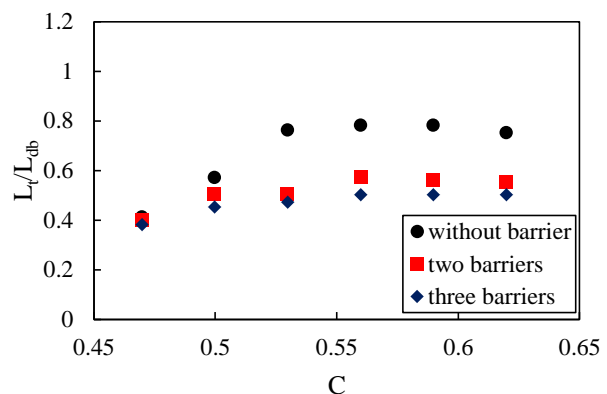


(ف)

شکل ۵- راندمان سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای با وجود و عدم وجود مانع دندان‌های، (الف) فلوم با شیب ۵ درجه و (ب) فلوم با شیب ۷ درجه



(ب)



(ف)

شکل ۶- پارامتر بی بعد  $\frac{L_t}{L_{db}}$  روی سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای با وجود و عدم وجود مانع دندان‌های، (الف) فلوم با شیب ۵ درجه و (ب) فلوم با شیب ۷ درجه

سه ارتفاع روی سازه متوقف کننده جریان واریزه های نصب گردیده است. جمعا ۳۶ حالت مختلف از استقرار موانع روی سازه مورد آزمایش قرار گرفته است. در بین ۱۸ حالت وجود موانع روی سازه برای هر شیب فلوم، برای مانع دو دندانهای، ۲ حالت و برای مانع سه دندانهای نیز ۲ حالت از استقرار مانع با عملکرد بهتر انتخاب و در جدول ۳ بیان شده است.

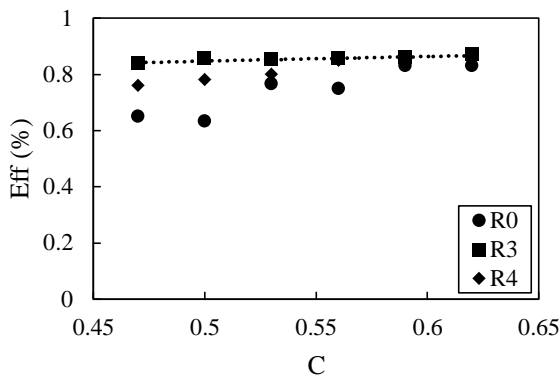
با توجه به نمودارهای ارائه شده تاثیر مثبت وجود مانع بر روی سازه متوقف کننده برای بهبود عملکرد آن در توقف واریزه ها کاملا مشخص شده است. جهت دستیابی به بیشترین عملکرد سازه حالت های مختلفی از وجود مانع روی سازه در محل و ارتفاعات مختلف در نظر گرفته شده است.

**انتخاب محل و ارتفاع مانع با بهترین عملکرد (دو و سه دندان)**  
موانع دو دندان و سه دندان برای هر شیب فلوم در سه محل و

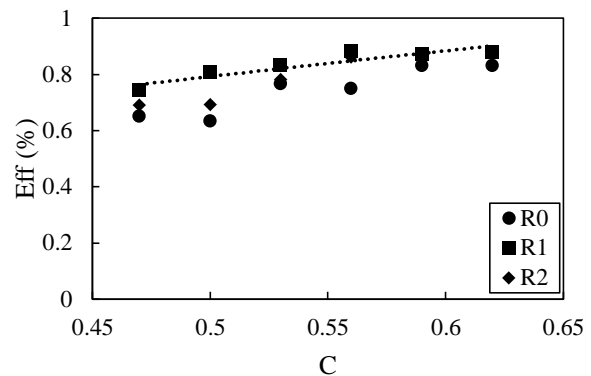
جدول ۳- محل و ارتفاع مانع دندانهای با عملکرد بهتر نسبت به شیب فلوم

	$S_f = 5^\circ$	$S_f = 7^\circ$
Two jag	$R_1 = \frac{1}{3}L_{db} - 3D_m$	$R_5 = \frac{1}{2}L_{db} - 3D_m$
	$R_2 = \frac{1}{2}L_{db} - 2 \cdot 5D_m$	$R_6 = \frac{2}{3}L_{db} - 2 \cdot 5D_m$
Three jag *	$R_3 = \frac{1}{3}L_{db} - 3D_m^{(*)}$	$R_7 = \frac{1}{3}L_{db} - 3D_m^{(*)}$
	$R_4 = \frac{1}{2}L_{db} - 2 \cdot 5D_m$	$R_8 = \frac{1}{2}L_{db} - 2 \cdot 5D_m$

(\*)The best performance of the debris flow breaker structure



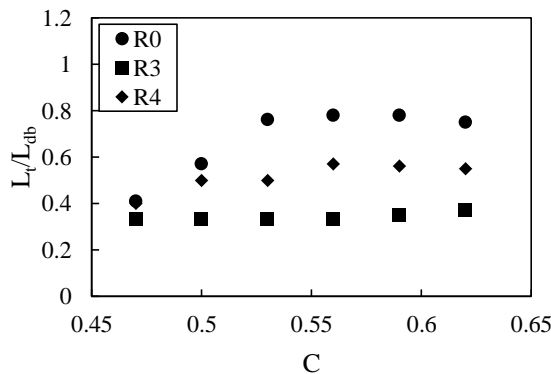
(ب)



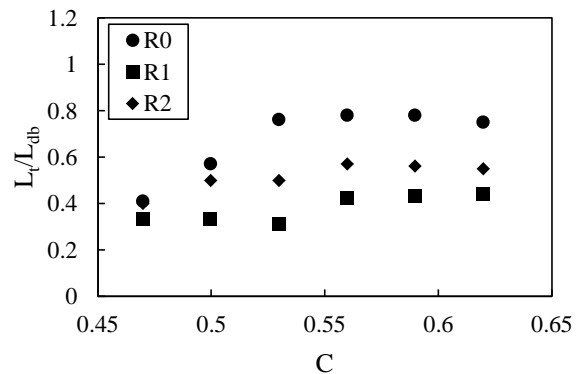
(الف)

$R_0$  = The structure without barrier,  $R_1 = \frac{1}{3}L_{db} - 3D_m$ ,  $R_2 = \frac{1}{2}L_{db} - 2 \cdot 5D_m$ ,  $R_3 = \frac{1}{3}L_{db} - 3D_m$ ,  $R_4 = \frac{1}{2}L_{db} - 2 \cdot 5D_m$

شکل ۷- رابطه بین راندمان سازه متوقف کننده جریان واریزه های و غلظت برای فلوم با شیب ۵ درجه، (الف) مانع دو دندانهای، (ب) مانع سه دندانهای

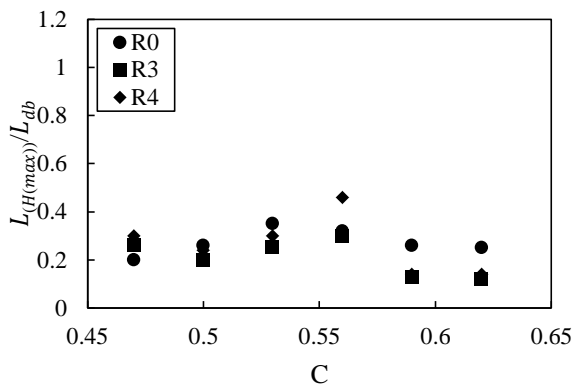


(ب)

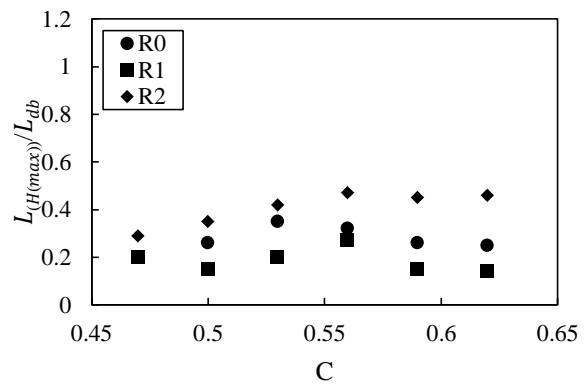


(الف)

شکل ۸- رابطه بین پارامتر بی بعد  $\frac{L_t}{L_{db}}$  و غلظت برای فلوم با شیب ۵ درجه، (الف) مانع دو دندانهای، (ب) مانع سه دندانهای



(ب)



(الف)

شکل ۹- رابطه بین پارامتر بی بعد  $\frac{L_{H(max)}}{L_{db}}$  و غلظت برای فلوم با شیب ۵ درجه، (الف) مانع دو دندانه‌ای، (ب) مانع سه دندانه‌ای

مانع سه دندانه‌ای در محل نزدیکتر به ابتدای سازه بهترین عملکرد را داشته است (این حالت در جدول ۳ با علامت \*) مشخص شده است).

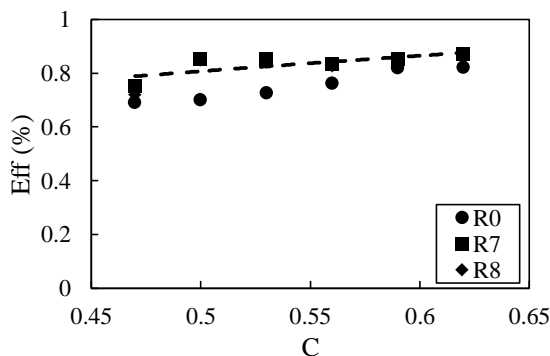
#### (ب) فلوم با شیب ۷ درجه

عملکرد سازه متوقف کننده در فلوم با شیب ۷ درجه نسبت به فلوم با شیب ۵ درجه متفاوت بوده است. علت این تفاوت سرعت جریان ناشی از شیب فلوم است که موجب شده واریزه‌ها توسط موانع  $\frac{1}{2}L_{db}$  و  $\frac{2}{3}L_{db}$  متوقف شوند. در موانع سه دندانه به علت تراکم بیشتر مانع، موجب شده تا مانع در  $\frac{1}{3}L_{db}$  نیز با حداکثر ارتفاع  $(3D_m)$  نسبت به مانع  $\frac{1}{2}L_{db}$  راندمان بالاتر، طول مسافت طی شده واریزه‌ها روی سازه و محل تشکیل ارتفاع ماکزیمم حاصل از تجمع واریزه‌ها کمتری را داشته باشد.

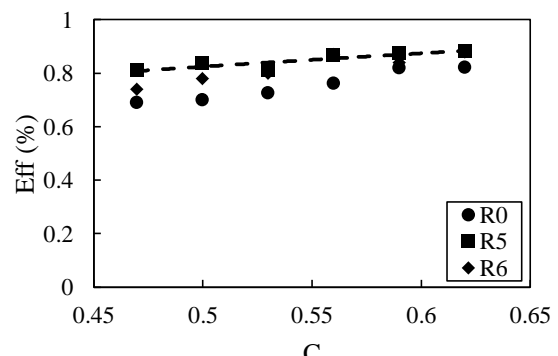
#### (الف) فلوم با شیب ۵ درجه

در شکل‌های ۷ تا ۹ عملکرد مانع دو دندانه و سه دندانه با محل و ارتفاع مشخص برای فلوم با شیب ۵ درجه، نشان داده شده است. موارد انتخاب شده از محل و ارتفاع، دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر حالت‌ها بوده است.

حالت‌های انتخاب شده برای مانع دو دندانه و سه دندانه دارای مکان و ارتفاع مشابه هستند. زیرا سرعت جریان در محدوده‌ای است که کنترل واریزه‌ها با موانع  $\frac{1}{3}L_{db}$  و  $\frac{1}{2}L_{db}$  را امکان پذیر ساخته است. در بین هر دو حالت مانع دو دندانه و سه دندانه، مانعی که محل نزدیک‌تری به ابتدای سازه داشته عملکرد بهتری را در ارتفاع حداکثر خود نشان داده است. بدین صورت که راندمان بالاتری داشته و طول مسافت طی شده توسط واریزه‌ها در کمترین حالت و محل تشکیل ارتفاع ماکزیمم حاصل از تجمع واریزه‌ها نیز در طول کمتری از سازه رخ داده است. در بین ۴ حالت ترسیم شده برای فلوم با شیب ۵ درجه،



(ب)

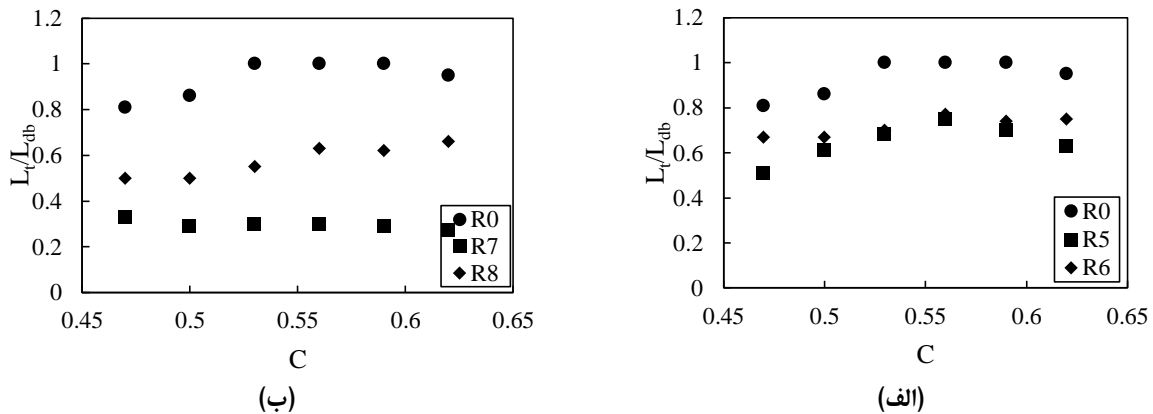


(الف)

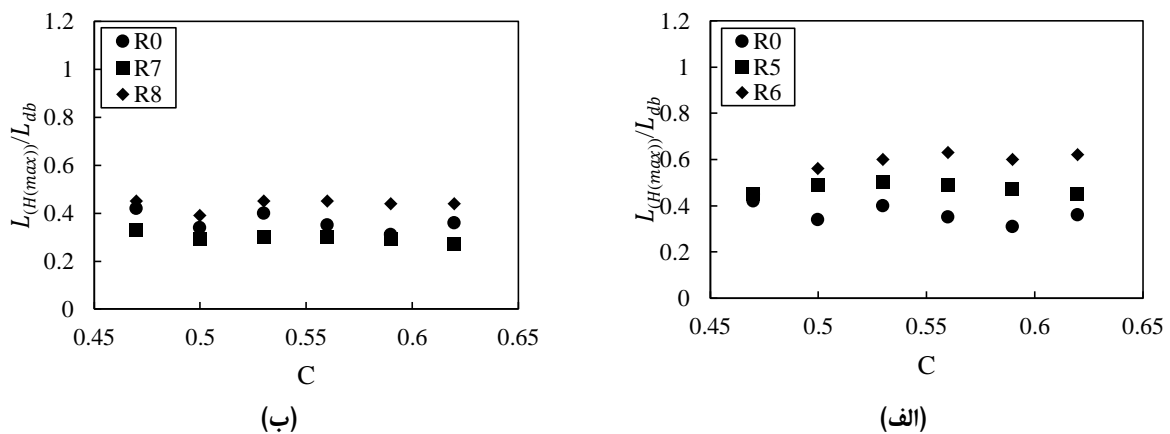
شکل ۱۰- رابطه بین راندمان سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای و غلظت برای فلوم با شیب ۷ درجه، (الف) مانع دو دندانه‌ای، (ب) مانع سه دندانه‌ای

$R_0 =$  The structure without barrier,  $R_5 = \frac{1}{2}L_{db} - 3D_m$ ,  $R_6 = \frac{2}{3}L_{db} - 2 \cdot 5D_m$ ,  $R_7 = \frac{1}{3}L_{db} - 3D_m$  و  $R_8 = \frac{1}{2}L_{db} - 2 \cdot 5D_m$





شکل ۱۱- رابطه بین پارامتر بی‌بعد  $\frac{L_t}{L_{db}}$  و غلظت برای فلوم با شیب ۷ درجه، الف) مانع دو دندانه‌ای، ب) مانع سه دندانه‌ای



شکل ۱۲- رابطه بین پارامتر بی‌بعد  $\frac{L_{H(max)}}{L_{db}}$  و غلظت برای فلوم با شیب ۷ درجه، الف) مانع دو دندانه‌ای، ب) مانع سه دندانه‌ای

محل‌های انتخابی با بالاترین عملکرد از موانع دو یا سه دندانه صورت گرفته است. جدول ۴ محل موانع دو یا سه ردیفی را بر روی سازه متوقف‌کننده برای فلوم با شیب ۵ و ۷ درجه نشان می‌دهد. ارتفاع این موانع ثابت و برابر با  $2D_m$  بوده است.

### ارزیابی عملکرد سازه متوقف‌کننده با وجود موانع دو یا سه ردیفی

براساس نتایج حاصل از وجود موانع دو یا سه دندانه و عملکرد سازه در مقابل جریان واریزه‌ای، استفاده از موانع دو یا سه ردیفی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. محل قرارگیری این ردیف‌ها براساس

جدول ۴- حالت‌های قرارگیری موانع دو یا سه ردیفی

	$S_f = 5^0$	$S_f = 7^0$
دو ردیفه	$L_1 = \left(\frac{1}{3}L_{ab} - 5D_m\right) \text{ و } \left(\frac{1}{3}L_{ab}\right)$ $L_2 = \left(\frac{1}{3}L_{ab}\right) \text{ و } \left(\frac{1}{3}L_{ab} + 5D_m\right)$ $L_3 = \left(\frac{1}{2}L_{ab} - 5D_m\right) \text{ و } \left(\frac{1}{2}L_{ab}\right)$	$L_1 = \left(\frac{1}{2}L_{ab} - 5D_m\right) \text{ و } \left(\frac{1}{2}L_{ab}\right)$ $L_2 = \left(\frac{1}{2}L_{ab}\right) \text{ و } \left(\frac{1}{2}L_{ab} + 5D_m\right)$ $L_3 = \left(\frac{2}{3}L_{ab} - 5D_m\right) \text{ و } \left(\frac{2}{3}L_{ab}\right)$
سه ردیفه	$L_4 = \left(\frac{1}{3}L_{ab} - 5D_m\right) \text{ و } \left(\frac{1}{3}L_{ab}\right) \text{ و } \left(\frac{1}{3}L_{ab} + 5D_m\right)$	$L_4 = \left(\frac{1}{2}L_{ab} - 5D_m\right) \left(\frac{1}{2}L_{ab}\right) \text{ و } \left(\frac{1}{2}L_{ab} + 5D_m\right)$

یک یا دو مورد را به‌عنوان بهترین حالت‌ها از نظر عملکرد سازه متوقف‌کننده انتخاب نمود. در شکل ۱۳ نتایج مربوط به موانع دو

نتایج به‌دست آمده برای موانع دو یا سه ردیفی در فلوم با شیب ۵ درجه بسیار به هم نزدیک بوده ولی با این حال می‌توان از بین آن‌ها

واریزه‌های به‌عنوان یک سازه کنترلی به‌منظور بهبود کارکرد آن بررسی شده است. بدین‌منظور اثر وجود موانع با شکل، اندازه و جانمایی متفاوت بر رفتار سازه متوقف‌کننده بررسی گردید. بهبود عملکرد سازه به معنی افزایش راندمان نگهداشت واریزه و تاثیر مثبت بر قرارگیری کپه واریزه روی سازه در نظر گرفته شده است. تحلیل رفتار سازه و برنامه‌ریزی آزمایش‌ها بر مبنای آنالیز ابعادی انجام شده است. راندمان نگهداشت سازه، مسافت طی شده توسط واریزه‌ها بر روی سازه و محل تشکیل ارتفاع ماکزیمم حاصل از تجمع واریزه‌ها از آزمایش‌های مختلف برداشت شده است. سرعت جریان واریزه‌های در فلوم رابطه مستقیمی با شیب آن داشته‌است. لذا، در فلوم با شیب ۵ درجه جریان واریزه‌های انرژی کافی برای رسیدن به انتهای سازه را نداشته، به‌همین علت است که محل‌های انتخابی برای موانع در یک سوم ابتدایی و وسط طول سازه، بهترین عملکرد را نشان داده‌اند.

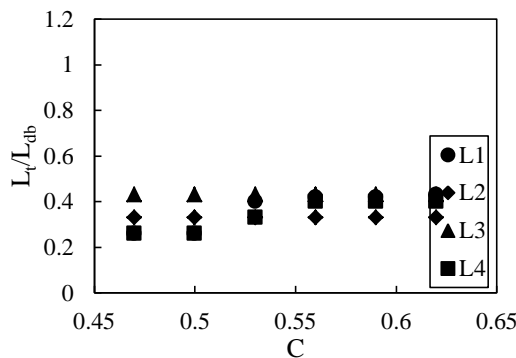
ردیفی در مکان  $L_1$  از نظر بالاترین راندمان، کمترین طول مسافت طی شده روی سازه و محل تشکیل ارتفاع ماکزیمم حاصل از تجمع واریزه‌ها بر روی سازه بهترین گزینه بوده‌است. بعد از آن مانع سه ردیفی در محل  $L_4$  گزینه بهتری برای کنترل واریزه‌های روی سازه متوقف‌کننده می‌باشد.

براساس نتایج نشان داده شده در شکل ۱۴ از بین موانع دو ردیفی مانعی که در محل  $L_2$  قرار دارد بهترین عملکرد را در مقابل جریان واریزه‌ای داشته است و بعد از آن می‌توان از مانع در محل  $L_3$  به‌عنوان بهترین گزینه نام برد.

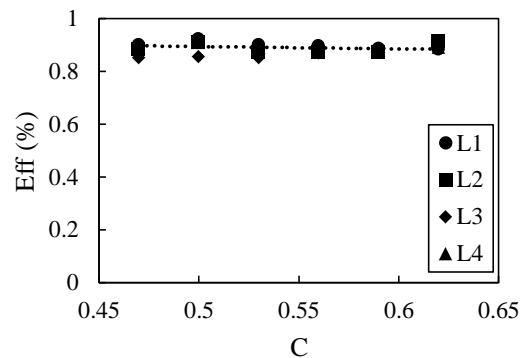
شکل ۱) عملکرد موانع دو و سه ردیفی را در فلوم با شیب ۷ درجه را در آزمایشگاه نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

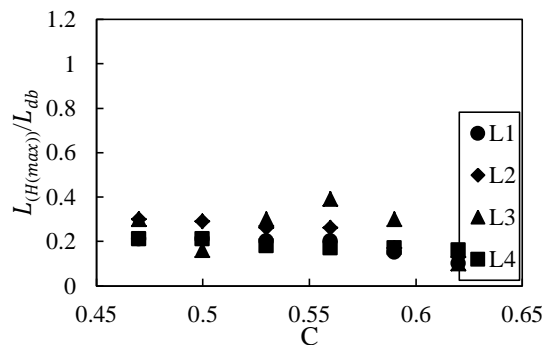
در این مطالعه آزمایشگاهی عملکرد سازه متوقف‌کننده جریان



(ب)



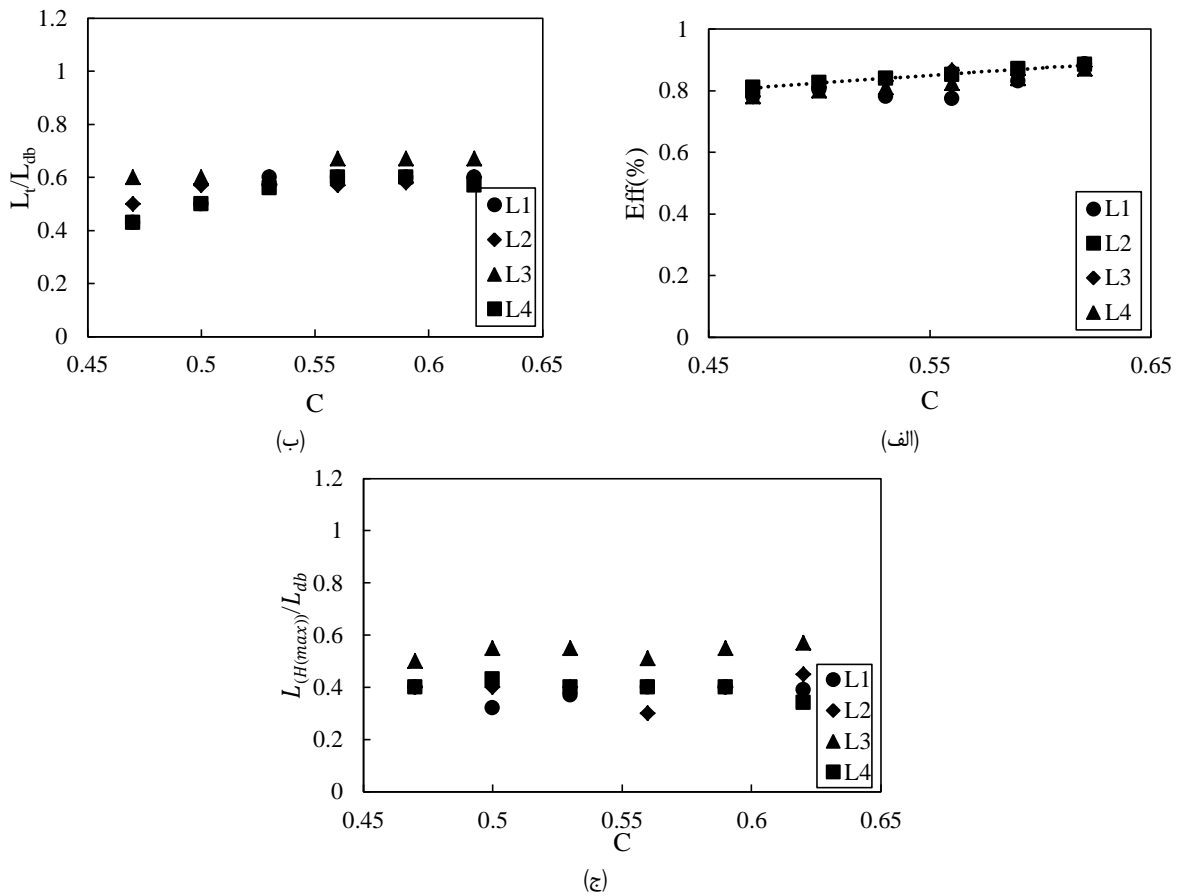
(الف)



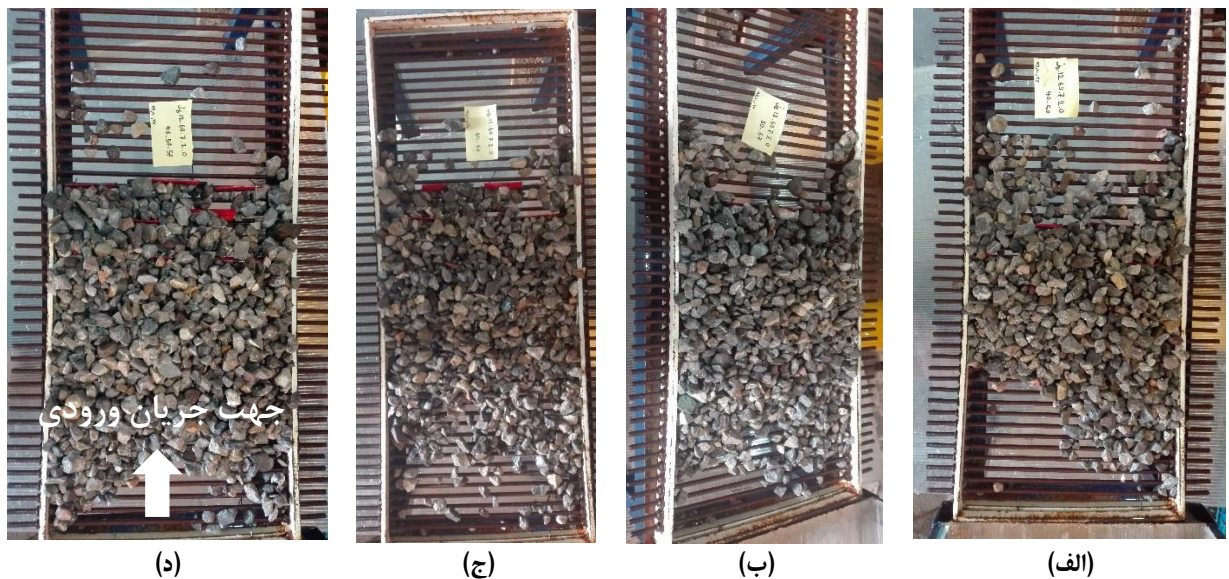
(ج)

شکل ۱۳- نتایج حاصل از وجود موانع دو و سه ردیفی بر روی سازه متوقف‌کننده در رابطه با غلظت برای فلوم با شیب ۵ درجه، (الف) راندمان، (ب)

پارامتر بی‌بعد  $\frac{L_t}{L_{db}}$  (ج) پارامتر بی‌بعد  $\frac{L_{H(max)}}{L_{db}}$



شکل ۱۴- نتایج حاصل از وجود موانع دو و سه ردیفی بر روی سازه متوقف کننده در رابطه با غلظت برای فلوم با شیب ۷ درجه، (الف) راندمان، (ب) پارامتر بی بعد  $\frac{L_T}{L_{db}}$ ، (ج) پارامتر بی بعد  $\frac{L_{H(max)}}{L_{db}}$



شکل ۱۵- سازه متوقف کننده جریان واریزه‌ای و موانع دو و سه ردیفی در آزمایشگاه، (الف) موانع دو ردیفی در محل  $L_1$ ، (ب) موانع دو ردیفی در محل  $L_2$ ، (ج) موانع دو ردیفی در محل  $L_3$  و (د) موانع سه ردیفی در محل  $L_4$

- channels with a uniform grain size. E-proceedings of the 36<sup>th</sup> IAHR World Congress 28 June – 3 July. The Hague, The Netherlands.
- Kim, Y., Nakagawa, H., Kawaike, K. and Zhang, H. 2012. Numerical and experimental study on debris flow breaker. *Annals of Disaster Prevention Research Institute* 55: 471- 481.
- Rickenmann, D. 1991. Hyper concentration flow and sediment transport at steep slopes. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, 117(11): 1419-1439.
- Tian, M., Hu, K., Ph, D.C.M. and Lei, F. 2014. Effect of bed sediment entrainment on debris flow resistance. *Journal of Hydraulic Engineering* 140(1): 115-120.
- 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* 18: 1395- 1409.
- Volkwein, A., Baumann, R., Rickli, C. and Wendeler, C. 2015. Standardization for flexible debris retention barriers. In: Lollino, et al. (Eds.), *Engineering Geology for Society and Territory*. Volume 2. Springer International Publishing, Switzerland. 193–196.
- 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* 14(10): 1951-1960.
- Wang, G.L. 2013. Lessons learned from protective measures associated with the 2010 Zhouqu debris flow disaster in China, *Nat. Hazards* 69: 1835–1847.
- Wendeler, C., McArdeell, B., Volkwein, A., Denk, M. and Gröner, E. 2008. Debris flow mitigation with flexible ring net barriers—field tests and case studies. *WIT Transactions on Engineering Sciences* 6: 23–31.
- Yazawa, A., Mizuyama, T. and Morita, A. 1998. Experimental study on debris-flow control facilities, *Civil Engineering Journal* 28(8): 9-14.
- Yirfru, A.L., Laache, E., Norem, H., Nordal, S., and Thakur, V. 2018. Laboratory investigation of performance of a screen type debris- flow countermeasure. *HKIE Transactions* 25(2): 129-144.
- اما در فلوم با شیب ۷ درجه به جهت بالاتر بودن سرعت جریان موانع در وسط و دو سوم انتهایی طول سازه اثر بیشتری در توقف واریزه‌ها داشته‌اند. وجود موانع دندان‌های در فلوم با شیب ۵ درجه تا ۲۵ درصد و در فلوم با شیب ۷ درجه تا ۱۸ درصد راندمان سازه در توقف واریزه‌های جریان را نسبت به سازه بدون هیچگونه مانعی افزایش داده است. در این مطالعه با استفاده از تغییر مکان و ارتفاع موانع دندان‌های تک ردیفی، محل مناسب برای موانع دو و سه ردیفی مشخص شده است. در فلوم با شیب ۵ درجه موانع دو ردیفی در محل L<sub>1</sub> با افزایش ۷ درصدی راندمان نسب به سایر مکان‌ها به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب شده است. بعد از آن موانع سه ردیفی در محل L<sub>4</sub> با افزایش ۶ درصدی راندمان نسبت به سایر مکان‌ها می‌تواند در اولویت بعدی کاربرد قرار گیرد. این موضوع در فلوم با شیب ۷ درجه برای موانع دو ردیفی در محل L<sub>2</sub> موجب افزایش ۱۰ درصدی و در محل L<sub>3</sub> نیز افزایش ۱۱ درصدی راندمان را به‌همراه داشته است. استفاده از موانع دندان‌های یا موانع چند ردیفی بسته به نظر مهندسی و شرایط محل احداث سازه متوقف‌کننده متفاوت است اما اثر مثبت این موانع در راندمان و عملکرد سازه امری اثبات شده است.

## منابع

- Ahmed, A. and Kakar, H. 2014. Aid effort begins at scene of Afghan landslides. *New York Times*.
- Bichler, A., Yonin, D. and Stelzer, G. 2012. Flexible debris flow mitigation: introducing the 5.5-mile debris fence. In: Eberhardt, E., Froese, C., Turner, K., Leroueil, S. (Eds.), *Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding*. CRC Press. 1209–1214.
- Clark, B. 2018. Numerical modeling of debris flow hazards using computational fluid dynamic. Master Thesis. Norwegian University of Science and Technology.
- Gonda, Y. 2009. Function of a debris- flow brake. *Journal of Erosion Control Engineering* 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* 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 Japan Society of Erosion Control Engineering (Shin-SABO)* 34(3): 45-50.
- Jues, C., Franzini, F., Soares-Fraza, S., Murillo, J. and Garcia-Navarro, P. 2015. Sediment transport in steep

## Experimental Study on a Debris Flow Drainage Channel with Different Types of Energy Dissipation Barriers

S. Rezapourian<sup>\*1</sup>, M.M. Ahmadi<sup>2</sup>, K. Qaderi<sup>3</sup>, A. Reza Shojaei Shahrokh Abadi<sup>4</sup>

Recived: Feb.18, 2020

Accepted: Apr.02, 2020

### Abstract

Debris flow breaker protects the downstream against the risk of these flows by water drainage and energy dissipation. It seems that structure changing in such a way that it reduces the kinetic energy of the debris, increases the efficiency of the structure. In this research, based on the dimensional analysis, some experiments were carried out in other to improve the structure performance of the stony debris flow breaker in a flume with slope adjustment capability. In these experiments, the efficiency of the debris flow breaker was studied with different barriers by changing in size, shape and arrangement under the different conditions of debris flow. Jagged and multiple barriers are selected to stop debris on the structure. Based on the results of jagged barriers, the different placements were able to increase the efficiency of debris flow breaker by up to 25%. In addition, two or three-row barriers even with their low height, have increased the structure control efficiency by 10%. Based on these results, a new and optimized structure was introduced.

**Keywords:** River engineering, Survey laboratory, Debris flow, Flood, Two phase flow

---

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, Iran

4- M.Sc. Student, Department of Water Resources Management and Planning, Faculty of Agriculture, Tarbiyat Modarres University of Tehran, Tehran, Iran

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