

مطالعه آزمایشگاهی افزایش کارایی مانع شبکه‌ای انعطاف‌پذیر در برابر جریان واریزه‌ای

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۴

چکیده

مانع انعطاف‌پذیر شبکه‌ای (Flexible debris flow barriers) نوعی از اقدامات سازه‌ی کاهش خطرات جریان‌های واریزه‌ای است که نسبت به موانع بتنی مقرون به‌صرفه‌تر است. این مانع با موفقیت برای توقف یا کاهش حجم واریزه‌های جریان بدون آسیب رساندن به پایین‌دست مورد استفاده قرار گرفته‌است. کارکرد مانع برای مهار جریان واریزه‌ای تماماً گراولی بصورت آزمایشگاهی بررسی شد. پارامترهای مشخصه فهرست و با استفاده از آنالیز ابعادی رفتار این سازه در مقابل جریان واریزه‌ی سنگی توسط پارامترهای بدون بعد مشخص و برنامه‌ریزی و انجام آزمایشات صورت گرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌ها، کارایی مانع شبکه‌ای با بازشدگی و هندسه متفاوت در مقابل جریان واریزه‌ای با غلظت جریان و سرعت جریان واریزه‌ی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شیب آبراهه معیاری برای بیان سرعت جریان واریزه‌ی است و نوع شیپارهای روی مانع، از موثرترین پارامترها در عملکرد مانع می‌باشند. ۲۵ درصد افزایش پارامتر ارتفاع رسوب انباشته شده با تغییر ۲ درجه در شیب فلوم حاصل شده است. کاهش ۷ و ۱۲/۵ درصدی پارامتر طول کپه واریزه‌ها در بالادست مانع با تغییر در محل شیپارهای عمودی تعبیه شده بر روی مانع توسط آزمایشات انجام شده مشاهده شده است. همچنین، فشارهای وارد به مانع در هر جریان محاسبه شده که می‌تواند در طراحی صحیح مانع بسیار تاثیرگذار باشد.

واژه‌های کلیدی: جذب انرژی جنبشی، جریان واریزه‌ای، راندمان کنترل، رفتار دینامیکی.

مقدمه

(2011, Huo et al., 2017). این روش استفاده از سیستم مانع انعطاف‌پذیر شبکه‌ی Flexible debris flow barrier می‌باشد. شکل (۱) نمونه‌ای از این سازه را نشان می‌دهد. این سازه به‌علت کاربرد ساده و عملکرد مناسب مقابل جریان‌های واریزه‌ای در آبراهه‌های کوچک بسیار مورد توجه مهندسان و محققان قرار گرفته است، بنابراین طراحی ساختار و اطلاع از عملکرد آن باید به‌طور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

موانع انعطاف‌پذیر قادر به تحمل بارهای استاتیکی و دینامیکی وارده از سمت جریان‌های واریزه‌ای هستند. این موانع تحت آزمایش و مشاهدات طبیعی قرار گرفته و توانایی خود را به‌عنوان سیستمی کامل جهت کنترل جریان واریزه‌ای در شرایط واقعی اثبات کرده‌اند. ولکوین (Volkwein, 2004) از نرم‌افزار FARO به‌منظور شبیه‌سازی رفتار دینامیکی یک سنگ کروی شکل متوقف شده توسط مانع شبکه‌ای استفاده کرده‌است. وندلر و همکاران (Wendeler et al., 2007) با استفاده از موانع ۱۳ مرحله‌ای رفتار این موانع و پروسه پر شدن آنها را تابعی از اندازه مش شبکه‌ها بیان کرده‌اند. آنها نشان داده‌اند که قطر حلقه‌های موانع باید در حدود d_{90} رسوب باشد تا بتواند رفتار قابل اعتمادی برای کنترل جریان واریزه‌ای داشته باشند. مطالعه دیگر وندلر و همکاران (Wendeler et al., 2008) بر روی جریان‌های واریزه‌ای دره Illgraben سوئیس انجام شده و نتایج این تحقیق بعنوان مبنایی

جریان‌های واریزه‌ای (Debris flow) در اثر ذوب برف یا بارندگی‌های شدید در مسیرهای جریان آب، آبراهه‌ها و رودخانه جریان پیدا می‌کند. شیب آبراهه علاوه بر عوامل به‌وجود آورنده این جریان‌ها، نقش مهمی را در حرکت واریزه‌ها به سمت پایین دارد. جریان واریزه‌ای هر چه به سمت پایین‌دست حرکت می‌کند بر مقدار واریزه‌های آن افزوده خواهد شد و همین عامل موجب ایجاد خطرات جدی برای ساکنین حاشیه مسیر، تاسیسات و بالاخص سازه‌های آبی خواهد گردید (Canelli et al., 2012). کنترل جریان و کاهش خطرات احتمالی آن با استفاده از سازه‌های بتنی با موفقیت گزارش شده است اما در میان روش‌های کنترل و توقف واریزه‌ها روش قابل اعتمادی که در آبراهه‌های کوچک نتایج بسیار خوبی را داشته است پیشنهاد شده است (Segalini et al., 2008, Volkwein et al., 2008).

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)

عرض‌های تا ۲۵ متر و ارتفاع ۶ متر است. از فواید این موانع می‌توان به عملکرد قابل اطمینان در مقابل جریان واریزه‌ای، نصب و راه‌اندازی ساده، استحکام مواد سازنده این سیستم‌ها، مقاومت در برابر خوردگی و سایش، طول عمر طولانی، سبک بودن، هزینه‌های نگهداری کم و امکان متوقف کردن حجم بزرگتری از جریان‌های واریزه‌ای با استفاده از آرایش این موانع به‌صورت سری اشاره نمود (Wendeler et al., 2008).



شکل ۱- تاثیر جریان واریزه‌ای بر روی یک ساختمان و تجمع واریزه‌ها پشت مانع شبکه‌ای انعطاف‌پذیر (Wendeler et al., 2008)

در این تحقیق مطالعه آزمایشگاهی برای بررسی رفتار این مانع تحت شرایط مختلف جریان واریزه‌ی سنگی (stony debris flow) انجام شده است. در تحقیقات موجود تاکنون به بررسی راندمان موانع در مقابل جریان واریزه‌ای پرداخته نشده است. به همین منظور در این مطالعه توجه ویژه‌ای به راندمان و عملکرد مانع در شرایط مختلف وقوع جریان واریزه‌ای شده است. علاوه بر این به منظور عبور واریزه‌های شناور موجود در هر جریان در عملی نوآورانه شیارهای عمودی با فواصل مختلف بر روی مانع در نظر گرفته شده است. وجود این شیارها نیز توانسته عملکردهای متفاوت این مانع را در مقابل جریان واریزه‌ای به همراه داشته باشد. محاسبه انواع فشارهای هیدرواستاتیکی و دینامیکی وارده بر این مانع با ورود هر جریان، انجام شده و تحلیل گردیده است.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

پارامترهای موثر بر راندمان مانع و فشار قابل تحمل مانع شبکه‌ای انعطاف‌پذیر

به منظور شبیه‌سازی یک رخداد طبیعی توسط بررسی آزمایشگاهی باید رفتار هیدرولیکی در مدل با رخداد طبیعی مشابه باشند. جهت

برای طراحی سیستم‌های شبکه‌ای انعطاف‌پذیر بیان شده است. با توجه به شرایط مجرای عبور جریان واریزه‌ای دو نوع از این سیستم وجود دارد: موانع VX که برای مجاری باریک (V-narrow shaped torrents) استفاده و در تکیه‌گاه‌های کانال به‌صورت طناب پیچ محکم بسته می‌شوند. این نوع از ساختار مناسب برای عرض‌های تا ۱۵ متر و ارتفاع ۶ متر است. موانع UX برای مجاری وسیع‌تر (wider, U-shaped torrents) طراحی شده و مناسب برای

ولکویین و همکاران (Volkwein et al., 2011) مدلی را تشریح کرده‌اند که فرایند پر شدن و نیروهای وارده به مانع شبکه‌ای را بررسی و توزیع فشار کل بر روی این شبکه را نسبت به زمان مورد نیاز برای پر شدن این شبکه‌ها و ردیابی انباشت حاصل از جریان واریزه‌ای را برآورد می‌کند. این محققین در سال ۲۰۱۴ نیز دستورالعملی جامع از مانع جریان واریزه‌ای تهیه کرده و نکات مربوط به طراحی و کاربرد این موانع را ارائه کرده‌اند. با استفاده از این دستورالعمل مهندسان قادر به طراحی صحیح مانع در برابر جریان و محاسبه فشارهای وارده احتمالی به مانع هستند. کو و همکاران در سال ۲۰۱۶ مدلی را توسعه داده‌اند که در صورت استفاده از این مدل لحظه خم شدن مانع در طراحی می‌تواند ۳۰٪ بیشتر از لحظه برآورد شده توسط روش‌های موجود قبلی باشد. هو و همکاران (Huo et al., 2017) با بررسی تاثیر موانع بر روی رفتار دینامیکی جریان‌های واریزه‌ای در مناطق کوهستانی بیان کرده‌اند که سرعت جریان در برخورد به موانع تا حدود ۶۳ درصد کاهش یافته و همین کاهش سرعت موجب توقف نسبت جرمی از مواد واریزه‌ای می‌گردد. کوآن و کو (Kwan and Koo, 2018) در ادامه تحقیقاتشان دستورالعمل پیشرفته‌ای را نیز برای محاسبه مقدار سرعت ضربه جریان واریزه‌ی و حجم نگهداری از واریزه‌ها توسط مانع ارائه داده‌اند که به لحاظ عملی در طراحی این موانع بسیار کارآمد است.

فلوم آزمایشگاهی

فلوم آزمایشگاهی جهت بررسی جریان واریزه‌ای به طول ۴ متر و ارتفاع ۰/۵ متر و عرض ۰/۴ متر با مقطع مستطیلی در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان ساخته شده‌است. بدنه فلوم از ورق پلی کربنات شفاف ساخته شده و یکی از دیواره‌ها به منظور مشاهده رفتار پدیده از شیشه ساخته شده‌است. فلوم به گونه‌ای طراحی شده‌است که شیب آن قابل تنظیم می‌باشد. در ابتدای فلوم مخزنی با ابعاد $1 \times 1 \times 1$ متر برای تهیه مخلوط آب و رسوب (Debris) تعبیه شده‌است. به منظور استفاده از مدل مانع شبکه‌ای، توری‌های پلاستیکی مشبک به عنوان مانع شبکه‌ای استفاده شده که این موانع به صورت عمودی در انتهای فلوم به دیواره‌های جانبی ثابت شده‌است. برای ارزیابی پروسه عبور جریان واریزه‌ای و پر شدن مانع شبکه‌ای از یک دوربین دیجیتال فیلمبرداری Panasonic استفاده شده‌است.

مواد آزمایشی

در این مطالعه، واریزه گراولی (stony debris) انتخاب شده‌است. منحنی دانه‌بندی در شکل (۳) نشان داده شده است. براساس منحنی دانه‌بندی قطر متوسط این ذرات برابر ۱۴ میلی‌متر و قطر ۹۰ درصد ذرات برابر ۲۲/۸ میلی‌متر به دست آمده‌است.

الگوی آزمایشگاهی

فلوم آزمایشگاهی با شیب قابل تغییر برای شرایط مختلف جریان واریزه‌ای ساخته شده‌است. این شرایط شامل حجم‌های متفاوت جریان، غلظت‌های مختلف واریزه و مسافت طی شده مشخص برای جریان واریزه‌ای می‌باشد. در این تحقیق، غلظت جریان واریزه‌ای، شیب فلوم، اندازه روزنه‌های مانع شبکه‌ای و وجود شیار با فواصل مختلف به عنوان پارامترهای متغیر مورد بررسی قرار گرفته‌است. مشخصات مانع شبکه‌ای بجز اندازه روزنه‌های آن ثابت در نظر گرفته شده‌است. اندازه روزنه‌ها با قطر معادل برابر ۱۶ و ۲۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شده‌است. ارتفاع مانع شبکه‌ای در مقابل جریان برابر ۰/۴ متر است.

اصول طراحی

در این تحقیق جهت محاسبه فشارهای هیدرواستاتیکی و دینامیکی وارده بر مانع شبکه‌ای از روش پیشنهادی وندلر در سال ۲۰۰۸ (Wendeler et al., 2008) استفاده شده‌است. شبیه‌سازی مانع شبکه‌ای در مقابل جریان واریزه‌ای به منظور بررسی ظرفیت این مانع برای کنترل آسیب‌های جریان واریزه‌ای به پایین دست و محاسبه بار-های اعمال شده به آن در هر جریان انجام می‌گردد. در طول فرایند

برقراری تشابه‌سازی باید سه شرط تشابه هندسی، سینماتیکی و دینامیکی بین مدل و اصل برقرار باشد. به منظور بررسی تشابه بین مدل و اصل باید پارامترهای موثر شناخته شوند. پارامترهای مشخصه سازه انعطاف پذیر متوقف کننده جریان واریزه‌ای به صورت تابع Ψ ارائه شده‌است. با استفاده از تئوری باکینگهام-پای از ۱۹ پارامتر مشخصه تعداد ۱۷ گروه بدون بعد به صورت تابع f فهرست شده‌است، استخراج شد.

اول، راندمان نگهداشت مانع شبکه‌ای در برابر جریان واریزه‌ای را می‌توان به صورت یک تابع Ψ از پارامترهای ذکر شده بیان کرد:

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

پارامترهای g و S_f به صورت زیر جایگزین می‌شوند (Buckingham, 1914):

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

$$\gamma_c = g(\rho_c - \rho) \rightarrow \gamma_c \text{ Alternative } g$$

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

$$\text{Efficiency (\%)} = f \left(\frac{B_f}{D_{50}}, \frac{1}{Re_*}, \frac{h}{D_{50}}, C_*, \frac{1}{Fr_*^2}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\omega}{v_*}, \frac{W_s}{\rho v_*^2 D_{50}^2}, \frac{L_s}{D_{50}}, \frac{H_s}{D_{50}}, \frac{B_b}{D_{50}}, \frac{D_h}{D_{50}}, \frac{V_d}{D_{50}^3}, \frac{H}{D_{50}}, C, \phi_s \right) \quad (3)$$

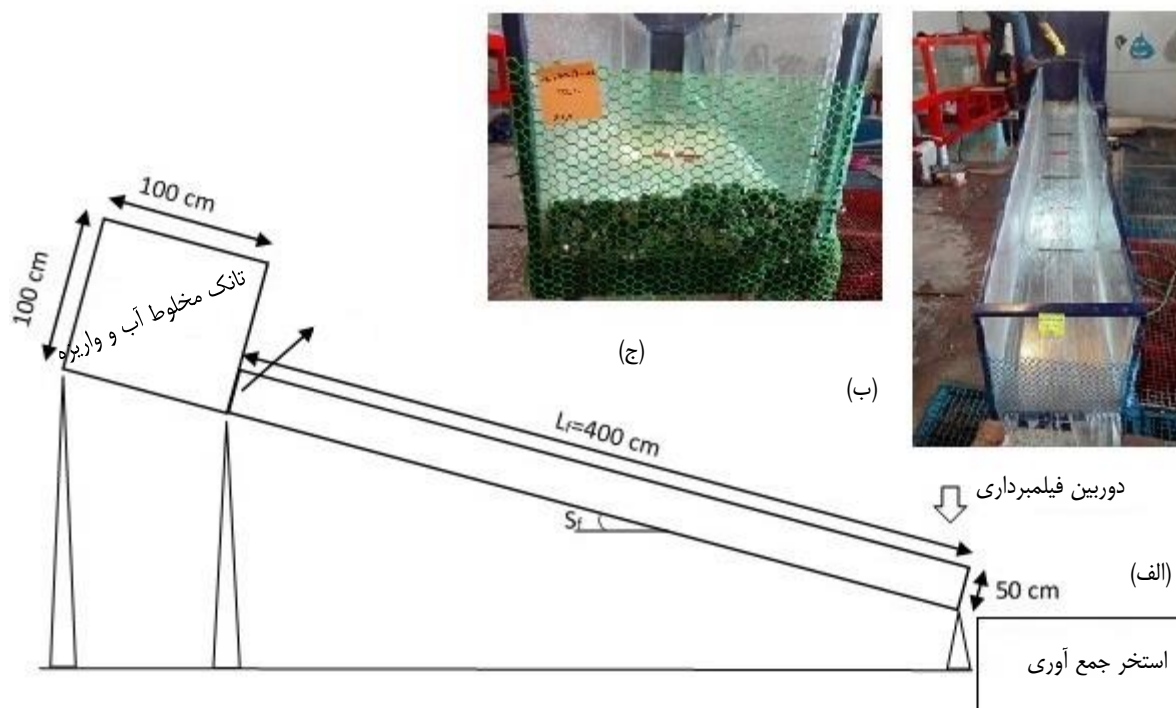
که، C_* برابر است با ضریب شزی، عدد فرود به دست آمده نیز برابر با عدد فرود دنسیمیتریک است. رابطه (۴) اعداد بی بعد موثر در فشار وارده بر مانع را نشان داده‌است.

$$\frac{P}{\rho v_*^2 D_{50}^2} = g \left(\frac{B_f}{D_{50}}, \frac{1}{Re_*}, \frac{h}{D_{50}}, C_*, \frac{1}{Fr_*^2}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\omega}{v_*}, \frac{W_s}{\rho v_*^2 D_{50}^2}, \frac{L_s}{D_{50}}, \frac{H_s}{D_{50}}, \frac{B_b}{D_{50}}, \frac{D_h}{D_{50}}, \frac{V_d}{D_{50}^3}, \frac{H}{D_{50}}, C, \phi_s \right) \quad (4)$$

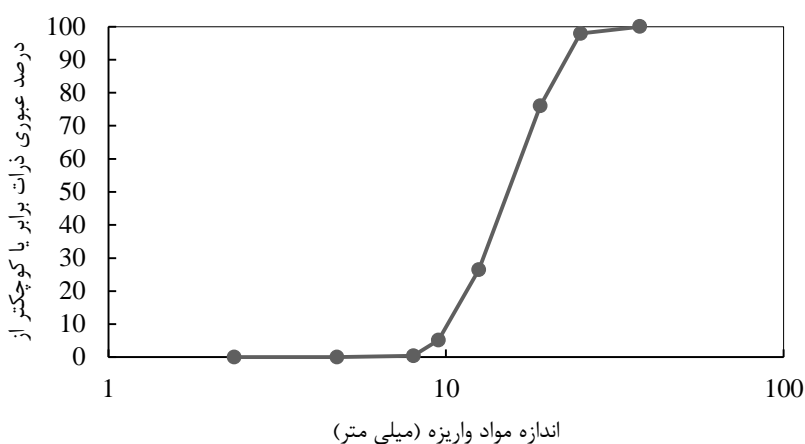
از ترکیب اعداد بی بعد به دست آمده برای تحلیل نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده در آزمایشگاه استفاده شده‌است. پارامتر بی بعد غلظت (C) به صورت پارامتر جدیدی حاصل از تقسیم غلظت به غلظت خالص رسیده به ابتدای سازه، $\frac{C}{C_{in}}$ ، در نمودارها استفاده شده‌است. معرفی موانع شبکه‌ای نیز در نتایج به صورت ترکیبی از قطر معادل شبکه به D_{50} در نظر گرفته شده‌است. مانع اول $net 1: M_1 = \frac{D_h}{D_{50}} = \frac{16}{14} = 1.14$ و مانع دوم $net 2: M_2 = \frac{D_h}{D_{50}} = \frac{26}{14} = 1.86$ به این صورت معرفی خواهند شد.

رخداد یک جریان واریزه‌ای ماکزیمم بار به مانع وارد شده‌است. شکل (۴) فرایند پر شدن مانع و بارهای وارده به آن را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

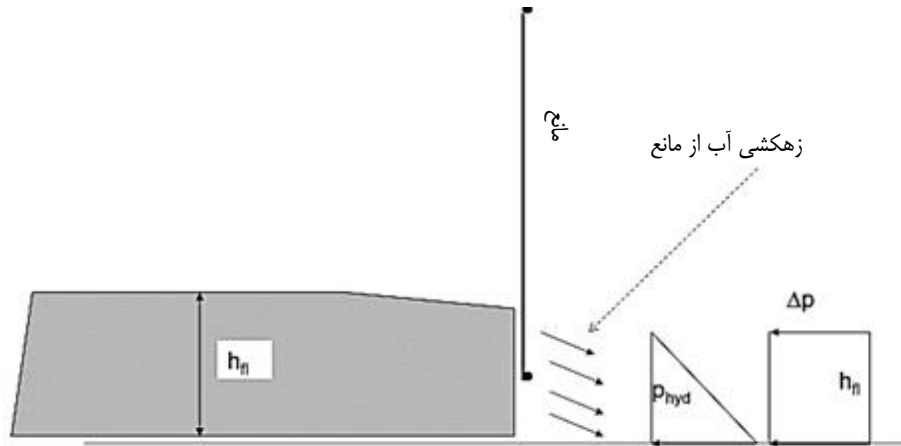
متوقف شدن جریان واریزه‌ای، بارهای هیدرواستاتیکی وابسته به چگالی جرم و ارتفاع جریان هستند. بارهای دینامیکی نیز به مربع سرعت، چگالی، ضریب ارتفاع فشار- سرعت و ضریب وابسته به مواد رسوب بستگی دارند (Koo et al., 2016). فرض شده که هنگام



شکل ۲- فلوم آزمایشگاهی برای بررسی رفتار مانع شبکه‌ای در مقابل جریان واریزه‌ی سنگی، (الف) نمای شماتیک از فلوم آزمایشگاهی (ب) تصویر فلوم آزمایشگاهی، (ج) نمونه مانع شبکه‌ای استفاده شده



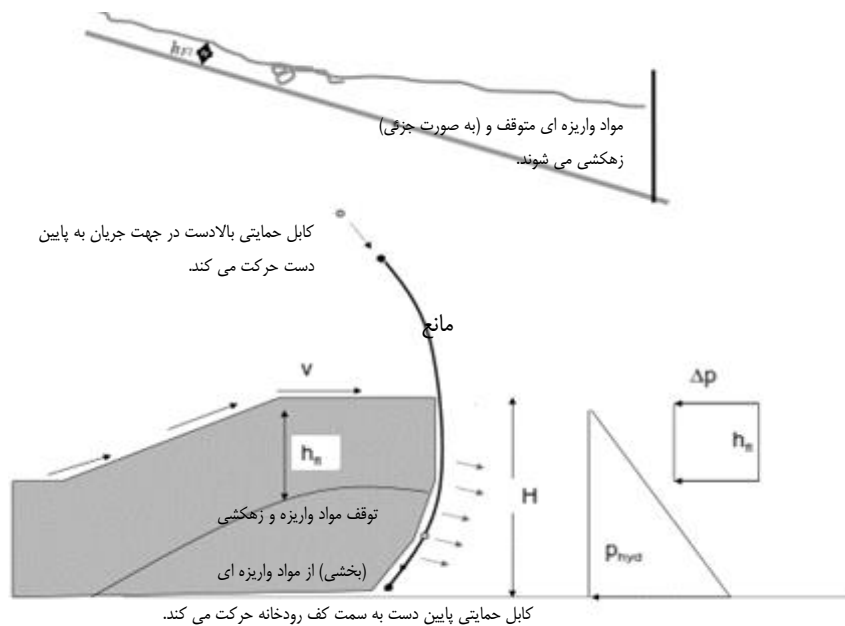
شکل ۳- منحنی دانه‌بندی مواد واریزه‌ای



شکل ۴- تاثیر اولیه جریان واریزه‌های روی مانع با مدل ضربه فشار شامل فشار هیدرواستاتیک ΔP و فشار هیدرودینامیک P_{hyd} (Volkwein, 2014)

ارتفاع رسوبات جریان واریزه‌ی پشت مانع از ارتفاع مانع بیشتر شود شرایط بارگذاری برای سرریز باید اعمال گردد. در شکل (۵) و (۶) به صورت شماتیک مراحل پر شدن مانع نشان داده شده‌است.

مانع بعد از ورود جریان واریزه‌های اصطلاحاً "تحت تاثیر اولیه" قرار گرفته‌است. بعد از آن مانع به صورت مکرر توسط جریان‌های بعدی پر می‌گردد. هر جریان به صورت مجزا با ارتفاع قائم یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. اگر پر شدن مانع تا حدی صورت گیرد که



شکل ۵- فرایند پر شدن واقعی (شکل بالا) و فرایند پر شدن شماتیک (شکل پایین) و بارهای وارده بر مانع (Volkwein, 2014)

شده پشت مانع، $\rho = \text{چگالی واریزه‌ها} = ۱۶۰۰ - ۲۲۰۰ \text{ kg/m}^3$ ، $\alpha =$ ضریب فشار ($\alpha = ۰.۷ - ۲$ که برای چگالی واریزه کمتر از ۱۹۰۰ kg/m^3 برابر ۰.۷ در نظر گرفته می‌شود، $K =$ ضریب فشار زمین) برابر واحد در نظر گرفته می‌شود) و $g =$ ثابت گرانش ($g = ۹.۸۱ \text{ m/s}^2$). در هنگام سرریز شدن مانع یک تنش اضافی به قسمت بالایی مانع وارد می‌شود که باید توسط مانع مهار گردد،

تعیین بارهای مربوطه

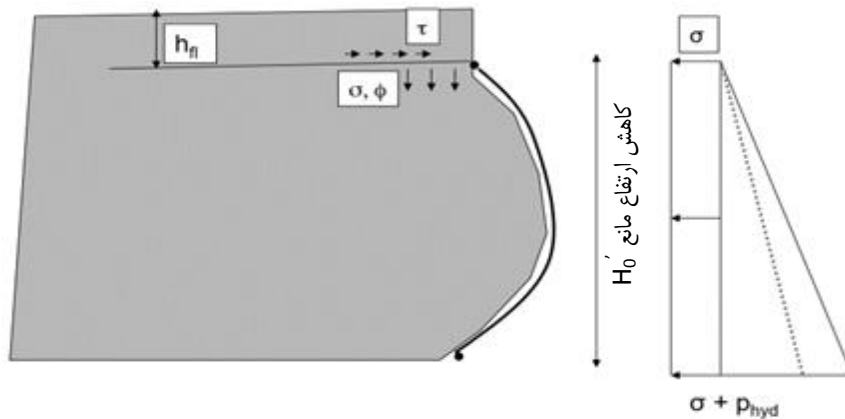
در این تحقیق، فرض شده که فشارهای هیدرواستاتیک ($\Delta P = p_{stat}$) و هیدرودینامیک (P_{hyd}) در عرض فلوم توزیع یکنواختی داشته باشند. این موضوع در کار وندلر با فلوم‌های طبیعی تایید شده‌است. $P_{dyn} = \alpha \rho v^2$ and $p_{stat} = KH\rho g$ (۵) که، $v =$ سرعت حرکت جریان واریزه‌ای، $H =$ ارتفاع مواد انباشته

از جریان و طرح سازه مورد بررسی قرار گرفت. راندمان سازه و مشخصات هندسی کپه واریزه پشت مانع اصلی‌ترین پارامترهای برداشت شده در آزمایشات بوده است. علاوه بر این، برای هر آزمایش بارهای وارده از روش ارائه شده توسط وندلر (Wendeler et al., 2008) محاسبه و بررسی شده‌است.

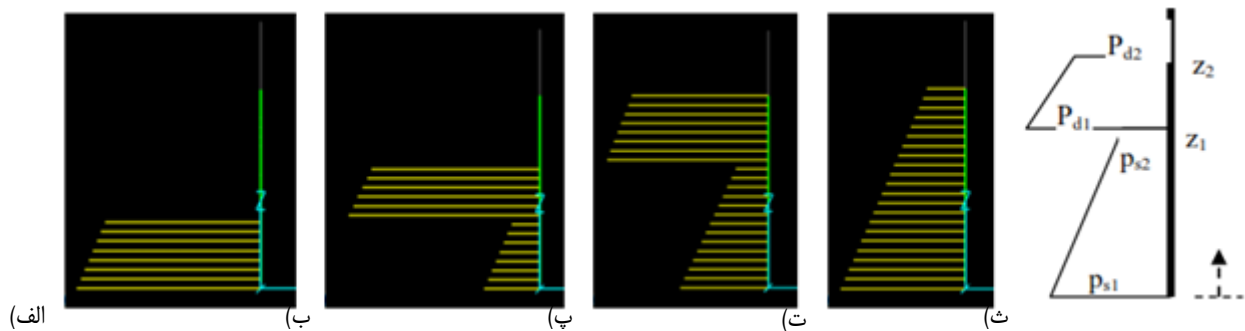
$$\tau = h_{f1} \rho g \tan \phi \quad (6)$$

که، h_{f1} = ارتفاع جریان و ϕ = زاویه اصطکاک مواد واریزه‌ای. اگر فرایند پر شدن پشت مانع به صورت شکل ۷ (الف تا ت) فرض شود، فشارهای وارده به مانع به صورت شکل ۷ (ث) قابل تفکیک هستند.

در این مطالعه، رفتار مانع جریان واریزه‌ای به ازای مقادیر متفاوتی



شکل ۶- موقعیت بارهای وارده بر مانع در هنگام سرریز شدن رسوبات که در مقایسه با ارتفاع اولیه، ارتفاع مفید را کاهش می‌دهد (Volkwein, 2014)



شکل ۷- (الف) توزیع فشار در جهت جریان برای ضربه اولیه، (ب) و (پ) فرایند پر شدن تکمیلی مانع، (ت) سرریز کردن رسوب از روی مانع و (ث) خلاصه‌ای از مقادیر فشار مربوطه در ارتفاعات موثر ۱ و ۲ (Volkwein, 2014)

واریزه‌های ریزدانه بیشتری شده‌است که با افزایش شیب فلوم و افزایش سرعت

جریان واریزه‌ی راندمان کاهش یافته است. در صورتی که شکل (۸-ب) نشان می‌دهد که روزه‌های درشت‌تر مانع، سبب متوقف شدن واریزه‌های درشت‌دانه‌تر شده‌است. با توجه به ثابت بودن دانه‌بندی افزایش راندمان در هر ۶ غلظت به علت افزایش واریزه‌ها بوده و شیب فلوم یا سرعت جریان واریزه‌ی در مانع با روزه درشت تاثیر قابل بحثی ندارد.

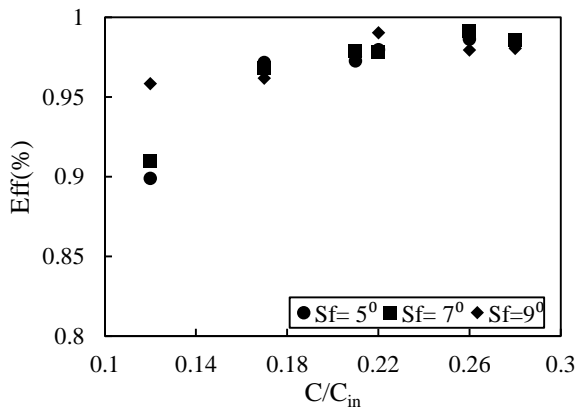
نتایج

ارزیابی عملکرد کنترلی مانع (راندمان مانع)

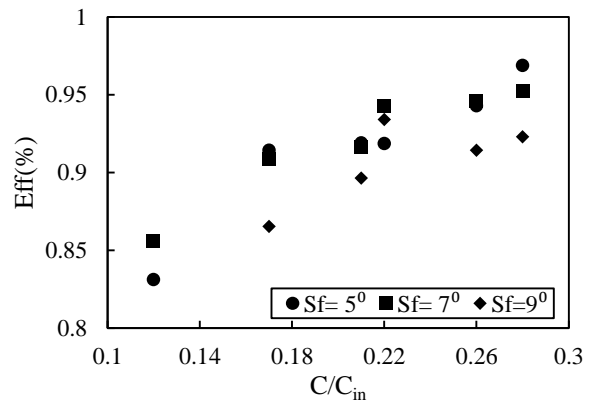
جهت ارزیابی راندمان کنترل رسوب توسط مانع شبکه‌ای، پارامتر بی بعد $\frac{C}{C_{in}}$ را برای ۶ غلظت مختلف رسوب در سه شیب متفاوت از فلوم مورد بررسی قرار گرفته‌است. این بررسی برای دو مانع شبکه‌ای با اندازه روزه‌های $\frac{D_h}{D_{50}}$ ۱/۱۴ و ۱/۸۶ انجام شده‌است.

تاثیر اندازه روزه مانع شبکه‌ای بر روی راندمان مانع

در شکل (۸-الف) کوچک بودن روزه‌های مانع، موجب نگهداری

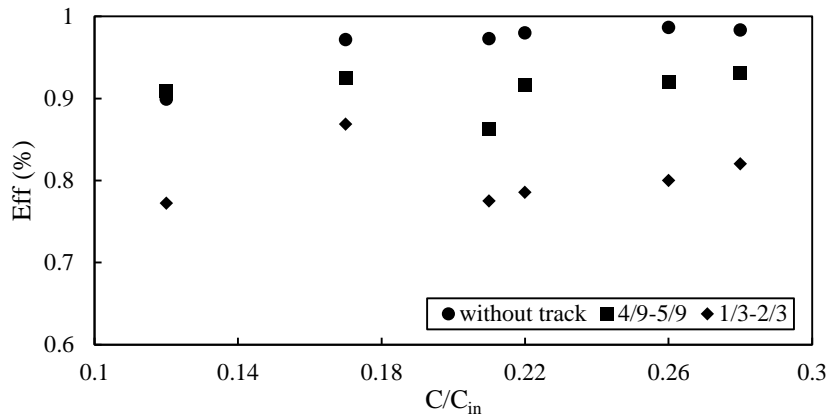


(ب)



(الف)

شکل ۸- رابطه بین راندمان مانع شبکه‌ای جریان واریزه‌ای و غلظت بی‌بعد جریان واریزه‌ای، الف) مانع شبکه‌ای با اندازه روزنه $\frac{D_h}{D_{50}} = 1.14$ ، ب) مانع شبکه‌ای با اندازه روزنه $\frac{D_h}{D_{50}} = 1.86$



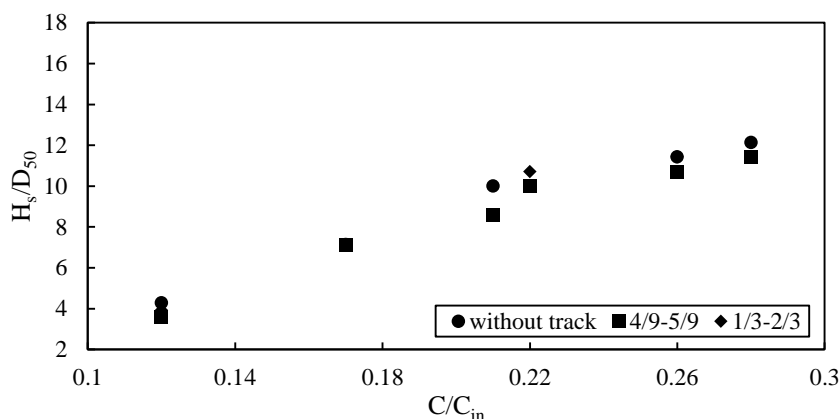
شکل ۹- بررسی تاثیر وجود و عدم وجود شیار و محل آن روی مانع شبکه‌ای جریان واریزه‌ای بر راندمان کنترل واریزه

واریزه‌ها توسط مانع دور از انتظار نبوده‌است زیرا واریزه‌های شناور نیز در صورت متوقف شدن در افزایش راندمان تاثیرگذار بوده‌اند. با وجود اینکه این موانع لایروبی شونده نیستند، پس عبور واریزه‌های شناور موجب افزایش دفعات استفاده از این موانع می‌شود. مانع با شیار در محل‌های $\frac{1}{3}B_f$ و $\frac{2}{3}B_f$ واریزه بیشتری را مهار کرده‌است. وجود شیار بر روی مانع موجب کاهش ارتفاع واریزه جمع شده پشت مانع شده‌است اما فاصله بین این شیارها تاثیر چندانی بر روی این ارتفاع نداشته‌است زیرا عامل تعیین کننده بر تغییرات پارامتر بی-بعد $\frac{H_s}{D_{50}}$ ، شیب فلوم بوده‌است.

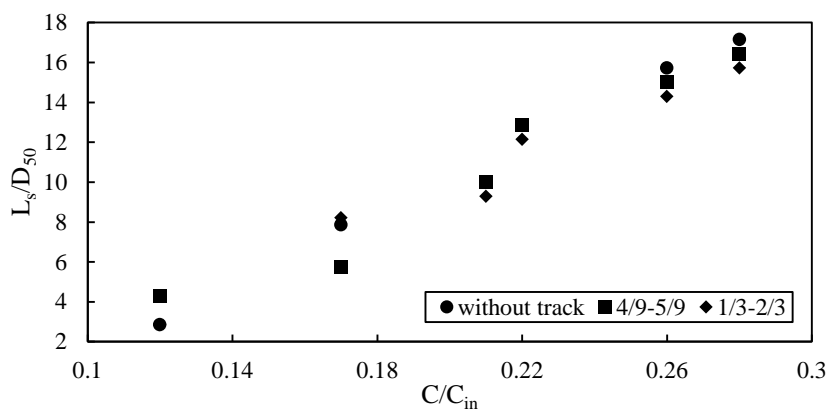
تاثیر وجود شیار بر روی مانع شبکه‌ای برای شیب متوسط فلوم و شبکه با اندازه روزنه M_1

شیارهای عمودی تعبیه شده بر روی مانع جهت بررسی اثر آنها بر واریزه‌های شناور همراه جریان واریزه‌ای بوده‌است. بدین منظور دو شیار عمودی بر روی مانع با فواصل متفاوت ایجاد گردید و اثر وجود این شیارها بر راندمان توقف واریزه‌ها توسط مانع و پارامترهای بی‌بعد $\frac{L_s}{D_{50}}$ و $\frac{H_s}{D_{50}}$ مربوط به تجمع واریزه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارائه شده برای شیب متوسط فلوم و مانع با اندازه روزنه کوچکتر $(\frac{D_h}{D_{50}} = 1.14 = M_1)$ ارائه شده‌اند.

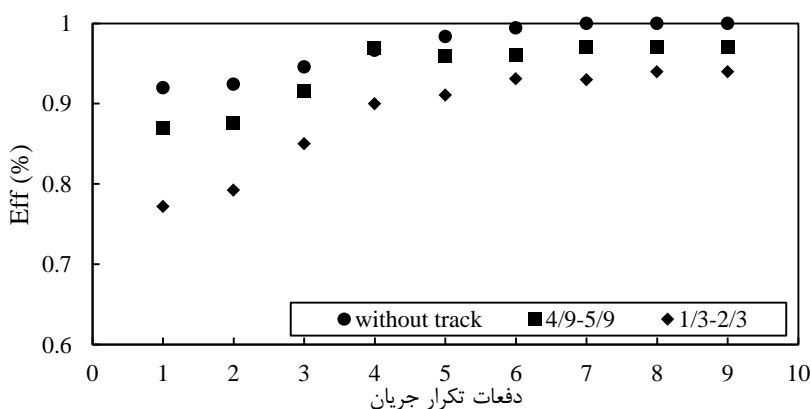
شکل (۹) نشان می‌دهد که افزایش راندمان همراه با افزایش غلظت جریان واریزه‌ای رخ داده‌است. وجود شیار و فاصله آنها از یکدیگر بر میزان راندمان مانع موثر بوده و نسبت به حالت بدون شیار راندمان کمتر برآورد شده‌است. با توجه به هدف ایجاد شیار بر روی مانع شبکه‌ای به منظور عبور واریزه‌های شناور، کاهش راندمان توقف



شکل ۱۰- رابطه بین وجود یا عدم وجود شیار و محل آن روی مانع شبکه‌ای جریان واریزه‌ای با پارامتر بی بعد $\frac{H_s}{D_{50}}$



شکل ۱۱- رابطه بین وجود یا عدم وجود شیار و محل آن روی مانع شبکه‌ای جریان واریزه‌ای با پارامتر بی بعد $\frac{L_s}{D_{50}}$



شکل ۱۲- تاثیر وجود یا عدم وجود شیار و محل آن روی مانع شبکه‌ای بر راندمان کنترل واریزه در جریان‌های متوالی (شیب ۷ درجه فلوم)

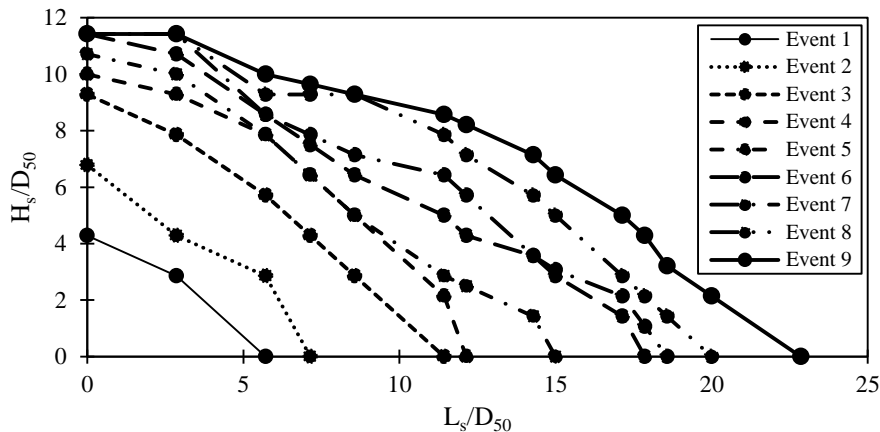
بدون شیار کمتر از ۱۰ درصد برآورد شده‌است.

وجود شیار بر روی مانع تاثیر چندانی بر روی طول دامنه تجمع واریزه در بالاست مانع نداشته است. با وجود اینکه مقادیر به‌دست آمده برای این طول از حالت مانع بدون شیار کمتر بوده اما اختلاف مقادیر به‌دست آمده برای حالت‌های مختلف مانع شیاردار با حالت

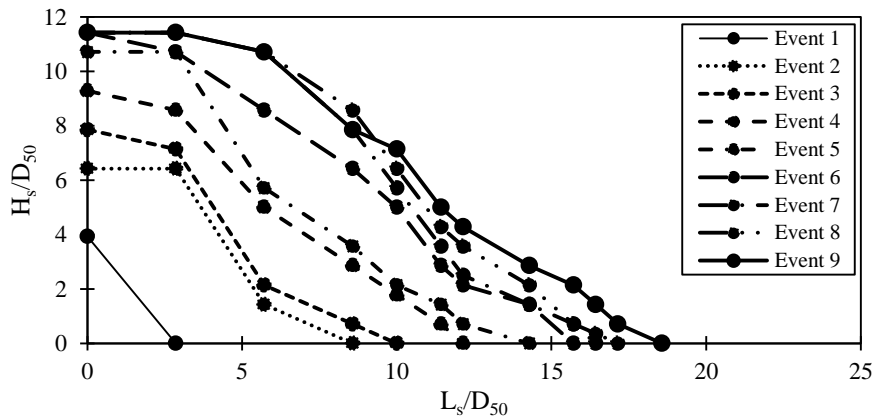
بررسی رفتار مانع شبکه‌ای در مقابل جریان‌های واریزه‌ای متوالی

متوالی برای این مانع وجود دارد. جریان‌های واریزه‌ای مکرر موجب افزایش راندمان کنترل واریزه توسط آن شده‌است زیرا با پر شدن آن، مانع به‌صورت سدی در مقابل جریان‌های واریزه‌ای بعدی عمل کرده و میزان واریزه عبوری به پایین‌دست را کاهش داده‌است.

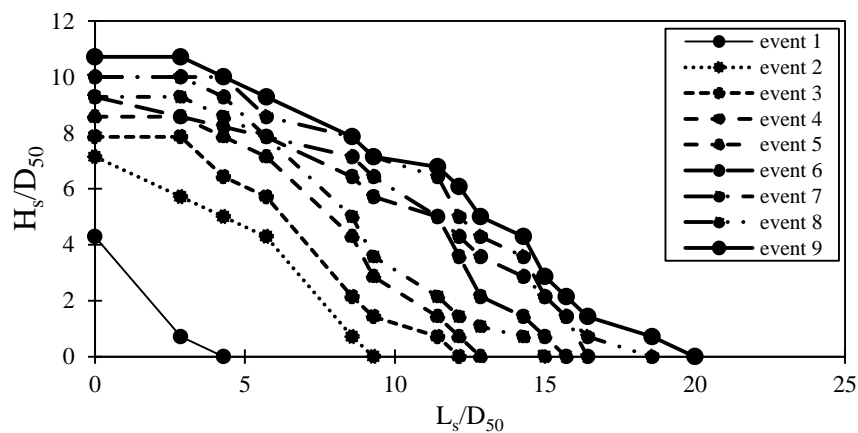
این نوع از موانع در مقابل جریان واریزه‌ای بعد از هر جریان لایروبی نمی‌شوند و صرفاً به‌عنوان مانع جلوگیری از پیشروی جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌همین علت امکان توقف جریان‌های



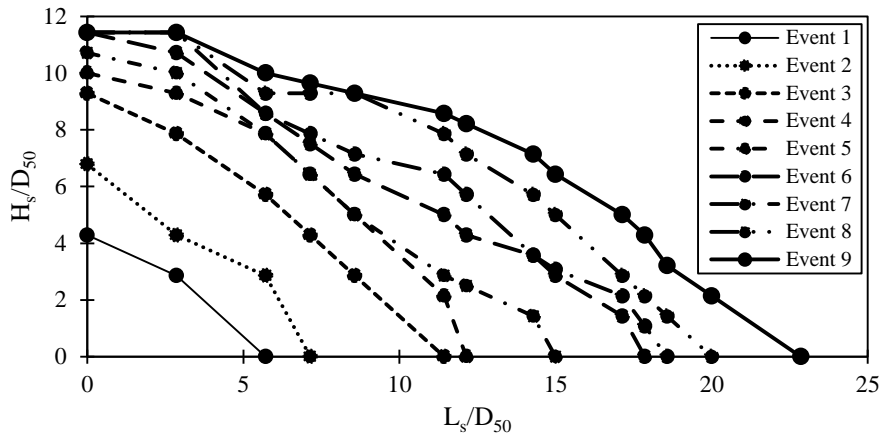
شکل ۱۳- پروفیل اندازه‌گیری شده تجمع واریزه پشت مانع شبکه‌ای برای مانع M_1 بدون وجود شیار بر روی مانع



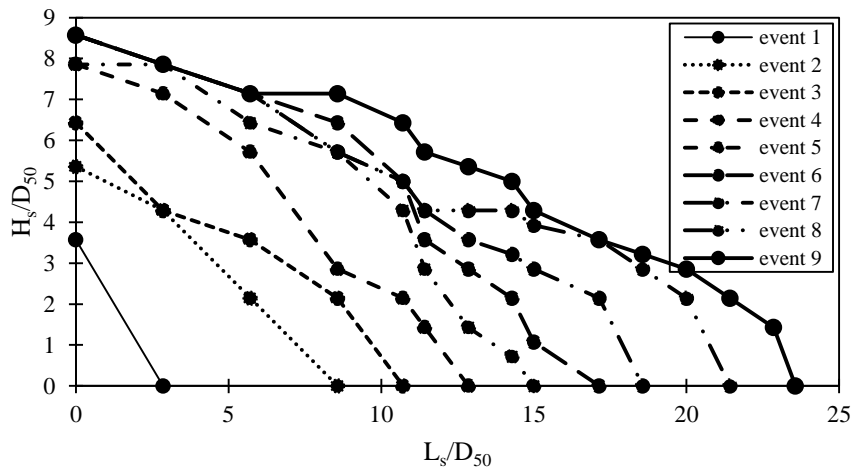
شکل ۱۴- پروفیل اندازه‌گیری شده تجمع واریزه پشت مانع شبکه‌ای برای مانع M_1 برای شیار با فاصله $\frac{1}{3}B_f$ از یکدیگر بر روی مانع



شکل ۱۵- پروفیل اندازه‌گیری شده تجمع واریزه پشت مانع شبکه‌ای برای مانع M_1 برای شیار با فاصله $\frac{1}{9}B_f$ از یکدیگر بر روی مانع



شکل ۱۶- پروفیل اندازه‌گیری شده تجمع واریزه پشت مانع شبکه‌ای برای مانع M_1 در فلوم با شیب ۷ درجه



شکل ۱۷- پروفیل اندازه‌گیری شده تجمع واریزه پشت مانع شبکه‌ای برای مانع M_1 در فلوم با شیب ۵ درجه

شیب فلوم در هر دو شکل تقریباً مشابه است. مقادیر بیان شده برای پارامترهای بی‌بعد $\frac{L_s}{D_{50}}$ و $\frac{H_s}{D_{50}}$ در جدول (۱) اختلاف میان شرایط مختلف ترسیم پروفیل تجمع واریزه‌ها توسط مانع شبکه‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر بی‌بعد H_s و L_s برای شرایط مختلف مانع شبکه‌ای

شرایط مختلف مانع	$\frac{H_s}{D_{50}}$	$\frac{L_s}{D_{50}}$
$S_f=5^\circ - M_1 - \text{without track}$	۸/۵۷	۲۳/۵۷
$S_f=7^\circ - M_1 - \text{without track}$	۱۱/۴۲	۲۲/۸۵
$S_f=7^\circ - M_1 - \frac{4}{9}B_f - \frac{5}{9}B_f$	۱۰/۷۱	۲۰
$S_f=7^\circ - M_1 - \frac{1}{3}B_f - \frac{2}{3}B_f$	۱۱/۴۲	۱۸/۵۷

محاسبه فشارهای هیدرواستاتیک و دینامیکی وارد بر مانع طراحی و کاربرد مانع شبکه‌ای انعطاف‌پذیر برای جریان واریزه‌ای در آبراهه‌های کوچک وابسته به مشخصات جریان واریزه‌ای بوده- است. محاسبه نیروهای فشاری وارده بر مانع می‌تواند بر طراحی

تاثیر شیار بر روی مانع بر پروفیل تجمع واریزه‌ها پشت مانع شبکه‌ای در جریان‌های واریزه‌ای متوالی

با توجه به شکل‌های (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) وجود شیارها موجب تغییراتی در پروفیل تجمع واریزه پشت مانع می‌گردد. این تغییرات در ارتفاع واریزه تجمع یافته و طول تجمع آنها در بالادست مشخص است. در حالت شیارهای با فاصله بیشتر از یکدیگر ارتفاع تجمع واریزه بیشتر و طول این تجمع پشت مانع کمتر است. در حالت فاصله شیارهای کمتر ارتفاع تجمع کمتر و طول تجمع واریزه پشت مانع اندکی بیشتر است.

تاثیر شیب فلوم بر پروفیل تجمع واریزه‌ها پشت مانع شبکه‌ای با وجود یا عدم وجود شیار بر روی مانع در جریان‌های واریزه‌ای مکرر

افزایش شیب فلوم و افزایش سرعت جریان واریزه‌ای موجب افزایش ارتفاع تجمع رسوبات پشت مانع شده‌است. پروفیل‌های برداشت شده نشان می‌دهند که طول دامنه تجمع رسوب بدون تاثیر

قابل اطمینان و قابل کاربرد در آبراهه‌های کوچک مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. هدف از انجام این تحقیق بررسی میزان عملکرد و بازده این نوع از مانع در مقابل جریان واریزه‌ی به‌صورت آزمایشگاهی بوده- است. با انجام آنالیز ابعادی رفتار سازه بوسیله گروه‌های بدون بعد بیان شده است. پروفیل تجمع واریزه‌ها و پارامترهای معرف این پروفیل برآورد شده و شیب فلوم به‌عنوان عامل اصلی تاثیر گذار بر پروفیل کپه واریزه پشت مانع شناخته شده است. افزایش ۲ درجه‌ای شیب فلوم به میزان ۲۵ درصد پارامتر بی بعد H_s/D_{50} را افزایش داده‌است. تعبیه شیار عمودی بر روی مانع به‌منظور عبور واریزه‌های شناور و سبک هیچگونه آسیبی به پایین دست مانع وارد نمی‌کند بلکه با عبور این نوع واریزه‌ها و کاهش بار وارده پشت مانع می‌توان ظرفیت مانع را برای توقف جریان‌های متوالی بالا برد. کاهش ۱۰ درصدی میزان درصد نگهداشت واریزه جریان‌های واریزه‌ای توسط موانع شیاردار نسبت به حالت بدون شیار مشاهده گردید. کاهش فاصله شیارها از $\frac{1}{3} B_f$ به $\frac{1}{9} B_f$ موجب کاهش ۷ درصدی پارامتر بی‌بعد L_s/D_{50} شده- است که این میزان کاهش بین حالت بدون شیار و فاصله شیار $\frac{1}{3} B_f$ ۱۲/۵ درصد برآورد شده‌است.

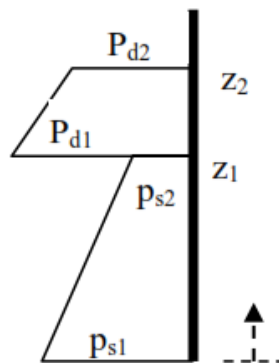
مشخصات مانع و پایداری آن در مقابل جریان‌های واریزه‌ای تاثیرگذار باشد. براساس روابط وندلر (Wendeler et al., 2008) فشارهای وارده بر مانع در آزمایشگاه براساس داده‌های بیان کننده جریان مانند چگالی، عمق جریان، سرعت جریان، حجم جریان، قطر ذرات، شیب کانالی و زاویه ایستایی رسوبات محاسبه شده‌است. جداول (۲) و (۳) داده‌های ورودی برای محاسبه فشارها و نتایج محاسبه فشارها را نشان می‌دهند. ضریب ایمنی در طراحی مانع مورد استفاده برابر $1/3$ در نظر گرفته شده که از جداول مربوطه قابل برداشت است (Volkwein, 2014). مقادیر Z_1 از روی پروفیل‌های برداشت شده در شکل (۱۶) استفاده شده و مقطع کانال مستطیلی در نظر گرفته شده‌است. میزان عمق جریان در تمامی مراحل یکسان است زیرا جریان واریزه‌ای عبور داده شده در هر مرحله ثابت بوده‌است. مقادیر فشار به‌دست آمده برای جریان واریزه‌ای در فلوم آزمایشگاهی می‌تواند درک مناسبی از میزان فشار وارده در واقعیت را فراهم نماید.

بحث

در این مطالعه رفتار مانع شبکه‌ای جریان واریزه‌ای به‌عنوان سازه

جدول ۲- داده‌های برداشت شده از آزمایشگاه مانع شبکه‌ای جریان واریزه‌ای

عرض پایین کانال	۰/۴	m
عرض بالای کانال	۰/۴	m
بیشترین ارتفاع مانع	۰/۴	m
چگالی جریان واریزه‌ای	۲/۲	ton/m ³
سرعت جریان واریزه‌ای	۲	m/s
مساحت سطح مقطع جریان	۰/۱۶	m ²
ضریب فشار	۲	
ضریب فشار زمین	۱	
فشار دینامیک	۱۷/۶	kN/m ²
ضریب ایمنی	۱/۳	
ثابت گرانش	۹/۸۰۶	m/s ²



جدول ۳- فشارهای محاسبه شده برای مانع شبکه‌ای در آزمایشگاه

سطح واریزه‌ها	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	=سرریز شدن جریان
Z_1	۰	۰/۰۶	۰/۰۹۵	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲	۰/۳	۰/۴	m
Relevant width Z_1	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	m
Flow height	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	m
$Z_2=Z_1+h(n)$	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۲۵	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۳۳	۰/۴۳	m
$P_{(d2)}$	۲۲/۸۸	۲۲/۸۸	۲۲/۸۸	۲۲/۸۸	۲۲/۸۸	۲۲/۸۸	۲۲/۸۸	۲۲/۸۸	۲۲/۸۸	۲۲/۸۸	kN/m ²
$P_{(d1)}$		۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	kN/m ²
$P_{(s2)}$	۲۲/۸۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	kN/m ²
$P_{(s1)}$	۰/۸۴	۲/۵۲	۳/۵۱	۴/۴۹	۴/۷۷	۵/۰۵	۵/۳۳	۶/۴۵	۹/۲۵	۱۲/۰۶	kN/m ²

- barriers. Geotechnical Engineering Office, Hong Kong. No. 333.
- Segalini, A., Giani, G. P., and Ferrero, A. M. 2008. Analisi dell'efficienza di barriere di protezione contro la caduta massi e le colate di detrito, Rendiconti online Soc. Geol. It., 2, 1-3.
- Volkwein, A. 2014. Flexible debris flow barriers: Design and application. Issue 18. WSL Berichte.
- Volkwein, A. 2004. Numerische Simulation von flexiblen Steinschlagschutzsystemen. Doctoral Thesis. ETH Zurich Research Collection.
- Volkwein, A., Wendeler, C., and Guasti, G. 2011. Design of flexible debris flow barrier. 5th International Conference on debris flow Hazard Mitigation, Prediction and Assessment: 1093- 1100.
- Wendeler, C., Volkwein, A., Roth, A., Denk, M., and Wartmann, S. 2007. Field measurements and numerical modeling of flexible debris flow barriers. In Proceedings of Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Davos, Switzerland.
- Wendeler, C., Volkwein, A., Roth, A., Herzog, B., Hahlen, N., and Wenger, M. 2008. Protection against debris flows by installation of 13 flexible barriers in the Milibach River (Canton Berne, Switzerland). Interpraevent. Conference Proceedings. Vol. 1: 547- 554.
- ارزیابی فشارهای وارده به مانع در جریان واریزه‌ای از طریق روابط ارائه شده توسط وندلر (Wendeler et al., 2008) انجام شد، میزان مقاومت مانع را در برابر نیروهای وارده بررسی خواهد کرد. این روش بهترین کارایی را نسبت به سایر روش‌ها مانند روش انرژی ارائه شده توسط کوان و چننگ (Kwan & Chenug, 2012) داشته‌است. تعیین فشارهای وارده بر مانع وضعیت واقعی مانع را به-خوبی نشان می‌دهد.

منابع

- 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.
- Huo, M., Zhou, J., Yang, X., and Zhou, H. 2017. Effect of a flexible net barrier on the dynamic behaviors and interception of debris flows in mountainous areas. Journal of mathematics science. Vol. 14, No. 10: 1903- 1918.
- Koo, R. C. H., Kwan, J. S. H., Ng, C. W. W., Lam, C., Choei, C. E., Song, D., and Pun, W. K. 2016. Velocity attenuation of debris flows and a new momentum-based load model for rigid barriers. Journal of Landslides. Vol. 14(2): 617- 629.
- Kwan, J. S. H., and Koo, R. C. H. 2018. Enhanced technical guidelines for design of debris-resisting

علائم اختصاری

B_f	عرض فلوم	ρ	جرم مخصوص آب
S_f	شیب کف فلوم	μ	ویسکوزیته دینامیکی
W_s	وزن غوطه‌وری واریزه	h	عمق جریان
C	غلظت واریزه	V	سرعت جریان
φ_s	زاویه ایستایی واریزه‌ها	g	شتاب گرانش
B_b	عرض مانع	ρ_s	جرم مخصوص ذره
D_h	اندازه روزنه مانع	D_{50}	قطر مشخصه ذره
H	ارتفاع مانع	V_d	حجم انباشت
P	فشار وارد بر مانع	H_s	ارتفاع رسوب انباشته شده
		L_s	طول دامنه تجمع واریزه‌ها

Laboratory Study Related to Performance Increment of Flexible Network Barrier against Debris flow

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

Received: Oct.07, 2018

Accepted: Des.25, 2018

Abstract

Flexible debris flow barrier is defined as a type of risk reduction structure against debris flow, which is more economical than concrete barriers. The mentioned barrier has been successfully applied to decrease or even stop the debris flow volume without downstream damage. Performance of the barrier in order to control the full gravel debris flow were examined in a laboratory flume. Then, specific parameters were listed and based on dimensional analysis, behavior of this structure against full gravel debris flow has been programmed, identified and tested using dimensionless criteria. The results of the experiments indicated acceptable performance of network barrier with different opening and geometry against various flow concentrations and debris flow velocities. Moreover, the results showed that the flume slope is a criterion for expressing the flow velocity, and tracks type on the barrier are the most effective factors on the barrier performance. An increase of 25 percent in the accumulated debris height parameter has been occurred with a change of 2 degrees in the flume slope. Decreases equal to 7 and 12.5 percent in the length range parameter of the debris accumulation upstream of the barrier have been observed by the experiments with a change in position of the vertical tracks embedded on the barrier. Moreover, pressures on the barrier are calculated in each flow, which can be actually effective in designing the correct barrier.

Keywords: Kinetic energy absorption, debris flow, Control efficiency, Dynamic behavior

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

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