نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۰، شماره ۲، ۱۳۹۷، صفحات ۱۷۱-۱۸۱

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 10, Issue 2, 2018, Pages 171-181
DOI: 10.22092/ijwmse.2018.107495.1190

بررسی آزمایشگاهی تاثیر ساختار هندسی پل‌ها بر احتمال انسداد آن‌ها به‌وسیله الوارهای چوبی شناور در جریان

محمد رستمی[*1]، نیما روحانی[2] و حمیدرضا شیبانی[3]

[1]استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، [2]دانشجوی دکترای مهندسی عمران-آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه قم و [3] استادیار گروه عمران، دانشگاه پیام نور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۱

چکیده

ورود تنه درختان به رودخانه‌ها و انتقال آن‌ها به پایین‌دست در مواقع سیلابی باعث تجمع و انسداد دهانه پل‌ها و در نتیجه کاهش ظرفیت عبور سیلاب می‌شود. کاهش ظرفیت عبور سازه‌های تقاطعی شرایط را برای ورود سیلاب به اراضی حاشیه رودخانه فراهم می‌کند. از آنجا که بررسی چنین مکانیزمی در طبیعت و زمان وقوع سیلاب بسیار مشکل است، بنابراین، ضرورت دارد تا حرکت تنه درختان در طول مسیر رودخانه و تاثیر ساختار سازه‌های هیدرولیکی تقاطعی بر تله‌اندازی آن‌ها در نتیجه مطالعات آزمایشگاهی، مورد بررسی قرار گیرد. به همین منظور در این پژوهش، فرایند انسداد دهانه پل‌ها به‌وسیله الوار شناور به‌صورت آزمایشگاهی در یک کانال مستطیلی با قابلیت تغییر شیب بررسی شده است. آزمایش‌ها بر اساس تغییر طول الوار شناور، تغییر ساختار ظاهری تنه (صاف و یا با شاخه)، نحوه ورود الوار به کانال (به‌صورت تجمعی یا تک‌تک)، تغییر در تراز سطح جریان آب بالادست پل و همچنین، در شرایط وجود و عدم وجود پایه پل انجام پذیرفت. ورود هر حالت از الوار به داخل کانال ۱۰ بار تکرار و سپس احتمال گرفتگی دهانه پل در آن حالت محاسبه شد. نتایج نشان داد که زمانی که سطح آب بالادست پل، هم تراز سطح زیرین عرشه پل باشد، احتمال انسداد از ۱۳ درصد تا ۹۳ درصد برای حالت پل بدون پایه و از ۳۳ درصد تا ۱۰۰ درصد برای حالت پل با پایه تغییر می‌نماید. بررسی‌ها نشان داد، افزایش طول و تعداد الوار شناور روی آب، تغییر ساختار ظاهری تنه از صاف به شاخه دارشاخه، وجود پایه در پل و همچنین، افزایش تراز سطح آب بالادست پل نسبت به تراز سطح زیرین عرشه سبب افزایش احتمال انسداد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: احتمال انسداد، الوار شناور، تراز سطح جریان آب، سازه پل، مدل آزمایشگاهی

مقدمه

ورود الوارها شامل تنه اصلی، شاخه‌ها و ساقه‌های درختان به رودخانه‌ها و حمل آن‌ها در مواقع رخداد سیلاب‌های مخرب، نتیجه فرسایش حوضه، رانش زمین، وقوع بهمن و یا طوفان در سطح حوضه و فرسایش کناره‌های رودخانه می‌باشد. فعالیت انسانی، همانند برداشت چوب از سطح حوزه آبخیز و یا ذخیره‌سازی تنه درختان در حاشیه رودخانه نیز می‌تواند منجر به آسیب‌های جدی در زمان جاری شدن سیل به رودخانه و مناطق مجاور آن شود. به‌دلیل وجود سازه‌های تقاطعی در رودخانه‌ها و ایجاد

[*] مسئول مکاتبات: mrostami2001@yahoo.com

تنگ‌شدگی موضعی در بستر آن‌ها، شرایط را برای تله‌اندازی الوارها و در نتیجه کاهش ظرفیت انتقال ایمن سیلاب به‌وسیله این‌گونه سازه‌ها را تشدید می‌نماید. در چنین حالتی، پس‌زدگی جریان در بالادست سازه‌های تقاطعی و احتمال ورود سیلاب به اراضی حاشیه رودخانه افزایش می‌یابد. معمولا مبانی مشخصی برای طراحی سازه‌های تقاطعی با در نظر گرفتن احتمال انسداد آن‌ها به‌وسیله الوارها وجود ندارد. به همین دلیل، اغلب سازه‌های تقاطعی موجود در رودخانه مناطق کوهستانی با پوشش جنگلی با چنین مشکلی مواجه هستند.

حفاظت جنگل‌ها و مناطق دارای پوشش گیاهی به تنهایی نمی‌تواند موجب از بین رفتن خطرات سیلاب ناشی از انسداد سازه‌های تقاطعی در مناطق کوهستانی شود، بلکه بایستی در کنار اقدامات مدیریتی-حفاظتی در سطح حوزه آبخیز، تمهیدات پیشگیرانه لازم در صورت انتقال آن‌ها به داخل آبراهه-ها و سپس به سازه‌های تقاطعی اتخاذ شود. به‌عبارتی اقدامات حفاظتی-مدیریتی تنها به حفاظت از جنگل و بیومهندسی خاک محدود نشده، بلکه این اقدامات می‌بایست در زمان طراحی سازه‌های تقاطعی و همچنین، زمان بهره‌برداری از آن در راستای بهبود هیدرولیک جریان عبوری نیز صورت گیرد و این مستلزم درک بهتر فرایند حرکت و انتقال الوار در رودخانه در زمان وقوع سیلاب می‌باشد. شکل ۱ نمونه‌هایی از این تجمع الوار در بالادست پل را نشان می‌دهد.

عوامل مختلفی در انسداد دهانه پل‌ها نقش ایفا می‌نمایند که از آن جمله می‌توان به هندسه آبراهه، هندسه الوار، خصوصیات جریان، شکل و ساختار سازه تقاطعی اشاره نمود. بررسی‌ها نشان می‌دهد، حتی وجود یک مانع در جریان آبراهه، باعث انسداد سازه‌ها و تغییر هیدرولیک جریان می‌شود. این انسداد می‌تواند باعث بالا آمدن سطح جریان شود. بنابراین، این امکان وجود دارد که دشت سیلابی در خطر بیشتری قرار گیرد. علاوه بر این، جابه‌جایی یا شکست ناگهانی الوار گرفتار در پل ممکن است باعث ایجاد موج سیلابی در پایین‌دست رودخانه شود (Mazzorana و همکاران ۲۰۱۱؛ Rudolf-Miklau و Hübl، ۲۰۱۱؛ Lange و Bezola، ۲۰۰۶).

شکل ۱- نمونه‌هایی از تجمع الوار و انسداد دهانه پل

طی بررسی‌های به‌عمل آمده، پژوهش‌های برخی از محققین مثل Sendlhofer (۲۰۱۰) و Schmocker و Hager (۲۰۱۱) پیشرفت‌های واقعی در این زمینه را نشان می‌دهد. Sendlhofer (۲۰۱۰) یک پل در دره اتز واقع در شهر تیرول در کشور اتریش را مورد توجه قرار داده و خطرات ناشی از گرفتگی پل در این منطقه را بررسی کرده است. Schmocker و Hager (۲۰۱۱) آزمایش‌هایی در مدل مقیاس شده سیستماتیک پیرامون احتمال گرفتگی در اثر ورود شاخه‌ها و ساقه‌ها، در حالت منفرد، به داخل رودخانه انجام داده‌اند. بینش کیفی که می‌توان از این آثار استخراج کرد، عمدتاً به هندسه چوب‌ها و پل، ویژگی‌های الوار مانند چگالی و سفتی و شکل خمیدگی الوارها، تعداد الوار روی آب و شرایط هیدرولیکی بستگی دارد. مشاهده شد که الوار با قطر بدنه و شاخه‌های بزرگ احتمال گرفتگی بالایی دارند. همچنین، الوار با شاخه، احتمال گرفتگی بیشتری نسبت به الوار با تنه صاف دارند. علاوه بر این، در پل‌های با پایه، احتمال گرفتگی

نسبت به پل بدون بسیار قابل توجه می‌باشد. به‌علاوه، وجود یک عرشه در پل بدون سازه‌ای در زیر آن (پایه) احتمال گرفتگی پل را کمتر می‌کند. پل خرپایی و پل با ریل گارد احتمال گرفتگی بالاتری دارند. علاوه بر این، الوارهای با شاخه‌های کوچک‌تر با احتمال کمتر گرفتگی از الوارهای با شاخه‌های بزرگ‌تر بود.

Biancco و Riccioz در سال ۲۰۱۴، سازه بند نگهدارنده برای تله‌اندازی مواد جامد معلق همچون تنه درختان پیشنهاد کردند و با انجام آزمایشاتی، ضمن شناسایی پدیده گرفتگی در این سازه‌ها، مبانی طراحی هیدرولیکی برای آن‌ها ارائه دادند.

Moeller (۲۰۱۵) و بر اساس یک مدل آزمایشگاهی شرایط حذف تنه‌های درختان ورودی به محله Matteschwelle واقع در شهر برن آلمان در راستای کاهش خطرات سیلاب را بررسی نمودند. با استفاده از دیوار جداکننده موازی سرریز جانبی کانال انحراف سیلاب اقدام به انحراف تنه‌های درختان موجود در رودخانه از سمت سازه مذکور نمودند.

در ایران نیز سالانه سیلاب‌های متعددی به‌ویژه در مناطق کوهستانی که دارای پوشش گیاهی جنگلی هستند، رخ می‌دهد. از آنجا که معمولا در این مناطق سیلاب از دره‌ها که همان بستر رودخانه‌ها می‌باشد شروع می‌شود، می‌توان تشدید خطرات این سیلاب‌ها را در برخورد با سازه‌های هیدرولیکی تقاطعی از جمله پل‌ها، به وضوح در نقاط مختلف مانند دامنه‌های رشته کوه البرز و زاگرس مشاهده نمود. شکل ۲، نمونه‌ای از ورود الوار به مسیر رودخانه سیجان در حاشیه دامنه جنوبی البرز را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، ورود الوار شاخه‌دار و بدون شاخه به رودخانه و در مواجهه با پل سبب انسداد کلی مسیر جریان شده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که طراحی پل‌های موجود در این منطقه به‌صورت غیراصولی و بدون در نظر گرفتن شرایط ورود الوار به رودخانه بوده است. بنابراین، نیاز است تا بر اساس ورود الوار مختلف به رودخانه طراحی بهتری برای پل‌ها صورت گیرد. بر اساس بررسی‌های به‌عمل آمده، مطالعات گسترده‌ای بر روی ارزیابی انسداد دهانه پل‌ها به‌وسیله الوارها صورت نگرفته است. به همین منظور، تعیین احتمال گرفتگی دهانه پل‌ها و اثرات هیدرولیکی انسداد جریان در اثر الوار شناور روی آب، هدف اصلی مطالعه حاضر می‌باشد. در این مطالعه از خصوصیات هیدرولیکی رودخانه‌های کوهستانی و پل‌های موجود در آن‌ها استفاده شده و به‌منظور ارزیابی احتمال گرفتگی، پارامترهایی از قبیل شکل سازه تقاطعی، شکل و ابعاد الوار، شیب آبراهه و عمق جریان مورد ارزیابی قرار گرفته است.

شکل ۲- ورود الوار و درختان به داخل رودخانه سیجان واقع در منطف البرز در اثر وقوع سیل

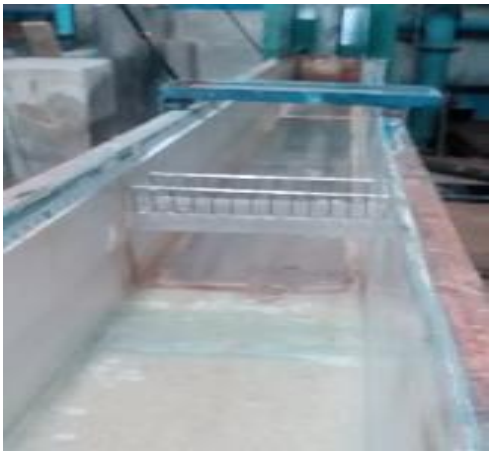
مواد و روش‌ها

مدل واقعی: مدل واقعی آزمایش حاضر بر اساس رودخانه‌های واقع در محدوده دامنه‌های رشته کوه البرز جنوبی است که معمولا هشت تا ۱۲ متر عرض دارند و درختان موجود در این منطقه نیز دارای طول‌هایی بین شش تا ۱۲ متر هستند. طول بازه‌ای از رودخانه‌های مناطق کوهستانی که به‌صورت مستقیم باشند نیز به‌دلیل شرایط توپوگرافی این مناطق معمولا خیلی زیاد نیست. همچنین، با توجه به بررسی‌های

انجام شده و مطالعه نقشه‌های مدل ارتفاعی در این مناطق می‌توان گفت که شیب میانگین این رودخانه‌ها نیز بین صفر تا ۰/۸ درصد می‌باشد. عمده پل‌های موجود در این مناطق دارای یک دهانه بدون پایه و یا یک پایه هستند. از مشخصات مذکور برای ساخت مدل آزمایشگاهی استفاده شده که در ادامه توضیحات لازم ارائه شده است.

مدل آزمایشگاهی: مدل مقیاس شده مناطق کوهستانی مورد مطالعه در کانالی شیب‌پذیر در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ساخته شده است. طول کلی کانال هشت متر است که از یک متر ابتدایی آن برای آرام کردن جریان و اتلاف انرژی و از هفت متر پس از آن برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. شیب کانال به‌صورت دستی و با جابه‌جایی انتهای کانال در جهت قائم قابل تغییر است. جنس بدنه و کف کانال شیشه‌ای با سطح صاف می‌باشد. تامین آب به‌وسیله مخزنی بزرگ در بالادست کانال با سطح آب ثابت و به کمک پمپ انجام شد. پس از عبور جریان از مدل، آب از طریق یک کانال برگشتی، به مخزن و پمپ‌های واقع در بالادست کانال باز می‌گردد. در پایین‌دست کانال آزمایشگاهی، یک کانال مستطیل شکل دیگری از جنس مصالح ساختمانی برای انتقال جریان به پشت سرریز مثلثی و سپس به مخزن ذخیره آب ساخته شده است. اندازه‌گیری دبی جریان با استفاده از یک پوینت گیج و یک سرریز مثلثی انجام می‌گیرد. کانال آزمایشگاهی دارای مقطع مستطیل شکل به عرض ۲۵/۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر است. بر اساس ابعاد و اندازه‌های مدل واقعی که شامل عرض رودخانه، شیب آن و ابعاد الوارهای مشاهده شده می‌شود، از مقیاس ۱:۴۰ می‌توان برای مدل‌سازی شرایط واقعی در آزمایشگاه استفاده شد.

سازه پل مورد آزمایش در قالب یک عرشه با نرده فلزی بر روی آن ساخته شده است. عرشه پل از جنس پلکسی گلاس به ضخامت سه سانتی‌متر، عرض ۱۰ سانتی‌متر و طولی برای برابر عرض کانال می‌باشد. این نرده‌های پل دارای چهار سانتی‌متر ارتفاع بوده و فاصله بین نرده‌های عمودی دو سانتی‌متر است. نرده‌ها از جنس فولاد به قطر سه میلی‌متر ساخته شده است. شکل ۳ نمای کلی کانال آزمایشگاهی و پل ساخته شده در آن را نشان می‌دهد.

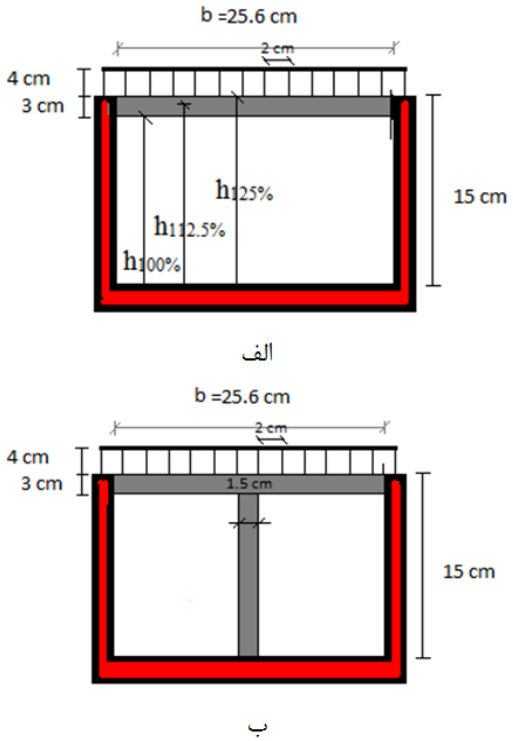


شکل ۳- نمایی از کانال آزمایشگاهی و سازه پل طراحی شده

مطابق شکل ۴، پل در دو ساختار بدون پایه و با پایه ساخته شد. در حالت پل پایه‌دار، پایه‌ای به ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر در وسط کانال قرار گرفته است، به‌طوری که مقطع کانال را به دو قسمت مساوی و به اندازه حدود ۱۲ سانتی‌متر تقسیم می‌کند. الوارهای استفاده شده برای آزمایش‌ها، میله‌های چوبی گرد معروف به چوب روسی می‌باشند که غالبا از درختان نراد و انواع کاج‌ها تهیه می‌شوند. چگالی این نوع از انواع چوب‌ها بین ۶۰۰ تا ۶۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. مطابق شکل ۵، چوب‌ها در دو دسته طبقه‌بندی شده‌اند. دسته اول دارای تنه‌های صاف و دسته دوم دارای تنه‌هایی با شاخه است. شاخه‌ها دارای قطری کوچک‌تر از تنه اصلی هستند و با چسب چوب در حفره‌های از پیش ایجاد شده در تنه اصلی الوار کار گذاشته شده‌اند. در هر تنه نه شاخه در سه قسمت و به‌صورت سه تایی قرار داده شده است. قطر تنه‌های اصلی همه الوارها یکسان و برابر ۱۵ میلی‌متر و قطر شاخه‌ها پنج میلی‌متر انتخاب شده است.

سه گزینه برای طول الوار در نظر گرفته شده است که بر اساس مقایسه با عرض کانال (b) تهیه شده است. در جدول ۱، مشخصات هندسی الوارهای مورد استفاده بیان شده است. همچنین، تصویر الوارهای منتخب برای انجام آزمایش‌ها در شکل ۵ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، الوار در سه طول

و دو طبقه از نظر شاخه‌دار بودن و بدون شاخه تقسیم‌بندی شده‌اند.



شکل ۴- ابعاد کانال و پل در حالت، الف) بدون پایه و ب) با پایه

آزمایش‌ها در سه شیب مختلف کانال ۰/۰۰، ۰/۳۸ و ۰/۸۰ درصد انجام گرفت. در نتیجه اعمال شیب‌های مذکور دو حالت برای جریان زیر بحرانی با اعداد فرود ۰/۵ و ۰/۸ و یک حالت برای جریان فوق بحرانی با عدد فرود ۱/۲ شکل گرفت. برای هر عدد فرود سه تراز سطح آب مورد آزمایش قرارگرفت. تراز ۱۰۰ درصد یا h_{100} معرف تراز سطح زیرین عرشه پل، تراز ۱۱۲/۵ درصد یا $h_{112/5}$ معرف تراز بخش میانی ضخامت عرشه پل و تراز ۱۲۵ درصد یا h_{125} معرف تراز سطح بالایی عرشه پل بودند.

جدول ۱- هندسه الوار استفاده شده در مدل (با شاخه و بدون شاخه)

قطر الوار D (cm)	طول الوار L_d (cm)	نسبت طول الوار به عرض کانال L_d/b
۱/۵	۳۰/۷	۱/۲
۱/۵	۲۵/۶	۱
۱/۵	۲۰/۵	۰/۸

شکل ۵- الوار استفاده شده در مدل آزمایشگاهی و تفکیک آن‌ها از نظر ابعاد و شاخه‌دار و بدون شاخه بودن

علاوه بر این، تعداد الوار ورودی به کانال در سه نوع مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. نوع اول، الوار به‌صورت تکی و به موازات محور کانال آزمایش در داخل جریان قرار داده شد. در حالت دوم، سه الوار و در حالت سوم، پنج الوار به‌صورت یک‌جا در داخل جریان قرار داده شد تا به سمت پل حرکت نمایند. لازم به توضیح است که در کلیه آزمایش‌ها محل رهاسازی الوارها در فاصله دو متری از محور پل قرار دارد و برای جلوگیری از تشکیل ناگهانی امواج، الوارها به آرامی در داخل جریان کانال قرار گرفتند. شکل ۶، نحوه رهاسازی الوارها در بالادست پل را نشان می‌دهد. شرایط فوق برای الوارهای با شاخه نیز تکرار شد. با تغییر سازه پل از حالت بدون پایه به حالت با پایه، تمامی آزمایش‌های قبلی تکرار شد.

لازم به توضیح است، برای تعیین احتمال انسداد پل با هر نوع از الوارهای مورد آزمایش، نیاز است هر آزمایش چندین مرتبه تکرار و بر اساس تعداد گرفتگی صورت گرفته نسبت به کل تکرار، درصد احتمال انسداد سازه تقاطعی در آن مرحله از آزمایش مشخص شود. برای این منظور هر آزمایش ۱۰ مرتبه تکرار شد. احتمال صفر درصد بیانگر عدم انسداد پل با الوار مورد آزمایش در همه ۱۰ تکرار و احتمال ۱۰۰ درصد بیانگر انسداد پل با الوار مورد آزمایش در همه ۱۰ تکرار می‌باشد. رویداد گرفتگی زمانی محسوب می‌شود که دست‌کم یکی از الوار رها شده برای مدت زمان بیش از ۳۰ ثانیه در محل پل توقف داشته باشد. جدول ۲، مشخصات شرایط آزمایش‌های برنامه‌ریزی شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

شکل ۷، نمونه‌ای از آزمایش‌های انجام شده و انسداد دهانه پل با پایه در شرایط ورود الوارهای بدون شاخه (شکل ۷- الف) و با شاخه (شکل ۷- ب) را نشان می‌دهد.

شکل ۶– رهاسازی الوار در بالادست پل

الف

ب

شکل ۷- نمونه‌هایی از انسداد پل با پایه به‌وسیله الوار، الف) بدون شاخه و ب) با شاخه

جدول ۲- مشخصات آزمایش‌های انجام شده

سری	پارامتر موثر	تعداد	توضیحات
	حالت پل بدون پایه		
الف	شرایط هیدرولیکی	۳	سه شیب مختلف
		۳	سه تراز مختلف h_{100}، $h_{112.5}$ و h_{125}
	انواع الوار	۲	شاخه‌دار و بدون شاخه
		۳	طول الوار (L_d)
	شکل ورود الوار	۳	ورود به‌صورت تکی، سه‌تایی و پنج‌تایی
	تعداد تکرار	۱۰	تعداد تکرار برای هر آزمایش
	مجموع	۱۶۲۰	
	حالت پل با پایه		
ب	همانند حالت پل با پایه	همانند حالت پل با پایه	تکرار سری الف با وجود پایه پل
	مجموع	۱۶۲۰	

نتایج و بحث

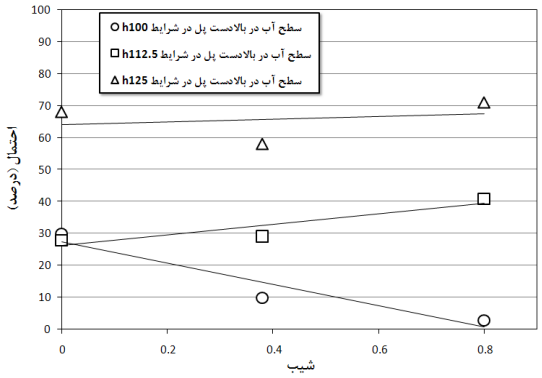
نتایج آزمایش الوارهای بدون شاخه: در این قسمت ابتدا نتایج احتمال گرفتگی سازه پل بدون پایه حاصل از رهاسازی الوارهای مورد آزمایش به‌صورت تک برای شیب‌ها و رقوم‌های مختلف سطح آب در بالادست پل بررسی شده است. شکل ۸، احتمال انسداد و گرفتگی سازه پل در شیب‌های مختلف کانال و همچنین، رقوم‌های مختلف سطح آب در شرایط ورود یک الوار بدون شاخه را نشان می‌دهد. هر نقطه از نتایج نشان داده شده در شکل مذکور بیانگر میانگین احتمالات اسناد تمامی الوارهای بدون شاخه می‌باشد. به‌عبارتی هر نقطه بیانگر میانگین ۳۰ آزمایش می‌باشد. مطابق شکل مذکور، کمینه احتمال انسداد مربوط به شرایطی است که تراز سطح آب هم تراز

سطح زیرین پل و شیب کانال ۰/۸ درصد باشد. احتمال گرفتگی به‌دست آمده سه درصد می‌باشد که بیانگر مسدود شدن دهانه پل در یک مرحله از ۳۰ آزمایش بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد، در زمانی که رقوم سطح آب جریان هم‌تراز سطح زیرین پل باشد، با افزایش شیب از صفر به ۰/۸ درصد، احتمال انسداد از ۳۰ درصد به دو درصد کاهش می‌یابد. با افزایش شیب، سرعت و تلاطم جریان بیشتر شده و الوار به راحتی از زیر پل عبور می‌نماید. با افزایش عمق آب در بالادست پل و همچنین افزایش شیب بستر، احتمال گرفتگی پل به‌وسیله تک الوار افزایش یافته است. بیشترین احتمال گرفتگی با مقدار حدود ۷۰ درصد مربوط به زمانی است که شیب کانال ۰/۸ درصد و رقوم سطح آب در تراز بالای عرشه پل باشد. زمانی که عمق آب در بالادست پل ۱۲/۵ درصد نسبت به ارتفاع دهانه پل افزایش یابد، احتمال گرفتگی در شیب‌های مورد بررسی از ۳۰ به ۴۱ درصد افزایش می‌یابد. زمانی که عمق آب در بالادست پل ۲۵ درصد نسبت به ارتفاع دهانه پل افزایش یابد، احتمال گرفتگی در شیب‌های مورد بررسی از ۷۹ به ۸۷ درصد تغییر می‌نماید.

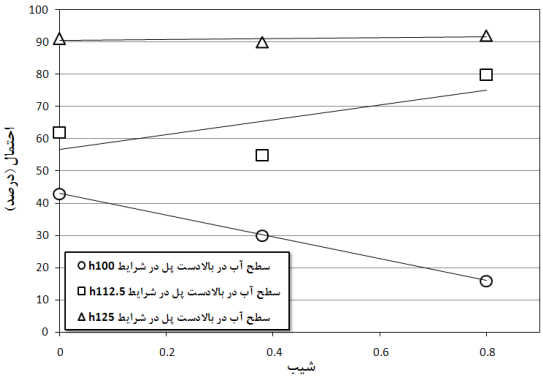
شکل ۹، احتمال انسداد و گرفتگی سازه پل در شیب‌های مختلف کانال و همچنین، رقوم‌های مختلف سطح آب در شرایط ورود پنج الوار بدون شاخه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش تعداد الوارهای ورودی به جریان کانال از یک الوار به پنج الوار در یک زمان، احتمال گرفتگی در شیب صفر حدود چهار برابر نسبت به حالتی که تک الوار رها شده، افزایش یافته است. در شیب ۰/۳۸ درصد حدود دو برابر و در شیب ۰/۸ درصد حدود ۱/۵ برابر احتمال گرفتگی نسبت به شرایط ورود تک الوار افزایش یافته است. کمینه میزان گرفتگی در این حالت حدود ۱۶ درصد مربوط به شیب ۰/۸ درصد و تراز سطح آب برابر تراز سطح زیرین پل و بیشینه میزان گرفتگی حدود ۹۲ درصد مربوط به شیب ۰/۸ درصد و تراز سطح آب برابر تراز بالای عرشه پل می‌باشد.

مقایسه نتایج حاصل در این مرحله از انجام آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در شیب صفر، متوسط احتمال گرفتگی پل با تک الوار حدود ۴۲ درصد و با پنج الوار حدود ۶۵ درصد است. در شیب ۰/۳۸ درصد، متوسط احتمال گرفتگی پل با تک الوار حدود ۳۲ درصد و با پنج الوار حدود ۶۲ درصد و در شیب ۰/۸ درصد، به‌وسیله احتمال گرفتگی پل با تک الوار حدود ۳۸ درصد و با پنج الوار حدود ۵۵ درصد می‌باشد.

همان‌طور که ملاحظه شد، افزایش شیب کانال موجب کاهش مقدار متوسط احتمال گرفتگی سازه پل بدون پایه در شرایط مواجه با تک الوار و یا یک دسته پنج‌تایی از الوارهای بدون شاخه شده است.



شکل ۸- مقایسه احتمال انسداد پل در شرایط ورود یک الوار بدون شاخه در شیب‌ها و عمق جریان‌های مختلف



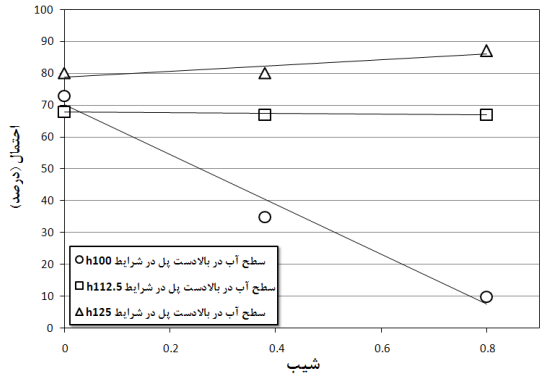
شکل ۹- مقایسه احتمال انسداد پل در شرایط ورود پنج الوار بدون شاخه در شیب‌ها و عمق جریان‌های مختلف

نتایج آزمایش الوارهای با شاخه: در این قسمت نتایج احتمال گرفتگی سازه پل بدون پایه حاصل از رهاسازی الوار شاخه‌دار مورد آزمایش به‌صورت تک در شیب‌ها و رقوم‌های مختلف سطح آب در بالادست پل بررسی شده است. شکل ۱۰، احتمال انسداد و گرفتگی سازه پل در شیب‌های مختلف کانال و همچنین، رقوم‌های مختلف سطح آب را نشان می‌دهد. مطابق

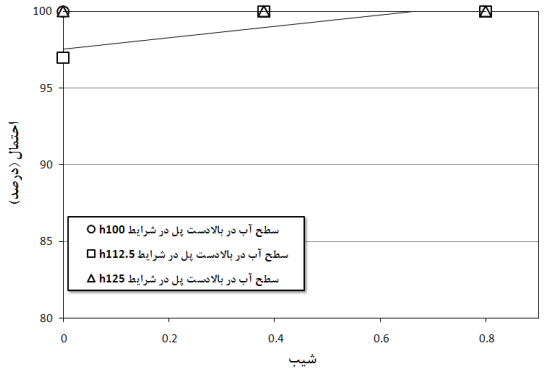
شکل مذکور، در این آزمایش‌ها نیز کمینه احتمال انسداد مربوط به شرایطی است که تراز سطح آب هم تراز سطح زیرین پل و شیب کانال ۰/۸ درصد باشد. احتمال گرفتگی به‌دست آمده ۱۰ درصد می‌باشد که بیانگر مسدود شدن دهانه پل در سه مرحله از ۳۰ آزمایش بوده است. به‌عبارتی در شرایطی که رقوم سطح آب در بالادست پل هم‌تراز سطح زیرین پل باشد، میزان گرفتگی پل در نتیجه الوار با شاخه بیش از سه برابر الوار بدون شاخه است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در زمانی که تراز سطح آب جریان هم‌تراز سطح زیرین پل باشد، با افزایش شیب از صفر درصد به ۰/۸ درصد، احتمال انسداد از ۶۷ درصد به ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. به‌عبارتی در این حالت نیز با افزایش شیب، سرعت و تلاطم جریان بیشتر شده و الوار شاخه‌دار به راحتی از زیر پل عبور می‌نماید. با افزایش عمق آب در بالادست پل و همچنین، افزایش شیب بستر، احتمال گرفتگی پل به‌وسیله تک الوار شاخه‌دار افزایش یافته است. بیشترین احتمال گرفتگی با مقدار حدود ۸۷ درصد مربوط به زمانی است که شیب کانال ۰/۸ درصد باشد. زمانی که عمق آب در بالادست پل ۱۲/۵ درصد نسبت به ارتفاع دهانه پل افزایش یابد، احتمال گرفتگی در کلیه شیب‌های مورد بررسی یکسان و حدود ۶۷ درصد است که نسبت به حالت الوار بدون شاخه دست‌کم ۲۶ درصد افزایش یافته است. زمانی که عمق آب در بالادست پل ۲۵ درصد نسبت به ارتفاع دهانه پل افزایش یابد، احتمال گرفتگی در شیب‌های مورد بررسی از ۷۹ درصد به ۸۷ درصد تغییر می‌نماید که نسبت به حالت الوار بدون شاخه دست‌کم ۱۱ درصد و در حد بالا ۲۲ درصد افزایش یافته است.

شکل ۱۱، احتمال انسداد و گرفتگی سازه پل در شیب‌های مختلف کانال و همچنین، رقوم‌های مختلف سطح آب در شرایط ورود پنج الوار با شاخه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش تعداد الوارهای ورودی به جریان کانال از یک الوار شاخه‌دار به پنج الوار شاخه‌دار در یک زمان، احتمال گرفتگی در کلیه شیب‌های مورد آزمایش به شدت افزایش می‌یابد و مقدار آن برای عمق‌های مختلف جریان بین ۹۷ درصد تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌نماید. به‌عبارتی، احتمال ۹۷ درصد بیانگر عبور الوارهای شاخه‌دار از زیر پل تنها در یک مورد از ۳۰ مورد آزمایش می‌باشد و در بیشتر آزمایش‌ها، الوارهای شاخه‌دار در بالادست پل موجب مسدود شدن دهانه آن شده‌اند.



شکل ۱۰- مقایسه احتمال انسداد پل در شرایط ورود یک الوار با شاخه در شیب‌ها و عمق جریان‌های مختلف



شکل ۱۱- مقایسه احتمال انسداد پل در شرایط ورود پنج الوار با شاخه در شیب‌ها و عمق جریان‌های مختلف

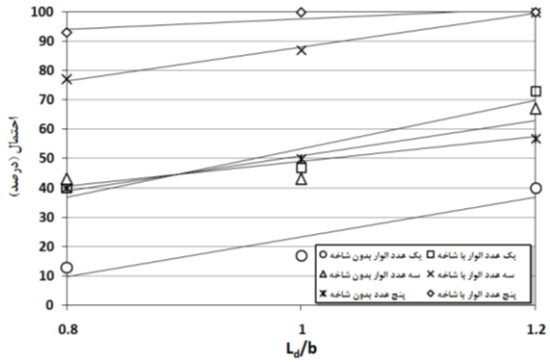
مقایسه نتایج حاصل در این مرحله از انجام آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در شیب صفر، مبه‌وسیله احتمال گرفتگی پل با تک الوار حدود ۷۴ درصد و با پنج الوار حدود ۹۹ درصد است. در شیب ۰/۳۸ درصد، مبه‌وسیله احتمال گرفتگی پل با تک الوار حدود ۱۰۰ درصد و با پنج الوار حدود ۶۲ درصد و در شیب ۰/۸ درصد، مبه‌وسیله احتمال گرفتگی پل با تک الوار حدود ۵۵ درصد و با پنج الوار حدود ۱۰۰ درصد می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه شد، افزایش شیب کانال موجب کاهش مقدار متوسط احتمال گرفتگی سازه پل بدون در شرایط مواجه با تک الوار با شاخه شده است. در مقابل، ورود دسته الوارها به داخل کانال و شاخه‌دار

بودن آن‌ها موجب افزایش شدید احتمال گرفتگی دهانه پل شده است.

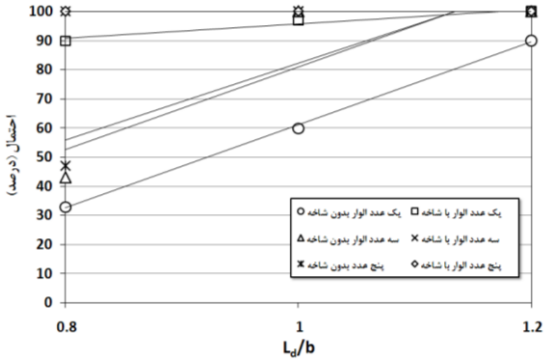
نتایج آزمایش تاثیر پایه پل: در این قسمت، نتایج احتمال گرفتگی سازه پل بدون پایه حاصل از رهاسازی کلیه الوارهای مورد آزمایش به‌صورت بدون شاخه و شاخه‌دار) در شیب‌ها و رقوم‌های مختلف سطح آب در بالادست پل و همچنین، در حالت‌های مختلف ورود به جریان (تک، سه‌تایی و یا پنج‌تایی) در مقایسه با پل پایه‌دار بررسی شده است. در این قسمت نسبت طول شاخه به عرض کانال (L_d/b) با احتمال گرفتگی دهانه پل در یک نمودار مقایسه شده است.

شکل ۱۲، احتمال انسداد و گرفتگی سازه پل در L_d/bهای مختلف و همچنین، حالات مختلف ورود الوارها به داخل جریان را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش نسبت L_d/b احتمال گرفتگی دهانه پل از کمینه ۱۰ درصد تا بیشینه ۱۰۰ درصد تغییر نموده است. در این نمودار سه ناحیه شکل گرفته است. ناحیه اول که در آن احتمال گرفتگی بین ۱۰ تا ۴۰ درصد است، مربوط به آزمایش تک الوار با نسبت‌های مختلف L_d/b است. ناحیه دوم که در آن احتمال گرفتگی بین ۴۰ تا حدود ۷۰ درصد است مربوط به آزمایش‌های تک الوار شاخه‌دار، سه الوار و پنج الوار بدون شاخه می‌باشد. به‌عبارتی شاخه‌دار شدن تک الوار و یا ورود بیش از یک الوار بدون شاخه موجب افزایش مبه‌وسیله حدود سه برابری احتمال گرفتگی شده است. ناحیه سوم که در آن احتمال گرفتگی از ۸۰ تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌نماید، مربوط به آزمایش ورود بیش از یک الوار با شاخه به داخل کانال می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در نسبت L_d/b برابر ۰/۸، احتمال گرفتگی کلیه حالت‌های مختلف الوارها از نظر شکل و نحوه ورود به داخل جریان بین ۱۰ تا ۹۳ درصد، در نسبت L_d/b برابر یک، بین ۱۷ تا ۱۰۰ درصد و در نسبت L_d/b برابر ۱/۲، بین ۴۰ تا ۱۰۰ درصد احتمال گرفتگی دهانه پل با پایه وجود دارد. به‌طور متوسط احتمال گرفتگی کلیه حالات مورد آزمایش در شرایط پل بدون پایه حدود ۶۰ درصد می‌باشد.

شکل ۱۳، احتمال انسداد و گرفتگی سازه پل با پایه در L_d/bهای مختلف و همچنین، حالات مختلف ورود الوارها به داخل جریان را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش نسبت L_d/b احتمال گرفتگی دهانه پل از کمینه ۳۳ درصد تا بیشینه ۹۰ درصد تغییر نموده است.



شکل ۱۲- مقایسه احتمال انسداد پل بدون پایه به‌وسیله الوار با هندسه‌های گوناگون و در شرایط مختلف حالت ورود به داخل جریان



شکل ۱۳- مقایسه احتمال انسداد پل با پایه به‌وسیله الوار با هندسه‌های گوناگون و در شرایط مختلف حالت ورود به داخل جریان

در این نمودار دو ناحیه شکل گرفته است. ناحیه اول که در آن احتمال گرفتگی بین ۳۳ تا ۱۰۰ درصد می‌باشد، مربوط به آزمایش‌های تک الوار بدون شاخه و با شاخه و همچنین، سه الوار و پنج الوار بدون شاخه با نسبت‌های مختلف L_d/b است. ناحیه سوم که در آن احتمال گرفتگی از ۹۰ تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌نماید مربوط به آزمایش ورود بیش از یک الوار با شاخه به داخل کانال می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در نسبت L_d/b برابر ۰/۸، احتمال گرفتگی کلیه حالت‌های مختلف الوارها از نظر شکل و نحوه ورود به داخل جریان بین ۳۳ تا ۱۰۰ درصد، در نسبت L_d/b برابر یک، بین ۶۰ تا ۱۰۰ درصد و در نسبت L_d/b برابر

۱/۲، بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد احتمال گرفتگی دهانه پل با پایه وجود دارد. به‌طور متوسط احتمال گرفتگی کلیه حالات مورد آزمایش در شرایط پل بدون پایه حدود ۸۰ درصد می‌باشد. به‌عبارتی با پایه‌دار شدن پل، احتمال گرفتگی پل حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه پارامترهای موثر در گرفتگی پل که شامل ساختار هندسی پل (با پایه و یا بدون پایه)، شیب کانال، رقوم سطح آب در مقطع بالادست پل، هندسه الوار شناور (طول الوار و شاخه‌دار بودن آن‌ها) و تعداد الوار ورودی به کانال (یک قطعه، سه قطعه و یا پنج قطعه) هستند، مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی نتایج آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق نشان داد که کمترین احتمال گرفتگی زمانی حادث شده است که پل بدون پایه، رقوم سطح آب در مقطع بالادست پل برابر با رقوم سطح زیر پل (h_{100})، شیب کانال ۰/۸ درصد، الوار بدون شاخه و وارد شدن به داخل جریان به‌صورت تکی بوده است. در این شرایط متوسط احتمال گرفتگی حدود سه درصد تعیین شده است. بیشترین احتمال گرفتگی نیز زمانی حادث شده است که پل با پایه، رقوم سطح آب در مقطع بالادست پل برابر با رقوم سطح بالای پل (h_{125})، کلیه شیب طولی مورد آزمایش، الوار با شاخه و وارد شدن به داخل جریان به‌صورت پنج‌تایی بوده است. در این شرایط متوسط احتمال گرفتگی ۱۰۰ درصد تعیین شده است. بررسی کلی حاصل از انجام کلیه آزمایش‌های برنامه‌ریزی شده در این تحقیق نشان داد که احتمال انسداد سازه پل در شرایط وجود الوارهای با طولی برابر با عرض پل و یا بزرگ‌تر، شاخه‌دار بودن الوارها، افزایش عمق جریان در بالادست پل به بیش از ارتفاع پل، افزایش شیب کانال در شرایطی که عرشه پل را کاملا آب فراگرفته باشد و پایه‌دار شدن پل افزایش می‌یابد. هندسه الوار (وجود و عدم وجود شاخه)، نحوه ورود به جریان (تکی و یا گروهی) و همچنین هندسه پل (وجود و عدم وجود پایه میانی) موثرترین پارامترها در افزایش احتمال انسداد سازه تقاطعی مورد مطالعه معرفی می‌شوند.

نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش شیب کانال تنها در شرایطی که رقوم سطح آب در مقطع بالادست پل برابر با رقوم سطح زیرین عرشه باشد، موجب کاهش احتمال انسداد سازه تقاطعی می‌شود. در مابقی شرایط، افزایش شیب موجب افزایش احتمال انسداد پل می‌شود. علت احتمالی این پدیده را می‌توان افزایش نیروی درگ جریان بر الوارها در نتیجه افزایش شیب عنوان نمود که در حالت برابری عمق آب در بالادست پل با ارتفاع دهانه پل شرایط برای انتقال بهتر و بدون وقفه الوارها وجود دارد. با افزایش عمق جریان در بالادست پل و تا حد بالای عرشه، الوارها با نیروی بیشتر به عرشه برخورد می‌نمایند و آشفتگی و درهم ریختگی زیادی در الوارها به‌وجود می‌آید که در نتیجه درگیر شده با مقطع پل و یا با یکدیگر، شرایط برای عبور آن‌ها سخت‌تر شده و همین مسئله موجب افزایش احتمال گرفتگی سازه پل می‌شود.

در جدول ۳، نمونه‌ای از نتایج آزمایشگاهی احتمال انسداد پل در وضعیت ورود همزمان پنج قطعه الوار در شرایط مختلف آزمایش ارائه شده است. در هر آزمون تنها تعداد الواری که باعث انسداد در پل می‌شود، در نظر گرفته شد و در جدول بر اساس نسبت طول الوار ورودی به عرض مقطع کانال یا سازه پل، آمده است. با توجه به نتایج، می‌توان تفاوت قابل توجهی بین تعداد الوار بدون شاخه که باعث انسداد شده‌اند و الوار شاخه‌داری که ایجاد کننده انسداد بودند مشاهده کرد. به‌عنوان معیاری کمی می‌توان بیان کرد که میانگین درصد الوار بدون شاخه که باعث انسداد شدند تقریبا ۵۱ درصد می‌باشد، این در حالی است که این مقدار برای الوار شاخه‌دار ۹۶ درصد بوده است. دلیل اصلی افزایش احتمال انسداد را می‌توان به نقش موثر شاخه‌ها در درگیر شدن شاخه‌ها با یکدیگر و حرکت توده‌ای به سمت پل اشاره نمود. در حالت بدون شاخه امکان جدا شدن الوارها پس از ورود به جریان وجود داشت که همین مسئله موجب کاهش احتمال انسداد می‌شود. همچنین، در مورد وجود یا عدم وجود پایه پل می‌توان گفت که احتمال انسداد با وجود پایه پل بیشتر از حالت عدم وجود پایه پل است. مطابق نتایج به‌دست آمده، میانگین احتمال انسداد سازه پل با پایه میانی حدود ۸۵ درصد و در حالت بدون پایه حدود

۵۵ درصد می‌باشد. به‌عبارتی به‌طور مبه‌وسیله پایه پل موجب افزایش ۳۰ درصدی احتمال انسداد این سازه تقاطعی شده است.

بنابراین، لازم است در طراحی سازه‌های تقاطعی پل بر روی رودخانه‌های مناطقی کوهستانی دارای پوشش گیاهی جنگلی توجه ویژهای به‌عمل آید. می‌بایست نقش ورود تنه درختان به داخل رودخانه و مواجهه آن‌ها با سازه تقاطعی در تعیین ابعاد این سازه تقاطعی لحاظ کرد و به گونه‌ای طراحی صورت گیرد که در مواقع سیلابی احتمال انسداد به کمینه برسد. تغییر در شکل عرشه و شکل پایه (آیرودینامیک نمودن آن‌ها) می‌تواند یکی از راه‌کارهای پیشنهادی در راستای کاهش احتمال انسداد سازه پل باشد.

جدول ۳- خلاصه نتایج آزمایشگاهی احتمال انسداد پل در وضعیت ورود همزمان پنج قطعه الوار در شرایط مختلف آزمایش

L_d/b / وضعیت آزمایش	۰/۸	۱	۱/۲
الوار بدون شاخه و پل بدون پایه	٪۱۵	٪۳۷	٪۴۵
الوار بدون شاخه و پل با پایه	٪۲۳	٪۹۱	٪۹۹
الوار با شاخه و پل بدون پایه	٪۸۵	٪۹۳	٪۱۰۰
الوار با شاخه و پل با پایه	٪۹۹	٪۱۰۰	٪۱۰۰

منابع مورد استفاده

1. Bianco, M. and P. Riccioz. 2014. Design of a bed load and driftwood filtering dam, analysis of the phenomena and hydraulic design. Switzerland, Swiss Competences in River Engineering and Restoration–Schleiss, Speerli and Pfammatter 2014 Taylor and Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02676-6.
2. Lange, D. and G.R. Bezzola. 2006. Schwemmholz: Probleme und Lösungsansätze [Driftwood: Problems and solutions]. VAW-Mitteilung 188, Minor, H.E., ed. ETH Zurich, Zurich (in German).
3. Mazzorana, B., F. Comiti, C. Scherer and S. Fuchs. 2011. Developing consistent scenarios to assess flood hazards in mountain streams. Journal of Environmental Management, 94: 112-124.
4. Moeller, G. 2015. Physical experiments to reduce the flood risk caused by drift wood in the Aare River at the Matteschwelle in Berne. Switzerland, http://www.vaw.ethz.ch/ people/fb/archive/ fb_212_matteschwelle_bern.
5. Rudolf-Miklau, F. and J. Hübl. 2010. Managing risks related to drift wood (woody debris). Austria Congress Interpraevent, 868-878.
6. Sendlhofer, A. 2010. Systematische Versuchsreihen zur Überprüfung der Verklausungs Sicherheit von Brücken. Diploma Thesis.
7. Schmocker, L. and W.H. Hager. 2011. Probability of drift blockage at bridge decks. Journal of Hydraulic Engineering, 137(4): 12-26.

DOI: 10.22092/ijwmse.2018.107495.1190

Experimental investigation of the effect of bridge geometry configuration on blocking probability by floating driftwood in flow

Mohammad Rostami[*1], Nima Rohani[2], Hamdireza Sheybani[3]

[1] Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, [2] PhD Student, Hydraulic Structure, Qom University, Iran and [3]Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering , Payam-e-Noor University, Tehran, Iran

Received: 13 September 2016 Accepted: 30 January 2017

Abstract

Login driftwoods into the river flow and their accumulation in the upstream of the bridge will decrease the flow carrying capacity of the bridge. Blockage may cause a strong reduction in the flow rate through the bridge and therefore a strong increase in upstream water level which may lead to flooding or nearby urbanized areas. Drift woods either accumulates at a single pier, or it spans between two or more piers or it gets blocked at the bridge deck. Since the evaluation of such a mechanism in nature and in flood time is very difficult and limited knowledge is currently available on the likelihood of bridge blocking by the driftwoods, therefore, it is necessary to evaluate experimentally the movement of the driftwoods through the river flow and the effect of bridge characteristics on driftwood accumulation and blockage. The main purpose of this experimental study is to analyze the driftwood blocking probability at bridge depending on drift dimensions, driftwood shape (single log and log with branches), flow characteristics, method of driftwood entry into the flow and bridge characteristics. Tests were carried out in an inclinable rectangular flume and a bridge with guard rails was installed into the flume. The tests were performed by different length of driftwood, smooth and with branches, the number of entering driftwood to the channel flow (individual or aggregate), in the presence and absence of bridge pier and with three levels of water flow in the upstream face of the bridge. Entering each case of driftwoods has been repeated 10 times and then bridge clogging probability has been determined. The results showed that in case of water level come to low cord of the bride's deck , the clogging probability a bridge with and without pier changed from 13% to 93% and 33% to 100 respectively. The results showed that lengthening and increasing the number of driftwood and trunk with branches, the presence of the pier, and finally the rising water flow will increases the clogging possibility.

Key words: Bridge structure, Experimental model, Floating driftwood, Flow water level, Likelihood of blocking

[*] Corresponding author: mrostami2001@yahoo.com